

## اثر متقابل کم آبیاری و بیوچار روی ویژگی‌های کمی گیاه گشنیز

### در یک خاک شنی لومی

سولماز مکرم حصار، جواد بهمنش\* و وحید رضوردی نژاد

کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

[solmazmokaram432@gmail.com](mailto:solmazmokaram432@gmail.com)

استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

[j.behmanesh@urmia.ac.ir](mailto:j.behmanesh@urmia.ac.ir)

استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

[v.verdinejad@urmia.ac.ir](mailto: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 کم آبیاری 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 شد. همچنین عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب آبیاری در پایان 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 کم آبیاری، مقادیر پارامترهای کمی 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

## 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؛ از جمله 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). وقتی که 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، برطرف‌کننده 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٪ ( $FC$ )، به شدت 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

<sup>۲</sup> نیتروژن N، پتاسیم P، فسفر K<sup>۱</sup> -Water-holding capacity

و همکاران (۲۰۲۰) عملکرد پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بهره‌وری 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 خوش‌سیمای-چنار (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 بهره‌وری 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 مذکور 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. از آنجایی که 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

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 سانتیمتر مکعب به دست آمد. به منظور تعیین برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت آزمایش قبل از کاشت، نمونه برداری 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 *NPK 10 52 10*، کود *NPK 20 20 20* و کود آهن بودند. با توجه به این که مقدار آب داده شده به گلدان‌ها به اندازه نیاز آبی گیاه بوده، نتایج کیفیت آب گلخانه در جدول ۱ ارائه شده است.

روز از تاریخ ۱۴۰۱/۱۲/۰۶ تا ۱۴۰۲/۱/۲۰ انجام گردید. گلخانه تحقیقاتی از نوع کوانست با پوشش پلی اتیلن ۲۰۰ میکرون به صورت چهار گلخانه‌ی ۲۵۰ متری که ابعاد هر واحد ۸×۳۱ متر است، به صورت شمالی- جنوبی با مختصات جغرافیایی ۳۷/۶۵° درجه شرقی، ۴۴/۹۷° درجه شمالی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح آب‌های آزاد انجام شد. بر اساس اطلاعات ثبت شده توسط دستگاه‌های موجود در گلخانه، حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین دمای منطقه به ترتیب ۵/۵+، 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

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی آب گلخانه

SAR	TDS (mg/l)	pH	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	EC (mho/cm)
۰/۲	۲۶۶	۷/۳۲	۶/۷	۰/۳۸	۳/۷۹	.	۴۱۷

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.

**بیوچار:** مواد اولیه برای تهیه بیوچار، چوب آلو بوده که توسط مهندسین مشاور خاک آزمانگین (کانیکو) انجام گرفت. این فرایند به صورت پیرولیز آهسته با درجه

جدول ۲- وضعیت فیزیکی و شیمیایی بیوچار

ردیف	ویژگی / شرح آزمون	واحد	نتیجه آزمون
۱	مواد آلی (OM)	%	۱۳/۸۹
۲	نسبت C/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 به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی به صورت گلدانی با دو فاکتور کم آبیاری و بیوچار در سه تکرار و در مجموع با نه تیمار و ۲۷ گلدان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل (۱۰۰)، کم آبیاری (۷۵) و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه گشنیز به ترتیب  $(a1, a2, a3)$  و سه سطح کاربرد صفر، ۲/۵ و ۵ درصد وزنی هر گلدان بیوچار



شکل ۱- طرح گلدان‌های آزمایشی در گلخانه

نگهداری شد. سپس از طریق رابطه ۲ مقدار حجم آب داده شده تعیین گردید:

$$W_{Aw} = \left( \frac{VWC_{fc} - VWC}{100} \right) \times \pi r^2 h \quad (1)$$

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 به صورت حجمی در هر گلدان اندازه‌گیری شد. نوع رطوبت‌سنج خاک  $Spectrum TDR$  - (USA) 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. به این ترتیب 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

عملیات زراعی: به منظور آماده‌سازی خاک برای کشت، ابتدا خاک و پرلیت (۷۵٪ خاک، ۲۵٪ پرلیت) را با هم 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 به صورت دستی گلدان‌ها پر شدند. پرلیت به دلیل قابلیت ذخیره آب اضافی، مقاوم در برابر رطوبت و همین‌طور سبک‌سازی خاک مورد استفاده 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

به دست آمده که این تفاوت ناشی از خطای اندازه‌گیری و همچنین رند کردن اعداد برداشت شده 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.

آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب در ۰/۷۵ و ۰/۵ ضرب گردید و حجم آب محاسبه شده 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. به عنوان مثال ۰/۷۵ و ۰/۵۰ مجموع اعداد ستون دو و سه بایستی به ترتیب ۲۷۰/۶ و ۱۸۰/۴ باشد که در جدول فوق ۲۶۲/۱ و ۱۸۹/۹

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

$$WP = \frac{Y}{ET} \quad (2)$$

که در آن:  $Y$  میزان عملکرد ( $Kg / m^2$ ) و  $ET$  کل آب مصرفی ( $m^3/m^2$ ) را بیان می‌کند (سینچر و همکاران، ۱۹۸۴). در این پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام گرفت. در تحلیل داده‌ها، 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.

در پایان فصل رشد از هر گلدان در هر تیمار آزمایشی دو بوته جدا گردید، یک بوته برای اندازه‌گیری وزن تر کل گیاه ( $gr$ ) و یک بوته برای اندازه‌گیری وزن تر یک عدد ساقه، برگ و ریشه ( $gr$ ) که در ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید. بعد از آن برای اندازه‌گیری 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.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات و درجه آزادی) پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده تیمار ۱: ۱۰۰٪ آبیاری، تیمار ۲: ۷۵٪ آبیاری، تیمار ۳: ۵۰٪ آبیاری

منابع تغییرات	درجه آزادی (DF)	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
		ریشه	برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	
(A) آبیاری	۲	۱۵/۵۷۹۷**	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴ <sup>ns</sup>	۰/۸۵۶۰**	۰/۳۹۳۶**	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۳۰۶**
(B) بیوچار	۲	۳/۵۹۱۷**	۰/۰۰۳۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۴۳**	۰/۱۱۵۸**	۰/۰۶۱۶*	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۹۶*
آبیاری * بیوچار (AB)	۴	۱/۴۵۲۲**	۰/۰۱۱۹**	۰/۰۰۰۹**	۰/۱۴۲۷**	۰/۰۲۰۵ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۳۴ <sup>ns</sup>
خطا	۱۸	۰/۰۳۹۴	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۶۳	۰/۰۱۷۱	۰/۰۰۰۳**	۰/۰۰۲۷
ضریب تغییرات	-	۶/۲۲۰۶	۲۴/۵۸۱۰	۱۶/۹۷۰۶	۱۰/۰۵۲۴	۲۶/۱۰۳۹	۰/۰۰۰۳**	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	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)		
	کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه
۱۰۰٪	۴/۳۰a	۰/۲۰a	۰/۰۹a	۱/۰۷a	۰/۶۳a	۰/۲۵a
مقدار آب آبیاری ۷۵٪	۳/۵۳b	۰/۱۸a	۰/۰۸a	۰/۸۲b	۰/۶۱a	۰/۱۹b
۵۰٪	۱/۷۳c	۰/۱۶a	۰/۰۷a	۰/۴۶c	۰/۲۶b	۰/۱۲c
۰٪	۲/۹۱b	۰/۱۷a	۰/۰۸b	۰/۷۵b	۰/۴۷a	۰/۱۷a
مقدار بیوچار ۲/۵٪	۳/۹۱a	۰/۲۰a	۰/۱۰a	۰/۹۱a	۰/۵۹a	۰/۲۲a
۵٪	۲/۷۴b	۰/۱۷a	۰/۰۶b	۰/۷۰b	۰/۴۳a	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	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)		
		کل گیاه	ساقه	برگ	ریشه	کل گیاه	ساقه
۰٪	۴/۲۶b	۰/۲۱ba	۰/۰۷bdc	۱/۰۹ba	۰/۶۲bac	۰/۲۲ba	
۱۰۰٪	۵/۱a	۰/۲۹a	۰/۱۲a	۱/۲۲a	۰/۸۱a	۰/۲۹a	
۵٪	۴/۰۸b	۰/۱۵ba	۰/۰۶dc	۰/۹۲b	۰/۶۱bac	۰/۲۵ba	
۰٪	۲/۹۶c	۰/۲۰ba	۰/۰۷bdc	۰/۹۲b	۰/۵۳bac	۰/۲۰bac	
۷۵٪	۴/۵۶b	۰/۱۹ba	۰/۱۱ba	۱/۰۹ba	۰/۶۷ba	۰/۲۶ba	
۵٪	۲/۵۴dc	۰/۱۶ba	۰/۰۸bdac	۰/۴۷c	۰/۴۹bac	۰/۱۱dc	
۰٪	۱/۹۳e	۰/۱۴ba	۰/۰۹bdac	۰/۴۱c	۰/۲۸bc	۰/۱۱dc	
۵۰٪	۲/۰۸de	۰/۲ba	۰/۱۰bac	۰/۵۷c	۰/۳bc	۰/۱۶bdc	
۵٪	۱/۲۰f	۰/۱۲b	۰/۰۵d	۰/۴۱c	۰/۲۰c	۰/۰۹d	

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

نتایج و بحث  
نیوده است. جدول ۵ مقایسه میانگین و جدول ۶ اثرات متقابل پارامترهای کمی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

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

## وزن تر و خشک کل گیاه

مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن تر و خشک ساقه (۰/۲ و ۰/۰۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک ساقه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر 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 وزن تر 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.

## وزن تر و خشک برگ

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر 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 وزن تر و خشک برگ نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن تر و خشک برگ (۰/۱ و ۰/۰۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک برگ شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر 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.

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر 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 وزن تر و خشک گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب برای وزن تر و خشک (۳/۹۱ و ۰/۵۹ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۵/۱ و ۰/۸۱ گرم) و کمترین وزن تر و خشک گیاه در تیمار ۵۰ درصد آبیاری و پنج درصد وزنی بیوچار به ترتیب (۱/۲ و ۰/۲ گرم) به دست 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).

## وزن تر و خشک ساقه

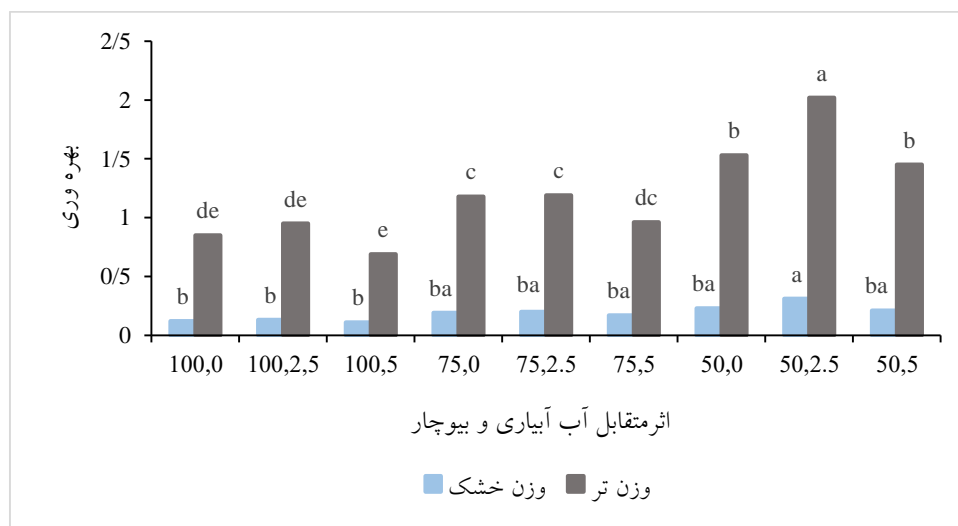
نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر و خشک ساقه در تیمار آبیاری کامل، بیشترین مقدار و در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب کاهش یافت. همچنین با توجه به جدول ۵ افزودن بیوچار باعث افزایش وزن تر و خشک ساقه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین



### وزن تر و خشک ریشه

نتایج مقایسه میانگین به روش *SNK* در سطح یک درصد نشان داد، با توجه به جدول ۵ وزن تر 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 بیوپچار باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. بیشترین مقدار آن از تیمار ۲/۵ درصد وزنی بیوپچار به ترتیب برای وزن تر و خشک ریشه (۰/۹۱ و ۰/۲۲ گرم) به دست آمد. استفاده بیشتر از بیوپچار (سطح پنج درصد وزنی) باعث کاهش وزن تر و خشک ریشه شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپچار (جدول ۶) نشان داد، بیشترین وزن تر و خشک ریشه در تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری و ۲/۵ درصد وزنی

بیوپچار 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 بیوپچار باعث افزایش حاصلخیزی خاک شده و رشد گیاه و ریشه را موجب می‌شود (میر و همکاران، ۱۳۹۹). افزایش بیشتر بیوپچار (پنج درصد وزنی) در تمامی تیمارهای آبیاری باعث کاهش وزن گیاه شد، چون در تیمار کاربرد پنج درصد وزنی بیوپچار 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 بیوپچار بر بهره‌وری

### بهره‌وری بر اساس وزن تر 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 بیوپچار تا ۲/۵ درصد وزنی، باعث افزایش بهره‌وری نسبت به تیمار شاهد شد. اثرات متقابل آب آبیاری و بیوپچار (شکل ۲) نشان داد با کاهش آب آبیاری تا سطح ۵۰ درصد و افزایش بیوپچار 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 بیوپچار به ترتیب برای وزن تر و خشک (۲/۰۲ و ۰/۳۱ کیلوگرم بر مترمکعب) حاصل شد. میر و همکاران (۱۴۰۰)، آقاباری و همکاران (۱۳۹۵) و همچنین خلیلی و همکاران (۲۰۲۰) افزایش بهره‌وری آب در اثر کم‌آبیاری و کاربرد بیوپچار را گزارش کردند.

## نتیجه‌گیری

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 نتیجه‌گیری کرد که در مزرعه نیز شرایط به این شکل باشد. با توجه به اینکه بیوچار بر خلاف کودهای شیمیایی نیاز به استفاده هر ساله 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.

در شرایط کم‌آبیاری، گیاه در طول فصل رشد دچار تنش آبی می‌شود. کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تر 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 به وجود 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 وزن تر و خشک کل گیاه گشنیز در تیمارهای مختلف

## 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، جلد ۲۲، شماره ۴، صفحه ۴۱۹-۴۱۰.
۲. آقایی، 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 اکوفیزیولوژی 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، دوره ۹، شماره ۱، صفحه ۲۸-۱۵.
۴. حیدری، ط.، شاهدی، ب.، بانژاد، ح.، ۱۳۹۹. تأثیر آب مغناطیسی بر خصوصیات رشدی ریحان تحت کم‌آبیاری و آبیاری ناقص ریشه. نشریه مدیریت آب در کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲، 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 ۶۷-۶۷.
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، شماره ۱۷، 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، شماره ۴۹، 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، دوره ۷، شماره ۲۶، صفحه ۱۱۱-۹۹.
۹. عباسعلیان، ح.، سلطانی، ج.، بهرامی‌سامانی، ع.، هاشمی‌گرم‌دره، س.ا.، برزویی، ا.، احمدوند، م.، ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کاربرد بیوجار و کاه گندم بر بهره‌وری آب آبیاری در گیاه جو. مدیریت آبی آبیاری، دوره ۱۱، شماره ۴، صفحه ۶۹۹-۷۱۱.
۱۰. فخرآبادی، ح.، خوش‌سیمای‌چنار، م.، ۱۴۰۰. اثر کم‌آبیاری و بیوجار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان. مقاله علمی و پژوهشی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۱۵، صفحه ۹۵۴-۹۴۱.
۱۱. قربانی، م.، امیراحمدی، ا.، ۱۳۹۷. اثر بیوجار پوسته برنج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک و رشد ذرت در یک خاک لومی، نشریه پژوهش خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد ۳۲، شماره ۳.
۱۲. قیصری، م.، مجیدی، م.م.، میرلطیفی، س.م.، زارعیان، م.ج.، امیری، س.، بنی‌فاطمه، س.م.، ۱۳۹۳. اثر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری بر طول ریشه گیاه ذرت. نشریه آب‌و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۵، صفحه ۸۹۰-۸۹۸.
۱۳. میر، م.، پیری، ح.، نصریان، ا.، ۱۴۰۰. اثرات سطوح مختلف بیوجار گندم و تنش آبی بر ویژگی‌های کمی و کیفی کرلا (خربزه تلخ) در شرایط گلدانی، نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ب، جلد، شماره ۲.
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 annum 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