مقاله پژوهشی نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۴/ ۱۴۰۲. ص۴۱۵-۴۲۵
https://doi.org/10.22092/jwra.2024.363477.1008

اثر متقابل کم‌آبیاری و بیوچار روی ویژگی‌های کمّی گیاه گشنیز در یک خاک شنی لومی

سولماز مکرم‌حصار، جواد بهمنش* و وحید رضاوردی‌نژاد

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
solmazmokaram432@gmail.com
استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
j.behmanesh@urmia.ac.ir
استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
v.verdinejad@urmia.ac.ir

دریافت: شهریور ۱۴۰۲ و پذیرش: دی ۱۴۰۲

چکیده

بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن زیستی (بیولوژیک) به شکل پایدار است که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی بوده و به همین دلیل به‌عنوان نگهدارنده این مواد (به‌ویژه در خاک‌های شنی) در نظر گرفته می‌شود. برای نیل به امنیت غذایی در شرایط تنش خشکی، بیوچار می‌تواند بهره‌وری آب را در بخش کشاورزی ارتقا بخشد. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و سطوح مختلف بیوچار بر عملکرد گیاه گشنیز در خاکی با بافت سبک در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه و بر پایه فاکتوریل با طرح کاملاً تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و سه سطح کاربرد بیوچار شامل ۰، ۲/۵٪ و ۵٪ وزنی هر گلدان بود که در مجموع شامل ۲۷ تیمار شد. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و جبران کمبود آب خاک تا حد ظرفیت زراعی *(FC)* با افزودن مقدار آب لازم به آن‌ها اعمال شد و آب اضافه‌شده نیز در طول فصل رشد اندازه‌گیری گردید. پارامترهای کمی وزن تر و خشک کل گیاه، ساقه، برگ، و ریشه در هر گلدان به دقت اندازه‌گیری شد. همچنین عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب آبیاری در پایان فصل کشت در هر تیمار تعیین گردید. نتایج نشان داد که اثرات سطوح آبیاری و بیوچار بر برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار بود. با اعمال کم‌آبیاری، مقادیر پارامترهای کمّی اندازه‌گیری شده و عملکرد گیاه کاهش یافت. بیشترین مقدار پارامترهای مذکور از تیمار ۱۰۰٪ مقدار آب آبیاری به دست آمد و استفاده از بیوچار تا سطح ۲/۵٪ وزنی خاک باعث افزایش آن پارامترها شد. بر این پایه، استفاده از مقدار مناسب بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه گشنیز می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، تنش آبی، رشد گیاه گشنیز

*- آدرس ایمیل نویسنده مسئول : **j.behmanesh@urmia.ac.ir**

مقدمه

ایران از اقلیمی خشک و نیمه‌خشک برخوردار است و کمبود آب به‌ویژه در این مناطق یک فاکتور محدودکننده مهم برای کشاورزی است. تنش خشکی بر گیاهان اثر منفی می‌گذارد؛ ازجمله آن می‌توان به کاهش محتوی آب برگ، جذب مواد مغذی، فتوسنتز، رشد و عملکرد گیاهان اشاره کرد؛ بنابراین مقابله با تنش خشکی یک وظیفه مسئله‌ساز برای دستیابی به امنیت غذایی در سراسر جهان است (صفاهانی و همکاران،۱۳۸۷). یکی از راه‌کارهای افزایش نگهداشت آب در خاک استفاده از اصلاح‌کننده‌های خاک است (لیو و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه با سوزاندن بقایای گیاهی و ضایعات کشاورزی و دامی در دمای زیاد و در شرایط بدون اکسیژن، ترکیبی آلی به دست می‌آید که بیوچار (زغال زیستی) نام دارد. بیوچار ماده‌ای متخلخل و غنی از کربن بیولوژیک به شکل پایدار است که ساختار آن قادر به ذخیره‌سازی آب و عناصر غذایی است؛ به همین دلیل آن را به‌عنوان محافظ در برابر خشکی به‌ویژه در خاک‌های شنی در نظر می‌گیرند (پورمنصور و همکاران، ۱۳۹۸). وقتی‌که بیوچار با خاک مخلوط می‌شود نقش مهمی را در ماهیت فیزیکی سیستم؛ از جمله عمق مؤثر، چگالی خاک، ظرفیت نگه‌داری آب (*WHC*[1])، نفوذ ریشه، بافت، ساختمان، تخلخل، جرم مخصوص خاک سطحی، توزیع اندازه ذرات، منافذ و فعالیت میکروبی خاک ایفا می‌کند. بیوچار ممکن است به دلیل افزایش عمق مؤثر و در دسترس قرار دادن آب‌وهوا در منطقه ریشه بر رشد گیاه تأثیر مستقیم داشته باشد (قربانی و همکاران، ۱۳۹۷). گشنیز با نام انگلیسی *Coriander* و نام علمی *Coriandrum sativum L* گیاهی یک‌ساله از خانواده چتریان *Apiaceae* به ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰ سانتیمتر و با طول دوره رشد ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز است که در بسیاری از کشورها به‌عنوان گیاهی بهاره و در برخی کشورهای مدیترانه و جنوب شرقی آسیا گیاهی زمستانه کشت می‌شود (اکبری نیا و همکاران، ۱۳۸۵). از این گیاه به‌عنوان نیرودهنده قلب، هضم‌کننده غذا، ضدنفخ، اشتهاآور، برطرف کننده دردهای عضلانی و آرام‌بخش نیز استفاده می‌شود (دیدریچسن، ۱۹۹۶). هاریشا و همکاران (۲۰۱۹) رشد، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب گشنیز را تحت تأثیر سطوح کم‌آبیاری و کوددهی مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در چهار سطح آبیاری (*0.4ET, 0.6ET, 0.8ET, 1ET*) و سه سطح کوددهی (*F1=50%,F2=75%, F3=100%* مواد مغذی) بودند. این مطالعه نشان داد که آبیاری در *0.8ET* بهینه، راندمان مصرف آب در *0.4ET* بالاتر و کم‌ترین آن در *1.0ET* بود. نتیجه‌گیری شد که آبیاری قطره‌ای در *0.8ET*همراه با ۷۵ درصد دوز توصیه‌شده از مواد مغذی برای تولید گشنیز بهینه بود. عثمان و همکاران (۲۰۲۳) تأثیر بیوچار بر عملکرد و کیفیت غذایی گوجه‌فرنگی را تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند. گیاهان تحت دو سطح بیوچار (۰/۱ ٪ و ۰/۲ ٪) و چهار سطح رطوبت (۱۰۰٪، ۷۰٪، ۶۰٪ و ۵۰٪) ظرفیت مزرعه *(FCs)* قرار گرفتند. تنش خشکی، به‌ویژه ۵۰٪ *(FC)*، به‌شدت بر مورفولوژی، فیزیولوژی، عملکرد و ویژگی‌های کیفیت محصول تأثیر گذاشت. نتایج نشان داد بیوچار در نرخ کاربرد ۰/۲ درصد بیوچار افزایش بارزتری را در پارامترهای مورد مطالعه نسبت به ۰/۱ درصد داشت و توانست ۳۰ درصد آب را بدون به خطر انداختن عملکرد محصول و ارزش غذایی گوجه‌فرنگی ذخیره کند. عصری (۲۰۲۲) تأثیر بیوچار و کاربرد کود بر خصوصیات خاک و مواد مغذی کاهو را مورد بررسی قرار داد. تحقیق ایشان به‌منظور تعیین تأثیر بیوچار تولید شده از ضایعات گیاهی گوجه‌فرنگی بر حاصلخیزی خاک و وضعیت تغذیه گیاه کاهو انجام شد. برای این منظور اثر ترکیبی پنج دوز مختلف بیوچار (۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار) و سه کود شیمیایی (شاهد، NPK[2] نیم دوز و NPK دوز کامل) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که بیوچار تولیدشده از ضایعات گیاهی گوجه‌فرنگی یک ماده مؤثر در بهبود خاک بوده و ممکن است منبع جایگزین پتاسیم باشد. چاکماچی و

[1] -*Water-holding capacity*

[2] نیتروژن *N*، پتاسیم *P* ، فسفر *K*

همکاران (۲۰۲۰) عملکرد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بهره وری آب آبیاری فلفل کاپیا را در شرایط کم‌آبیاری و سطوح مختلف بیوچار را ارزیابی کردند. این مطالعه به‌صورت آزمایشی گلدانی با سه تکرار برای هر تیمار در قالب طرح کاملاً تصادفی در شرایط گلخانه انجام شد. این آزمایش شامل سه سطح آبیاری ۱۰۰، ۵۰، ۲۵ و چهار تیمار بیوچار ۰، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳ درصد بود. نتایج نشان داد افزودن بیوچار باعث افزایش حفظ رطوبت خاک و صرفه‌جویی در آب آبیاری شد. در این مطالعه بیشترین اثربخشی با تیمار بیوچار سه درصد به دست آمد. فخرآبادی و خوش‌سیمای‌چنار (۱۴۰۰) اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان را بررسی کردند. این پژوهش به‌منظور بررسی اثر بیوچار بر رشد و غلظت عناصر غذایی در گیاه ریحان تحت تنش آبی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل ۱۰۰، کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان و سه سطح کاربرد بیوچار ۰، ۵، ۱۰ درصد حجمی هر گلدان بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده نشان داد که این صفات تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری و کاربرد بیوچار اختلاف معنی‌داری داشتند؛ که در نهایت منجر به افزایش رشد رویشی و بهره وری آب گیاه ریحان شد. میر و همکاران (۱۴۰۰) اثرات سطوح مختلف بیوچار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کارلا (خربزه تلخ) در شرایط گلدانی را بررسی کردند. پژوهش مذکور در شرایط گلخانه خصوصی با ابعاد ۹×۶۰ متر به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارها شامل سه تیمار آب آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز) و چهار تیمار بیوچار (صفر، ۱/۲۵ ، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی خاک گلدان) بودند. نتایج مربوطه نشان داد که بیشترین مقدار پارامترهای مذبور از تیمار ۱۰۰٪ آبیاری و ۲/۵٪ وزنی بیوچار به‌دست آمد. پورمنصور و همکاران (۱۳۹۸) رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه را بررسی کردند. به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری بر رشد و محصول گندم پاییزه، چهار سطح مختلف بیوچار (صفر، ۱/۲۵ ،۲/۵ و ۳/۷۵ درصد وزنی) و سه سطح آبیاری (۵۰، ۷۵، ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) در سه تکرار و در قالب طرح کامل تصادفی اعمال گردید. نتایج مربوطه نشان داد به‌طورکلی ارتفاع گیاه، هدایت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز گیاه در تیمار حاوی بیوچار نسبت به تیمار بدون بیوچار افزایش نشان داد که ناشی از توانایی بیوچار در نگهداشت رطوبت و کاهش اثر تنش خشکی بود. عباسعلیان و همکاران (۱۴۰۰) تأثیر کاربرد بیوچار و کاه گندم بر بهره‌وری آب آبیاری در گیاه جو را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش مذکور تیمارهای آزمایشی شامل (۰، ۲/۵، ۵، ۷/۵ درصد وزنی بیوچار) و همچنین (۲/۵ و ۵ درصد وزنی کاه) با بافت لوم رسی و لوم شنی بودند. این آزمایش گلدانی بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار و در گلخانه انجام شد. کاربرد بیوچار سبب شد بهره‌وری آب افزایش یابد و کاه بر عملکرد زراعی و بهره‌وری آب تأثیر منفی داشت. این پژوهش نشان داد که کاربرد بیوچار می‌تواند راهکاری برای بهبود عملکرد و در نتیجه، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی باشد. هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر کاربرد بیوچار بر روی خصوصیات کمی گیاه گشنیز در یک خاک سبک در گلخانه است. ازآنجایی‌که کشت گلخانه‌ای گشنیز در سطح استان آذربایجان غربی و کشور ناچیز بوده ولی بنا به اهمیت دارویی و صادرات بذر و تخم آن و ارزآوری بسیار خوب صادرات مذکور تحقیق حاضر در جهت بررسی کشت گلخانه‌ای آن صورت پذیرفت. چون گشنیز در زمستان در مزرعه کشت نمی‌شود لذا کشت گلخانه‌ای آن در زمستان می‌تواند نیاز به آن را در زمستان مرتفع سازد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل آزمایش: این تحقیق در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به مدت ۴۲ روز از تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۶ تا ۱۴۰۲/۱/۲۰ انجام گردید.

گلخانه تحقیقاتی از نوع کوانست با پوشش پلی‌اتیلن ۲۰۰ میکرون به‌صورت چهار گلخانه‌ی ۲۵۰ متری که ابعاد هر واحد ۳۱ ×۸ متر است، به‌صورت شمالی- جنوبی با مختصات جغرافیایی $^{\circ}$ ۴۴/۹۷ درجه شرقی، $^{\circ}$ ۳۷/۶۵ درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح آب‌های آزاد انجام شد. بر اساس اطلاعات ثبت‌شده توسط دستگاه‌های موجود در گلخانه، حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین دمای منطقه به ترتیب ۵۷/۵+ ، ۵/۵+ و ۲۴,۶+ درجه سانتی‌گراد است.

خاک مورد استفاده: از مخلوط ماسه رودخانه‌ای و خاک باغچه که در آزمایشگاه الک شده، تهیه شد، بدین منظور نمونه خاک گردآوری شده و درصد اجزای بافت به روش هیدرومتری و بافت خاک‌ها به کمک مثلث بافت خاک وزارت کشاورزی آمریکا تعیین و بافت خاک بر اساس درصد اجزای خاک (شن: ۸۴/۶۷٪، سیلت: ۱۰/۶۹٪، رس: ۴/۶۴٪) *Loamy sand* تعیین گردید. رطوبت ظرفیت زراعی به روش مستقیم اندازه‌گیری شد. بر اساس اندازه‌گیری به روش آون، رطوبت FC حدود ۲۰ درصد حجمی و جرم مخصوص ظاهری خاک به همراه پرلیت یک گرم بر سانتیمترمکعب به دست آمد. به‌منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت آزمایش قبل از کاشت، نمونه‌برداری انجام گرفت، آنالیز شیمیایی نشان داد خاک مورد استفاده از نظر نیتروژن، فسفر و پتاسیم بسیار فقیر و نزدیک به صفر بوده، لذا برنامه تغذیه گیاهی بر اساس نیاز کودی خاک تأمین گردید. کودهای مورد استفاده شامل کود *N P K 10 52 10*، کود *NPK 20 20 20* و کود آهن بودند. با توجه به این‌که مقدار آب داده شده به گلدان‌ها به‌اندازه نیاز آبی گیاه بوده، نتایج کیفیت آب گلخانه در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب گلخانه

SAR	*TDS (mg/l)*	*pH*	Na^{+} *(mg/l)*	Cl^{-} *(mg/l)*	HCO_3^{-} *(mg/l)*	CO_3^{-2}*(mg/l)*	*EC (mho/ cm)*
۰/۲	۲۶۶	۷/۳۲	۶/۷	۰/۳۸	۳/۷۹	۰	۴۱۷

بیوچار: مواد اولیه برای تهیه بیوچار، چوب آلو بوده که توسط مهندسین مشاور خاک آزمانگین (کانیکو) انجام گرفت. این فرایند به‌صورت پیرولیز آهسته با درجه حرارت در حدود ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و در فشار دو بار و در مدت زمان ۲۴ ساعت تولید شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بیوچار مورد استفاده در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- وضعیت فیزیکی و شیمیایی بیوچار

ردیف	ویژگی/ شرح آزمون	واحد	نتیجه آزمون
۱	مواد آلی (OM)	%	۱۳/۸۹
۲	نسبتC/N	–	۱۰/۲
۳	OC	٪	۸/۰۶
۴	Mg	%	۵/۷۷
۵	pH	-	۸/۲
۶	شوری$(salt)$	%	۰/۲
۷	N	%	۰/۷۹
۸	P	%	۰/۱۴
۹	K	%	۰/۱۷
۱۰	Ca	%	۴/۲۶
۱۱	خاکستر	%	۲۴/۶

طرح آزمایشی و تیمارها: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت گلدانی با دو فاکتور کم‌آبیاری و بیوچار در سه تکرار و در مجموع با نه تیمار و ۲۷ گلدان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل

سه سطح آبیاری کامل (۱۰۰)، کم‌آبیاری (۷۵) و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه گشنیز به ترتیب *(a3 ,a2 ,a1)* و سه سطح کاربرد صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان بیوچار *(b3,b2 ,b1)* بود. آزمایش به‌صورت گلدانی و در گلدان های استوانه‌ای به ارتفاع ۲۵، قطر ۲۱ سانتیمتر و وزن چهار کیلوگرم انجام شد. دلیل پر شدن گلدان‌ها با چهار کیلوگرم خاک و پرلیت، کم بودن جرم حجمی پرلیت‌ها بود. فاصله بین دو ردیف گلدان ۵۰ سانتی‌متر و فاصله هر گلدان از یکدیگر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. شکل ۱ طرح آزمایشی در گلخانه را نشان می‌دهد.

شکل ۱- طرح گلدان‌های آزمایشی در گلخانه

عملیات زراعی: به‌منظور آماده‌سازی خاک برای کشت، ابتدا خاک و پرلیت (۷۵٪ خاک، ۲۵٪ پرلیت) را باهم ترکیب کرده و سپس با توجه به سطوح ۰، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی بیوچار (به ترتیب ۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ گرم بیوچار) به خاک اضافه و به‌صورت دستی گلدان‌ها پر شدند. پرلیت به دلیل قابلیت ذخیره آب اضافی، مقاوم در برابر رطوبت و همین‌طور سبک‌سازی خاک مورداستفاده قرار گرفت. از طرفی چون مقدار پرلیت در همه گلدان‌ها یکسان است، لذا تفاوت در نتایج حاصله به علت تفاوت در مقدار بیوچار بوده است. در شروع کار، به دلیل سهولت در کاشت، بذرها را ابتدا خیس کرده و سپس به مدت یک هفته در میان یک پارچه قرار گرفته و با آبپاش مرطوب می‌شدند و بعد از رویش جوانه‌ها، به گلدان‌ها انتقال داده شد. در هر گلدان ۱۰ جفت بذر قرار داده شد، در مراحل ابتدایی رشد گیاه بعد از انتقال جوانه‌ها به گلدان جهت جلوگیری از خفگی ریشه، آبیاری به میزان یکسان برای اطمینان از جوانه‌زنی گیاه انجام گردید، (یک روز در میان ۲۰۰ میلی‌لیتر آب به گلدان‌ها داده شد). بعد از جوانه‌زنی و تنک‌کاری ۱۰ بوته نگهداری شد. سپس از طریق رابطه ۲ مقدار حجم آب داده شده تعیین گردید:

$$W_{Aw} = \left(\frac{VWC_{fc} - VWC}{100}\right) \times \pi r^2 h \qquad (۱)$$

که در آن: W_{Aw} مقدار آب قابل استفاده *(Kg)*، VWC_{fc} رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی*(%)*، VWC حجم *آب خاک* قبل از آبیاری *(%)*، r شعاع گلدان *(cm)*، h ارتفاع گلدان*(cm)* است. بعد از ثبات ریشه‌ها در خاک به کمک دستگاه *TDR* رطوبت به‌صورت حجمی در هر گلدان اندازه گیری شد. نوع رطوبت‌سنج خاک *Spectium (USA)-TDR* و مدل آن *TDR150* بوده که قابل تنظیم برای اندازه‌گیری رطوبت در سه عمق مختلف است که در این تحقیق از سنسور عمق ۱۲ سانتی‌متر استفاده شد. همچنین *TDR* مذکور در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی برای سه نوع بافت خاک کالیبره گردیده بود که برای بافت مورد نظر، واسنجی و اصلاح گردید و بر اساس سطوح آبیاری، تیمارها آبیاری گردید. به‌این‌ترتیب مقدار رطوبت حجمی در هر تیمار توسط دستگاه *TDR* ثبت گردید، سپس در رابطه ۱ قرار داده و برای سطوح ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در عدد یک ضرب و برای سطوح آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب در ۰/۷۵ و ۰/۵ ضرب گردید و حجم آب محاسبه‌شده در اختیار گیاه قرار گرفت. به دلیل خطای دستگاه و سیستماتیک که ممکن است توسط شخص صورت بگیرد، اعداد ستون دو و سه مضربی از ۰/۷۵ و ۰/۵ نیست. به‌عنوان‌مثال ۷۵٪و ۵۰٪

مجموع اعداد ستون دو و سه بایستی به ترتیب ۲۷۰/۶ و ۱۸۰/۴ باشد که در جدول فوق ۲۶۲/۱ و ۱۸۹/۹ به‌دست‌آمده که این تفاوت ناشی از خطای اندازه‌گیری و همچنین رند کردن اعداد برداشت‌شده است. در مجموع ۱۵ بار آبیاری با فواصل آبیاری مختلف انجام شد. میزان کل آب مصرفی طی دوره رشد، از مجموع آب مصرفی در تمام روزهای دوره رشد به دست آمد. جدول ۳ عمق آب مورد استفاده در هر تیمار را نشان می‌دهد.

جدول ۳- عمق آب مورد استفاده در هر تیمار در هر آبیاری (میلی‌متر)

دفعات آبیاری	تیمار ۱	تیمار ۲	تیمار ۳
۱	۱۵/۹	۱۴/۴	۹/۷
۲	۲۰/۷	۱۳/۱	۸/۷
۳	۱۸/۸	۱۵/۹	۱۱/۶
۴	۱۴/۴	۱۳/۰	۱۰/۱
۵	۲۴/۶	۱۷/۳	۱۱/۶
۶	۳۱/۸	۱۹/۳	۱۱/۶
۷	۳۷/۶	۲۰/۹	۱۲/۶
۸	۵۴/۳	۳۹/۲	۲۸/۹
۹	۲۷/۴	۱۹/۰	۱۳/۰
۱۰	۱۳/۰	۹/۰	۶/۰
۱۱	۳۸/۴	۳۳/۲	۳۰/۲
۱۲	۱۴/۴	۱۰/۷	۷/۲
۱۳	۲۰/۲	۱۵/۹	۱۳/۰
۱۴	۲۲/۱	۱۶/۹	۱۳/۰
۱۵	۷/۲	۴/۳	۲/۹
کل دوره رشد (میلی‌متر)	۳۶۰/۸	۲۶۲/۱	۱۸۹/۹

در پایان فصل رشد از هر گلدان در هر تیمار آزمایشی دو بوته جدا گردید، یک بوته برای اندازه‌گیری وزن‌تر کل گیاه *(gr)* و یک بوته برای اندازه‌گیری وزن‌تر یک عدد ساقه، برگ و ریشه *(gr)* که در ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. بعد از آن برای اندازه گیری وزن خشک گیاه، ساقه، برگ و ریشه نمونه‌ها را در فویل قرار داده و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد (اسمارت و بینهام، ۱۹۷۴). بهره‌روی آب *(WP)* مقدار ماده گیاهی تولید شده به ازای واحد مصرف آب است. برای محاسبه بهره‌وری از رابطه (۲) استفاده شد.

$$WP = \frac{Y}{ET} \qquad (۲)$$

که در آن: Y میزان عملکرد $(Kg / m2)$ و ET کل آب مصرفی $(m3/m2)$ را بیان می‌کند(سینچر و همکاران،۱۹۸۴). در این پژوهش، تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار *SAS 9.4* انجام گرفت. در تحلیل داده ها، تجزیه واریانس برای صفات اندازه‌گیری شده انجام و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون *SNK* در سطح یک و پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده
تیمار۱: ۱۰۰٪ آبیاری، تیمار۲: ۷۵٪ آبیاری، تیمار۳: ۵۰٪ آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	وزن‌تر تک بوته (گرم)					وزن خشک تک بوته (گرم)		بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	وزن‌تر کل گیاه	وزن خشک کل گیاه
(A)آبیاری	۲	۱۵/۵۷۹۷**	۰/۰۰۳۰^{ns}	۰/۰۰۰۴^{ns}	۰/۸۵۶۰**	۰/۳۹۳۶**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۴۰۰**	۰/۹۴۳۰**	۰/۰۳۰۶**
(B)بیوچار	۲	۳/۵۹۱۷**	۰/۰۰۳۴^{ns}	۰/۰۰۴۳**	۰/۱۱۵۸**	۰/۰۶۱۶*	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۲۳**	۰/۰۰۸۵**	۰/۶۴۵۱**	۰/۰۰۹۶*
آبیاری* بیوچار (AB)	۴	۱/۴۵۲۲**	۰/۰۱۱۹**	۰/۰۰۰۹**	۰/۱۴۲۷**	۰/۰۲۰۵^{ns}	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۰۱۸**	۰/۰۰۸۰**	۰/۲۲۶۱**	۰/۰۰۳۴^{ns}
خطا	۱۸	۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۱۷۱	۰	۰	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۲۷
ضریب تغییرات	-	۶/۲۲۰۶	۲۴/۵۸۱۰	۱۶/۹۷۰۶	۱۰/۰۵۲۴	۲۶/۱۰۳۹	۰	۰	۱۸/۴۴۷۹	۶/۸۶۲۲	۲۷/۰۵۰۵

*و**به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪ و ns اختلاف معنی‌دار وجود ندارد

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده

تیمارهای آزمایشی		وزن‌تر تک بوته (گرم)				وزن خشک تک بوته (گرم)			
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه
مقدار آب آبیاری	٪۱۰۰	۴/۳۰a	۰/۲۰a	۰/۰۹a	۱/۰۷a	۰/۶۳a	۰/۰۲a	۰/۰۱۶a	۰/۲۵a
	٪۷۵	۳/۵۳b	۰/۱۸a	۰/۰۸a	۰/۸۲b	۰/۶۱a	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۹b
	٪۵۰	۱/۷۳c	۰/۱۶a	۰/۰۷a	۰/۴۶c	۰/۲۶b	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۲c
مقدار بیوچار	٪۰	۲/۹۱b	۰/۱۷a	۰/۰۸b	۰/۷۵b	۰/۴۷a	۰/۰۲b	۰/۰۱۳b	۰/۱۷a
	٪۲/۵	۳/۹۱a	۰/۲۰a	۰/۱۰a	۰/۹۱a	۰/۵۹a	۰/۰۲a	۰/۰۲a	۰/۲۲a
	٪۵	۲/۷۴b	۰/۱۷a	۰/۰۶b	۰/۷۰b	۰/۴۳a	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۷a

در هر ستون حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل مقدار آب آبیاری و بیوچار پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده

آبیاری	کاربرد بیوچار	وزن‌تر تک بوته (گرم)				وزن خشک تک بوته (گرم)			
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه
٪۱۰۰	٪۰	۴/۲۶b	۰/۲۱ba	۰/۰۷bdc	۱/۰۹ba	۰/۶۲bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۲ba
	٪۲/۵	۵/۱a	۰/۲۹a	۰/۱۲a	۱/۲۲a	۰/۸۱a	۰/۰۳a	۰/۰۳a	۰/۲۹a
	٪۵	۴/۰۸b	۰/۱۵ba	۰/۰۶dc	۰/۹۲b	۰/۶۱bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۵ba
٪۷۵	٪۰	۲/۹۶c	۰/۲۰ba	۰/۰۷bdc	۰/۹۲b	۰/۵۳bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۲۰bac
	٪۲/۵	۴/۵۶b	۰/۱۹ba	۰/۱۱ba	۱/۰۹ba	۰/۶۷ba	۰/۰۲b	۰/۰۲b	۰/۲۶ba
	٪۵	۲/۵۴dc	۰/۱۶ba	۰/۰۸bdac	۰/۴۷c	۰/۴۹bac	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۱dc
٪۵۰	٪۰	۱/۹۳e	۰/۱۴ba	۰/۰۹bdac	۰/۴۱c	۰/۲۸bc	۰/۰۲b	۰/۰۲b	۰/۱۱dc
	٪۲/۵	۲/۰۸de	۰/۲ba	۰/۱۰bac	۰/۵۷c	۰/۳bc	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۱۶bdc
	٪۵	۱/۲۰f	۰/۱۲b	۰/۰۵d	۰/۴۱c	۰/۲۰c	۰/۰۲b	۰/۰۱c	۰/۰۹d

در هر ستون حروف غیرمشابه بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ است

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده در جدول ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر بیوچار بر پارامترها در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪ معنی‌دار و در برخی سطوح معنی‌دار نبوده است. جدول ۵ مقایسه میانگین و جدول ۶ اثرات متقابل پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

وزن‌تر و خشک کل گیاه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن‌تر و خشک کل گیاه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در

تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوچار باعث افزایش وزن‌تر و خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن‌تر و خشک (۳/۹۱ و ۰/۵۹ گرم) به‌دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن‌تر و خشک گیاه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن‌تر و خشک گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۵/۱ و ۰/۸۱ گرم) و کمترین وزن‌تر و خشک گیاه در تیمار ۵۰ درصد آبیاری و پنج درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۱/۲ و ۰/۲ گرم) به‌دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت سطوح بالای بیوچار بر رشد و نمو گیاه تأثیر داشته و باعث کاهش وزن گیاه می‌شود. کمترین وزن گیاه در تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و پنج درصد وزنی بیوچار به دست آمد که نشان‌دهنده کاهش اثرات بیوچار در تنش‌های آبی شدید است. افزایش وزن گیاه در اثر کاربرد ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به دلیل افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی در خاک و بهبود شرایط رشد گیاه و کاهش وزن گیاه در اثر کاربرد پنج درصد وزنی گیاه می‌تواند به دلیل افزایش شوری ناشی از کاربرد بیوچار در مقادیر بالا باشد (رزاقی و همکاران، ۲۰۲۰)

وزن‌تر و خشک ساقه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن‌تر و خشک ساقه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوچار باعث افزایش وزن‌تر و خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن‌تر و خشک ساقه (۰/۲ و ۰/۰۲ گرم) به‌دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن‌تر و خشک ساقه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن‌تر و خشک ساقه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۰/۲۹ و ۰/۰۳ گرم) به دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت کاربرد بیوچار تا ۲/۵ درصد وزنی بیوچار اثرات تنش رطوبتی را کاهش داده و ارتفاع گیاه و در نهایت وزن‌تر ساقه را بهبود بخشیده است. نتایج حاصله با نتیجه پژوهشگران بر گیاهانی مانند ریحان (فخرآبادی و خوش‌سیمای چنار، ۱۴۰۰) و رزماری (ضیائی و همکاران، ۱۳۹۳) و بادرشبو (رهبریان و افشارمنش،۱۳۹۰) مطابقت داشت.

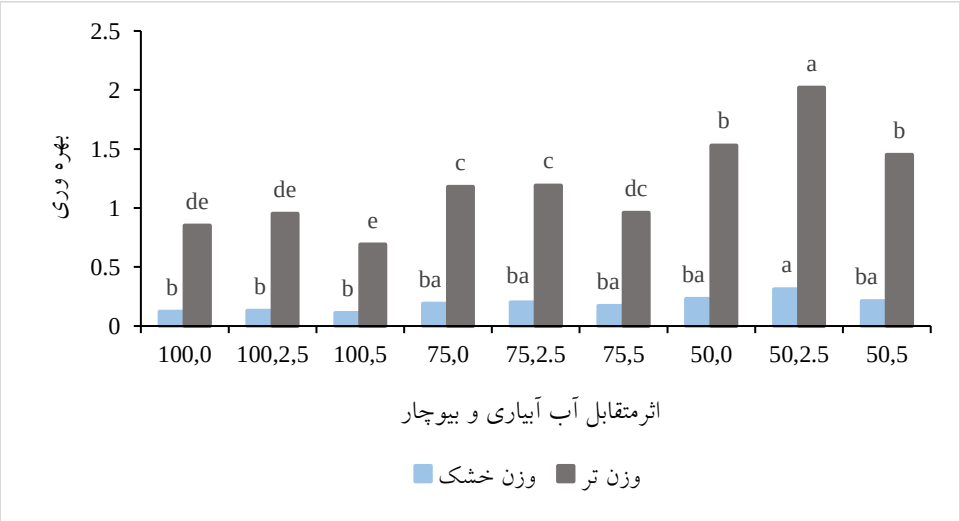
وزن‌تر و خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن‌تر و خشک برگ در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوچار باعث افزایش وزن‌تر و خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن‌تر و خشک برگ (۰/۱ و ۰/۰۲ گرم) به‌دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن‌تر و خشک برگ شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن‌تر و خشک برگ در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۰/۱۲ و ۰/۰۳ گرم) به دست آمد؛ بنابراین می‌توان گفت بیوچار در شدت تنش‌های بالا کارایی مؤثر ندارد. نتیجه حاصله با نتیجه پژوهشگران فخرآبادی و همکاران (۱۴۰۰)، میر و همکاران (۱۴۰۰) و حیدری و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد.

وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن‌تر و خشک ریشه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای

۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوچار باعث افزایش وزن‌تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن‌تر و خشک ریشه (۰/۹۱ و ۰/۲۲ گرم) به‌دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن‌تر و خشک ریشه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن‌تر و خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۱/۲۲ و ۰/۲۹ گرم) به دست آمد. تخلخل بالا، جرم مخصوص کم، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و ظرفیت نگهداری رطوبت بالای بیوچار باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده و رشد گیاه و ریشه را موجب می‌شود (میر و همکاران،۱۳۹۹). افزایش بیشتر بیوچار (پنج درصد وزنی) در تمامی تیمارهای آبیاری باعث کاهش وزن گیاه شد، چون در تیمار کاربرد پنج درصد وزنی بیوچار صعود موئیگی کمتر شده و از طرف دیگر گیاه برای جذب رطوبت، انرژی بیشتری صرف می‌کند، لذا عملکرد گیاه نسبت به تیمار ۲/۵ درصد وزنی کاهش می‌یابد. بدین معنی که در تنش شدید، رشد ریشه گیاه کاهش یافته و متوقف می‌شود که با نتایج پژوهشگران فخرآبادی و همکاران، قیصری و همکاران (۱۳۹۳) و حیدری و همکاران (۱۳۹۹) نیز مطابقت دارد.



شکل ۲- اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار بر بهره‌وری

بهره‌وری بر اساس وزن‌تر و خشک

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به شکل ۲، بهره‌وری در تیمار آبیاری ۵۰ درصد، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به شکل ۲ افزودن بیوچار تا ۲/۵ درصد وزنی، باعث افزایش بهره‌وری نسبت به تیمار شاهد شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (شکل ۲) نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۵۰ درصد و افزایش بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی باعث افزایش بهره‌وری آب آبیاری شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۵۰ درصد آب آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن‌تر و خشک (۲/۰۲ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل شد. میر و همکاران (۱۴۰۰)، آقایاری و همکاران (۱۳۹۵) و همچنین خلیلی و همکاران (۲۰۲۰) افزایش بهره‌وری آب در اثر کم‌آبیاری و کاربرد بیوچار را گزارش کردند.

نتیجه‌گیری

در شرایط کم‌آبیاری، گیاه در طول فصل رشد دچار تنش آبی می‌شود. کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن‌تر و خشک کل گیاه، برگ، ساقه و ریشه گیاه گشنیز

داشت و بیشترین مقدار این صفات در آبیاری کامل به دست آمد که نشان‌دهنده حساسیت گیاه گشنیز نسبت به تنش خشکی است. این تنش تغییراتی را در پاسخ به گیاه به‌وجود می‌آورد که همواره یکسان نیست و بعضی مواقع غیرقابل پیش‌بینی است. کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌دار بر اجزاء عملکرد گیاه گشنیز داشت. استفاده از بیوچار تا سطح ۲/۵ درصد وزنی خاک باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد شد. استفاده بیشتر بیوچار (پنج درصد وزنی خاک) باعث کاهش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه شد. بهره‌وری آب بر اساس وزن‌تر و خشک کل گیاه گشنیز در تیمارهای مختلف محاسبه و نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گشنیز و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار می‌توان به بیشترین بهره‌وری آب دست پیدا کرد؛ اما باید به این نکته توجه کرد این میزان بهره‌وری در مقیاس کوچک و شرایط گلخانه‌ای به دست آمده است و نمی‌توان نتیجه گیری کرد که در مزرعه نیز شرایط به این شکل باشد. با توجه به اینکه بیوچار بر خلاف کودهای شیمیایی نیاز به استفاده هرساله ندارد، لذا به جهت اقتصادی می‌توان به‌عنوان یک اصلاح‌کننده خاک و یک ماده مغذی توصیه کرد و همین‌طور استفاده از مقدار مناسب بیوچار سبب کاهش اثرات منفی تنش رطوبتی و بهبود شاخص‌های رشد و نمو گیاه می‌شود. همچنین با توجه به اهمیت دارویی گیاه گشنیز پیشنهاد می‌گردد، تحقیقات بیشتری در زمینه کاشت این گیاه در منطقه انجام گیرد.

فهرست منابع

۱. اکبری‌نیا، ا.، دانشیان، ج.، محمدبیگی، ف.، ۱۳۸۵. اثر کود نیتروژن و تراکم بر عملکرد بذر، اسانس و روغن گیاه گشنیز. فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، جلد۲۲، شماره۴، صفحه۴۱۹-۴۱۰.

۲. آقایاری، ف.، خلیلی، ف.، و اردکانی، م.ر.، ۱۳۹۵ . اثر روش‌های متفاوت آبیاری و پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت. مجله علمی پژوهشی اکو فیزیولوژی گیاهی. ۸ (۲۴):۳۵-۴۸.

۳. پورمنصور، س.، رزاقی، ف.، سپاسخواه، ع.، موسوی، ع. ا.، ۱۳۹۸. بررسی رشد و محصول گندم تحت سطوح مختلف بیوچار و کم‌آبیاری در شرایط گلخانه‌ای، مدیریت آب و آبیاری، دوره۹، شماره۱، صفحه۲۸-۱۵.

۴. حیدری، ط.، شاهدی، ب .، بانژاد، ح .، ۱۳۹۹ . تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد۷، شماره۲، صفحه ۱۵۸-۱۴۹.

۵. رزاقی، ف.، پورمنصور، س.، سپاس‌خواه، ع.، ۱۳۹۹. اثر بیوچار تولید شده از کاه و کلش گندم و آب آبیاری بر ویژگی‌های هیدرولیکی و شیمیایی در خاک لوم شنی بعد از کاشت باقلا. تحقیقات کشاورزی ایران. ۳۹ (۱)، صفحه ۷۶-۶۷

۶. رهبریان، پ.، افشارمنش، غ.، ۱۳۹۰ . اثر کم‌آبیاری و کود دامی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی بادرشبو در جیرفت. مجله علمی _ پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف‌های هرز، سال پنجم، شماره۱۷، صفحه ۴۱-۵۲.

۷. صفاهانی‌لنگرودی، ع.، نورا، ر.، ۱۳۹۷ . اثر سطوح مختلف بیوچار بر صفات فیزیولوژیک کدو تحت تنش کمبود آب . نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، سال سیزدهم، شماره۴۹، صفحه ۳۲-۱۳.

۸. ضیائی، ع.، مقدم، م.، و کاشفی، ب.، .۱۳۹۵. تأثیر پلیمرهای سوپر جاذب بر خصوصیات مورفولوژیک گیاه رزماری در شرایط تنش خشکی . فصلنامه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای، دوره۷، شماره۲۶، صفحه ۱۱۱-۹۹.

۹. عباسعلیان، ح.، سلطانی، ج.، بهرامی‌سامانی، ع.، هاشمی‌گرم‌دره، س.ا.، برزویی، ا.، احمدوند، م.، ۱۴۰۰ . بررسی تأثیر کاربرد بیوچار و کاه گندم بر بهره‌وری آب آبیاری در گیاه جو. مدیریت آبی آبیاری، دوره۱۱، شماره۴، صفحه۷۱۱-۶۹۹.

۱۰. فخرآبادی، ح.، خوش‌سیمای‌چنار، م.، ۱۴۰۰ . اثر کم‌آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان . مقاله علمی و پژوهشی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره۴، جلد۱۵، صفحه ۹۵۴- ۹۴۱.

۱۱. قربانی، م.، امیراحمدی، ا .، ۱۳۹۷ . اثر بیوچار پوسته برنج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و رشد ذرت دریک خاک لومی، نشریه پژوهش خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد۳۲، شماره۳.

۱۲. قیصری، م.، مجیدی، م.م.، میرلطیفی، س.م.، زارعیان، م.ج.، امیری، س.، بنی فاطمه، س.م.،۱۳۹۳ . اثر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری بر طول ریشه گیاه ذرت. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد۲۸، شماره۵، صفحه ۸۹۰-۸۹۸

۱۳. میر، م.، پیری، ح.، ناصریان، ا.، ۱۴۰۰ . اثرات سطوح مختلف بیوچار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کرلا(خربزه تلخ) در شرایط گلدانی، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد، شماره۲.

14. Asri, F. O., 2020. Effect of biochar and fertilizer application on soil properties and nutrient status of lettuce. Chilean journal of agricultural research. 82(3). 469 – 483.
15. Cakmakci, T., Sahin, U., 2020. Yield, Physiological Responses and Irrigation Water Productivity of Capia Pepper (Capsicum annuum L.) at Deficit Irrigation and Different Biochar Levels. Original article, originalbeitrag. 75:317 – 327.
16. Diederichsen, A., 1996. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben, International Plant Genetic Resources Institute, Rome.
17. Harisha, C. B., Asangi, H. A., and Singh, R., 2019. Growth, yield, water use efficiency of coriander (Coriandrum sativum) affected by irrigation levels and fertigation. Indian Journal of Agricultural Sciences. 89(7). 1167–72.
18. Khalili, f., Aghayari, F., and Ardakani, M. R., 2020. Effect of alternate furrow irrigation on maize productivity in interaction with different irrigation regimes and biochar amendment. Communications in soil Science and Plant Analysis. 51(6):757–768.
19. 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.
20. Sinclair, T. R., Tanner, C. B., and Bennett, J. M., 1984. Water-use efficiency in crop production. Bioscience. 34(1):36-40.
21. Smart, R. E., and Bingham, G. E., 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant physiology. 53(2): 258-260.
22. Usman, M., Ahmad, N., Raza, W., Zhao, Zh., Abubakar, M., Rehman, S. U., Ikram, S., Tariq, H., 2023. Impact of biochar on the yield and nutritional quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under drought stress. Journal of the science of food and Agriculture- Volume 103, Issue 7. p. 3479-3488.

Interaction Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative Characteristics of Coriander in Sandy Loam Soil

S. Mokarram hesar, J. Behmanesh*, and V. Rezaverdinejad

M. Sc., Irrigation and Drainage Group, Water Engineering Department, Urmia University, Urmia, Iran. **solmazmokaram432@gmail.com**

Professor, Department of Water Engineering, Urmia University,Urmia. Iran. **j.behmanesh@urmia.ac.ir**

Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran. **v.verdinejad@urmia.ac.ir**

Received: September 2023 and Accepted: December 2023

Abstract

Biochar as a porous material is rich in biological carbon in a stable form. Its structure is capable to store water and nutrients. Therefore, it is used for retention of such materials, especially in sandy soils. Biochar can improve water productivity in the agricultural sector in drought stress condition to achieve food security in the world. In order to study the effect of deficit irrigation and biochar on yield of coriander in a coarse-grained soil under water stress, this research was conducted using a factorial manner and a completely randomized design in the research greenhouse of Urmia University. The experimental treatments included three levels of irrigation: 100%, 75%, and 50% of the plant water requirement, and three levels of biochar application: 0, 2.5%, and 5% of the weight of each pot, which totally included 27 treatments. Irrigation was applied on the basis of plant requirement and soil water content below field capacity and the applied water was measured during the growing season. For each pot, quantitative parameters including weights of dry and wet plant, stem, leaf, and root were accurately measured. The results showed that the effects of irrigation levels and biochar on some measured parameters were significant at the probability level of 1% and 5%. The results demonstrate that by applying deficit irrigation, the measured quantitative parameters and plant yield decreased. The highest value of the parameters was obtained from the treatment of 100% water requirement and use of biochar up to the level of 2.5% of the soil. Therefore, applying suitable amount of the biochar as soil amendment improves coriander plant's growth and yield.

Keywords: Water Productivity, Water stress, Coriander growth

*- Corresponding author's email: j.behmanesh@urmia.ac.ir