

مقاله علمی-پژوهشی

اثر کم آبیاری و بیوچار بر روی خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان

حامد فخرآبادی^۱، مرتضی خوش‌سیمای چنار^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۷

چکیده

بیوچار به‌عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک، سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، افزایش فراهمی عناصر غذایی، کاهش گازهای گلخانه‌ای، کاهش آبشویی عناصر و درنهایت افزایش تولیدات زراعی می‌شود. تنش رطوبتی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان است. خاک‌های مناطق خشک حاوی مقدار کمی مواد آلی بوده و به دلیل pH بالا، با مشکل کمبود عناصر غذایی روبه‌رو هستند. 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 در کرج انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان (a1, a2, a3) و سه سطح کاربرد بیوچار ۱۰، ۵ و ۰ درصد حجمی (بدون کاربرد بیوچار) هر گلدان (b1, b2, b3) بودند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورفولوژیکی اندازه‌گیری شده (وزن تر و خشک برگ، ساقه و ریشه) نشان داد که این صفات تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری و کاربرد بیوچار اختلاف معنی‌داری داشتند؛ به‌طوری‌که بالاترین مقدار هر یک از این صفات در تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوچار (a1b1) و پایین‌ترین مقدار آن در تیمار کم-آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و بدون کاربرد بیوچار (a3b3) مشاهده شد. بیشترین درصد عناصر غذایی نیتروژن (۲/۸۳ درصد)، فسفر (۰/۱۶ درصد) در تیمار تنش آبی متوسط و کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوچار (a2b1) و بالاترین درصد پتاسیم (۱/۲۱ درصد) در تیمار a3b1 مشاهده شد. همچنین بالاترین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر (۳/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب) و خشک (۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب) برگ گیاه ریحان از تیمار a3b1 به دست آمد؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری نمود که کاربرد بیوچار در شرایط تنش آبی نقش مؤثری در بهبود جذب عناصر غذایی داشته که درنهایت منجر به افزایش رشد رویشی و بهره‌وری آب گیاه ریحان می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، بیوچار، تنش آبی، رشد گیاه، ریحان

مقدمه

افزایش یافته است. میزان سرانه آب تجدید پذیر کشور در سال ۱۳۰۰ حدود ۱۳ هزار مترمکعب در سال بوده و در حال حاضر به کمتر از ۱۷۰۰ مترمکعب در سال رسیده است و پیش‌بینی می‌شود در سال ۱۴۰۰ به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب در سال برسد (احمدالی، ۱۳۹۲). بی‌شک استفاده بهینه از منابع آب در بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی، یکی از مهم‌ترین راهکارها برای پیشگیری از چالش‌ها و بحران‌های پیش‌رو در زمینه استفاده از منابع آب کشور است. در سال‌های اخیر یکی از راهکارها برای بهینه‌سازی مصرف آب در گیاهان زراعی و تولید محصولات با درآمد حداکثر تحت شرایط کمبود آب، استفاده از تکنیک کم‌آبیاری بوده است. کم‌آبیاری، یک روش یا سیستم آبیاری نیست بلکه یک مدیریت کارا و پویای بهره‌برداری به شمار می‌رود که اثرات ویژه‌ای در استحصال، مدیریت منابع آب، انتقال و مصرف آب و نهایتاً در اقتصاد کشاورزی دارد. کم‌آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود

کشاورزی نقش حیاتی در تکوین و توسعه تمدن کشور ایران داشته است. با رشد روزافزون جمعیت، افزایش جمعیت شهرنشین و ارتقاء سطح زندگی و گسترش صنعت که رابطه تنگاتنگی با مصرف آب سالم و باکیفیت مطلوب دارد، تقاضا هم در بخش کشاورزی در جهت تولید و عرضه مواد غذایی و هم در بخش‌های صنعت و شرب

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کرج، کرج، ایران

۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: khoshsimamortaza@ut.ac.ir)

تنش آبی بر ارتفاع و عملکرد گیاه تأثیر منفی داشت اما در مقابل با کاهش مقدار آب آبیاری، اسانس گیاه افزایش یافته و در کل تنش آبی تأثیر مثبتی بر ترکیب اسانس گیاه دارد (Ekren et al., 2012). بخردی و همکاران به بررسی کیفیت پس از برداشت ارقام مختلف گیاه ریحان تحت کم آبیاری پرداخته و بیان داشتند که کم آبیاری خصوصیات کیفی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد نداشته و نتایج پژوهش این محققین نشان داد ریحان به‌عنوان یک گیاه تازه بدون کاهش خصوصیات کیفی با آب کمتری قابل کشت است (Bekhradi et al., 2015). رولند و همکاران در مطالعه خود گزارش کردند که کم آبیاری می‌تواند کیفیت گیاه ریحان را افزایش دهد. این افزایش کیفیت شامل افزایش عطر و کیفیت، افزایش متابولیک‌های گیاهی است که به پتانسیل آنتی‌اکسیدانی کمک می‌کنند. این محققین بیان کردند باوجود یافته‌های مثبت در این مورد همچنان شکافی در کاربرد فناوری‌ها و تکنیک‌های نوین مانند کم آبیاری در سیستم‌های تجاری تولید گیاهان دارویی وجود دارد و نشان می‌دهد که نوآوری و تحقیقات بیشتر در این زمینه از باغبانی دقیق لازم است (Rowland et al., 2018).

مطالعات متعدد انجام شده نشان‌دهنده اثرات مثبت و منفی بیوپچار بر حاصلخیزی خاک و عملکرد گیاه است. خلیلی و همکاران آزمایش مزرعه‌ای به‌منظور بررسی تأثیر کم آبیاری در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و دو روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان و جویچه‌ای معمولی و همچنین کاربرد بیوپچار در دو سطح صفر و ۱۰ تن در هکتار آزمایشی را در دو سال زراعی ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ انجام دادند. نتایج نشان داد که بهره‌وری آب برای عملکرد دانه ذرت تحت شرایط کاربرد بیوپچار و کم آبیاری بر اساس ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه منجر به افزایش بهره‌وری آب شده و تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد (آبیاری کامل) وجود ندارد. به‌طور کلی هنگامی که آبیاری کامل صورت نگرفته باشد عملکرد دانه در روش آبیاری جویچه‌ای یک‌درمیان و استفاده از بیوپچار بیشتر از روش آبیاری جویچه‌ای معمول و بدون کاربرد بیوپچار است (Khalili et al., 2020). گرمی‌نیا و همکاران (۱۳۹۸) به‌منظور بررسی تأثیر کمپوست مصرف‌شده قارچ و ذغال زیستی^۱ آن بر مؤلفه‌های رشد و جذب برخی از عناصر غذایی در گیاه جعفری تحت تنش شوری، پژوهشی در گلخانه‌ی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام دادند. فاکتورها شامل کود کمپوست مصرف‌شده و ذغال زیستی آن هر کدام در دو سطح صفر و سه درصد وزنی و شوری در دو سطح دو و شش دسی‌زیمنس بر متر بودند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری از دو به شش دسی‌زیمنس بر متر، وزن تر و خشک اندام هوایی، ارتفاع گیاه، غلظت آهن، روی، مس،

آب است که البته با کاهش محصول در واحد سطح همراه است. هدف اصلی از اجرای کم آبیاری، افزایش راندمان کاربرد آب چه از طریق کاهش میزان آب آبیاری در هر نوبت یا حذف آبیاری‌هایی است که کمترین بازدهی را دارند. هنگامی که مشکلاتی از نظر تأمین سرمایه، انرژی، نیروی کارگر و یا سایر منابع اساسی وجود داشته باشد، یا هنگامی که هزینه‌های این‌گونه منابع زیاد باشد اعمال کم آبیاری می‌تواند در افزایش عملکرد و سود مفید واقع شود. کم آبیاری می‌تواند برای گسترش سطح زیر کشت و به حداکثر رساندن و یا بهبود و تثبیت تولید محصولات یک منطقه نیز استفاده شود. کمبود آب عمده‌ترین عامل بازدارنده در زراعت آبی محسوب می‌شود. به دلیل بحران فزاینده کمیت و کیفیت منابع آب، بهینه‌سازی مصرف آب شایان توجه است. در مناطقی که قیمت آب زیاد است نیز مصرف بهینه آب قابل اجتناب است از این‌رو، تلاش برای بهینه کردن محصول تولیدی درازای مصرف آب کم‌تر منطقی جلوه کرده است (نادریان‌فر، ۱۳۹۵).

آزمایش‌های متعدد تحت شرایط مختلف توسط محققین در سراسر دنیا نشان داده است که در بعضی از مراحل رشد می‌توان از روش‌های کم آبیاری استفاده کرد بدون آنکه باعث افت معنی‌داری در کیفیت و کمیت محصول گردد. خلید به بررسی اثر کم آبیاری بر صفات رویشی، اسانس، پرولین، کربوهیدرات کل و مقدار پروتئین دو رقم ریحان پرداخت. ارقام مورد استفاده در این پژوهش شامل ریحان شیرین و ریحان آمریکایی بودند. تیمارها شامل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد ظرفیت زراعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد وزن تر و خشک گیاه ریحان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبی قرار گرفته است. در هر دو رقم مقدار اسانس، پرولین و کربوهیدرات کل تحت تنش آبیاری افزایش یافت. اما مقدار پروتئین و مواد معدنی با افزایش تنش آبی کاهش یافت. بهترین تیمار از نظر عملکرد و مقدار اسانس تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی بود (Khalid., 2006). سدیکا و همکاران به بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری روی عملکرد و خصوصیات کیفی گیاه ریحان بنفش پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع گیاه و عملکرد آن در سطح آبیاری ۱۲۵ درصد (I_{125}) به‌دست آمده است. همچنین بیشترین عملکرد اسانس (۱/۱٪) در سطح آبیاری ۵۰ درصد (I_{50}) به دست آمد. همچنین نتایج بیانگر آن بود که تنش آبی اثر منفی روی ارتفاع گیاه و عملکرد ریحان دارد ولی از طرفی با کاهش میزان آب آبیاری میزان اسانس ریحان افزایش یافته است (Siddiqui et al., 2007). اکرن و همکاران به‌منظور تعیین تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر روی گیاه ریحان بنفش در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ در دانشگاه اجه ترکیه آزمایشی انجام دادند و چهار سطح آبیاری ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی بر روی گیاه ریحان بنفش اعمال کردند. بر اساس نتایج گیاه ریحان بنفش نسبت به تنش آبی یا میزان آب آبیاری کاربردی حساس است.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر کم آبیاری و اثر متقابل آن با بیوچار، روی رشد و عملکرد گیاه ریحان آزمایشی در تابستان ۱۳۹۹ در منطقه کرج با مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۶۳ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس اطلاعات ثبت شده از آمار ساله اخیر ایستگاه هواشناسی، حداکثر مطلق، حداقل مطلق و میانگین دمای منطقه به ترتیب $+40$ ، -18 و $+13/5$ درجه سانتی‌گراد است. بالاترین میانگین دمای ماهیانه در تیرماه ($24/5$ درجه سانتی‌گراد) و پایین‌ترین میانگین در دی‌ماه ($1/2$ درجه سانتی‌گراد) رخ می‌دهد. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتری استفاده گردید؛ بدین ترتیب که با عبور دادن نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری و حذف مواد آلی و آهکی از آن-ها، از طریق تجزیه گرانولومتری درصد هر یک از اجزاء خاک به دست آمد و سپس با استفاده از مثلث بافت خاک USDA (به نقل از علیزاده، ۱۳۸۷) بافت خاک مشخص شد. جدول ۱ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک آماده‌شده برای کشت را نشان می‌دهد. این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی به صورت گلدانی با دو فاکتور کم آبیاری و بیوچار و چهار بلوک (تکرار) و در مجموع با ۹ تیمار و ۳۶ گلدان انجام شد. فاکتورهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری کامل، کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان ($a1$ ، $a2$ و $a3$) و سه سطح کاربرد ۱۰، ۵ و صفر درصد حجمی گلدان‌ها ($b1$ ، $b2$ و $b3$) بیوچار است. آزمایش به صورت گلدانی و در گلدان‌های استوانه‌ای به ارتفاع ۳۵، قطر ۳۰ سانتی‌متر و حجم $0/25$ مترمکعب انجام شد. به منظور آماده‌سازی خاک برای کشت، ابتدا هر گلدان به صورت دستی با خاک باغچه پر شد و سپس با توجه به سطوح ۰، ۵ و ۱۰ درصد حجمی، بیوچار به خاک گلدان‌ها اضافه و به صورت کامل با خاک مخلوط شده و دوباره برای هر تیمار به گلدان‌ها اضافه شد. شکل ۱ تصویر شماتیک طرح آزمایشی را نشان می‌دهد.

کلسیم، منیزیم، پتاسیم و فسفر به طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در مقابل با افزایش شوری، غلظت سدیم در بخش هوایی گیاه افزایش را نشان داد. کاربرد کودهای آلی کمپوست مصرف‌شده و ذغال زیستی آن باعث جذب بهتر عناصر غذایی و همچنین افزایش مؤلفه‌های رشدی در گیاه گردید. ذغال زیستی در سطح سه درصد وزنی در مقایسه با سه درصد وزنی کمپوست و شاهد (فاقد کود آلی) نتیجه‌ی بهتری را در افزایش مؤلفه‌های رشدی و جذب عناصر غذایی نشان داد. نتایج این آزمایش حاکی از توانایی کمپوست و ذغال زیستی در کاهش اثرات تنش شوری و به تبع آن تنش خشکی است که علت آن را می‌توان قابلیت نگهداشت آب توسط کمپوست و ذغال زیستی آن دانست. بنابراین استفاده از کمپوست مصرف‌شده به منظور بازیافت و دفع بی‌ضرر این ماده زائد و برای افزایش سطح بهره‌وری خاک‌های شور و همچنین تبدیل آن به ذغال زیستی با رویکرد افزایش راندمان کودی می‌تواند مؤثر باشد.

یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی، تکنیک کم آبیاری پیشنهادشده است و به نوعی در کم آبیاری یک مقدار تنش آبی به گیاه وارد می‌شود که برای جلوگیری از این تنش در سال‌های اخیر کاربرد بیوچار پیشنهادشده است که می‌توان گفت به طور کلی بیوچار برای تحقق چهار هدف مدیریت ضایعات، کاهش تغییرات اقلیمی و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید انرژی و همچنین بهبود خصوصیات خاک تهیه می‌شود (Rodriguez, 2010). با توجه به رویکردهای نوین در مقوله تولید در کشاورزی و مطرح شدن مباحث مربوط به پایداری و استفاده از نهاده‌هایی که باعث افزایش کارایی سیستم می‌شوند و همچنین با توجه به اهمیت ریحان (*Ocimum Basilicum L.*) به عنوان یک گیاه دارویی مهم و عدم وجود اطلاعات مستند و جامع درباره واکنش رشدی و کیفی آن نسبت به کاربرد همزمان تکنیک کم آبیاری و بیوچار در سطوح مختلف، این آزمایش با هدف ارزیابی واکنش‌های گیاه دارویی ریحان و همچنین درصد جذب عناصر مختلف توسط گیاه نسبت به کاربرد بیوچار و کم آبیاری انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	ازت کل	کربن آلی	مواد خشتی شونده	pH	EC	نقطه پژمردگی	ظرفیت زراعی	درصد اشباع	بافت خاک	رس		شن
											سیلت	ریس	
میلی‌گرم بر لیتر		درصد		dS/m		درصد حجمی			درصد				
۲۰۰	۱۷	۰/۰۷	۰/۵۵	۱۰	۷/۱۷	۰/۹۹	۱۱/۵	۲۲/۳	۴۰	لوم	۱۵	۴۵	۴۰

a3b3	a3b2	a3b1	a2b3	a2b2	a2b1	a1b3	a1b2	a1b1	تکرار اول
a1b1	a3b3	a2b3	a2b1	a2b2	a3b2	a1b2	a3b1	a1b3	تکرار دوم
a2b1	a3b2	a2b3	a1b1	a3b3	a2b2	a1b2	a1b3	a3b1	تکرار سوم
a2b2	a2b3	a3b2	a1b2	a3b1	a1b1	a2b1	a3b3	a1b3	تکرار چهارم

شکل ۱- شماتیک جانمایی تیمارهای آزمایشی (تیمار شاهد به رنگ سبز مشخص شده است)

برداشت شد و سپس وزن تر کل، وزن تر ساقه، وزن تر برگ و ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. بعد از آن برای اندازه‌گیری وزن خشک گیاه، ساقه، برگ و ریشه نمونه‌ها را در بسته‌های کاغذی گذاشته و به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (Smart and Bingham., 1974). برای تعیین غلظت عناصر پرمصرف ابتدا نمونه‌های خشک شده و سپس آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. نمونه‌های آماده شده در ظروف پلاستیکی قرار داده شده و شماره‌گذاری گردیدند. لازم به ذکر است که غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی گیاه ریحان با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی دقیق اندازه‌گیری گردید (احیایی و بهبهانی زاده، ۱۳۷۲). همچنین جهت تعیین درصد اسانس از هر تیمار آزمایشی ۱۰۰ گرم از برگ‌های تازه گیاه ریحان کاملاً خرد شده و به روش تقطیر با آب توسط دستگاه کلونجر عمل اسانس‌گیری انجام می‌شود و در نهایت درصد اسانس در هر تیمار محاسبه شد. بهره‌وری آب (WP) مقدار ماده گیاهی تولید شده به ازای واحد آب مصرف است. برای محاسبه بهره‌وری آب از رابطه ۲ استفاده شد:

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

که در آن Y عملکرد و ET کل آب مصرفی را بیان می‌کند (Sinclair et al., 1984). در این تحقیق از وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان برای بیان عملکرد و از کل آب ورودی به‌عنوان آب مصرفی استفاده شده است. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. در تحلیل داده‌ها، تجزیه واریانس ساده برای صفات اندازه‌گیری شده انجام و سپس میانگین صفات مورد مطالعه با استفاده از آزمون مقایسه‌ای میانگین دانکن در سطح ۱ و ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان

نتایج تجزیه واریانس وزن تر برگ تک بوته گیاه ریحان در جدول ۲ ارائه شده است. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن تر و خشک برگ نشان داد که این صفت تحت تأثیر سطوح

بعد از کاشت، کلیه تیمارها آبیاری شدند و تا مرحله چند برگی گیاه، آبیاری برحسب صد درصد نیاز آبی گیاه صورت گرفت. با توجه به ظرفیت زراعی و حداکثر تبخیر - تعرق گیاه ریحان دور آبیاری سه روز در نظر گرفته شد. تبخیر - تعرق مرجع توسط نرم‌افزار ET_o Calculator (بر اساس رابطه پنمن - ماتیت) و با استفاده از داده‌های هواشناسی روزانه که از ایستگاه هواشناسی گرفته می‌شد، به دست آمد. داده‌های روزانه هواشناسی شامل دمای هوای بیشینه و کمینه، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد، ساعات آفتابی، تابش خالص و بارش بود. سپس با توجه به نشریه فائو ۵۶، ضریب گیاهی ریحان (K_c) در دوره‌های ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر ۰/۶، ۱، ۱/۱۵ و ۱/۱ استخراج شد. طول روزهای دوره‌های ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب ۱۶، ۴۴، ۳۲ و ۱۸ روز در نظر گرفته شد. (در این پژوهش فقط دوره‌های ابتدایی و توسعه گیاه ریحان در نظر گرفته شد و کل دوره رشد ۶۰ روز شد) بدین ترتیب تبخیر - تعرق گیاهی (ET_c) از رابطه ۱ به دست آمد.

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (1)$$

با جمع تبخیر - تعرق سه روزه و ضرب آن در مساحت هر گلدان آزمایشی حجم آبی که باید به هر تیمار داده شود، محاسبه شد. اولین آبیاری در تاریخ ۱۱ خرداد ۱۳۹۹ انجام شد و برای اطمینان از جوانه‌زنی بذر سه نوبت آبیاری و بدون در نظر گرفتن دور آبیاری سه روزه، انجام شد و بعد از آن آبیاری بر اساس تبخیر - تعرق انجام شد. منبع تأمین آب از یک حلقه چاه در اطراف منطقه آزمایشی با کیفیت آب مناسب (EC آبیاری برابر با ۰/۷ دسی‌زیمنس بر متر) در نظر گرفته شد و بعد از ذخیره در استخر با سیستم آبیاری قطره‌ای موجود، گلدان‌ها آبیاری شدند. برای آبیاری گلدان‌ها یک خط لوله ۱۶ میلی‌متر و ۲ عدد قطره‌چکان با دبی ۲ لیتر در ساعت برای هر گلدان در نظر گرفته شده و زمان آبیاری بر اساس مقدار آب مورد نیاز هر گلدان و تیمار و دبی قطره‌چکان محاسبه و اعمال شد. در پایان فصل رشد و برداشت در تاریخ ۱۰ مرداد ۱۳۹۹ گیاهان در هر گلدان در مرحله گلدهی کامل برداشت و اجزای عملکرد آن‌ها به‌عنوان نماینده آن تیمار اندازه‌گیری شد.

در پایان فصل رشد، پنج بوته از هر گلدان آزمایشی به‌طور کامل

a2b2, a2b3, a3b1 و a3b2) با تیمار شاهد، مشاهده می‌شود که کاربرد بیوچار باعث افزایش وزن خشک برگ شده و اختلاف معنی-داری با تیمار شاهد وجود ندارد. کمترین وزن خشک برگ گیاه ریحان مربوط به تیمار a3b3 است که بیشترین تنش رطوبتی و بدون کاربرد بیوچار بوده است

وزن تر و خشک ساقه گیاه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن تر و خشک ساقه گیاه ریحان نشان داد که این صفت تحت تأثیر سطوح مختلف کم آبیاری قرار گرفته و در سطح یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۲). بیشترین وزن تر و خشک ساقه (۴/۷۷ و ۰/۹۸ گرم در هر بوته) مربوط به تیمار آبیاری کامل (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) بوده و با افزایش سطوح کم آبیاری به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان به ترتیب برای وزن تر ساقه ۱۳ و ۲۴ درصد و برای وزن خشک ساقه ۱۱ و ۲۱ کاهش پیدا می‌کند (جدول ۳). این صفت‌ها تحت تأثیر سطوح مختلف کاربرد بیوچار نیز قرار گرفته و بیشترین مقدار وزن تر و خشک ساقه مربوط به کاربرد بیوچار در سطح ۱۰ درصد حجمی است. کمترین وزن تر و خشک ساقه در تیمار بدون کاربرد بیوچار حاصل شد و مقدار آن ۳/۹۹ و ۰/۸۳ گرم در هر بوته شد. با توجه به اینکه بیوچار خود حاوی نیتروژن است، با کاربرد بیوچار نیتروژن کل خاک نیز افزایش پیدا کرده و به همین دلیل بیوچار اثر مثبتی بر ارتفاع گیاه و افزایش وزن تر ساقه دارد (جدول ۴).

با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) برهمکنش بیوچار و کم آبیاری بر وزن تر و خشک ساقه معنی‌دار نشد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار a1b1 بیشترین وزن تر و خشک ساقه را داشته است. همچنین کمترین میزان وزن تر و خشک ساقه گیاه مربوط به تیمار a3b3 است که نسبت به تیمار شاهد (a1b3) به ترتیب ۲۳ و ۲۵ درصد کاهش مشاهده می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که بین تیمارهای a2b1 و تیمار شاهد اختلاف معنی-دار در وزن تر و خشک ساقه مشاهده نشد (جدول ۵)، این موضوع نشان می‌دهد که کاربرد بیوچار اثرات تنش رطوبتی را کاهش داده و ارتفاع گیاه و در ادامه وزن تر ساقه را بهبود بخشیده است. با مقایسه سه سطح کاربرد بیوچار در سطوح کم آبیاری یکسان، مشاهده شد که بیشترین وزن ساقه مربوط به تیمارهایی است که در آن‌ها ۱۰ درصد حجمی بیوچار استفاده شده است و نقش بیوچار را در افزایش وزن تر ساقه را نشان می‌دهد. به طور کلی وزن تر و خشک ساقه در هر دو سطح کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار شاهد کاهش معنی‌داری یافتند (جدول ۳). نتایج حاصله با نتیجه پژوهشگران بر گیاهانی مانند بادرشبو (رهبریان و افشارمنش، ۱۳۹۰) و رزماری (ضیایی و همکاران، ۱۳۹۵) مطابقت دارد.

مختلف بیوچار و تیمارهای کم آبیاری قرار گرفت. با نگاهی به وضعیت عملکرد وزن تر و خشک برگ بدون توجه به تیمار کم آبیاری مشاهده شد که وزن تر و خشک برگ در سطوح مختلف بیوچار اختلاف معنی‌داری داشته (در سطح یک درصد بر اساس آزمون دانکن) و بیشترین وزن تر و خشک برگ یک بوته گیاه ریحان به ترتیب به مقدار ۵/۰۹ و ۰/۶۲ گرم مربوط به تیمار کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوچار در هر گلدان بود؛ همچنین کمترین وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان در تیمار شاهد (صفر درصد کاربرد بیوچار) مشاهده شد. تیمار کم آبیاری نیز به طور بسیار معنی‌داری این صفت‌ها را تحت تأثیر قرار داد و با کاهش میزان آب کاربردی از آبیاری کامل به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب به طور متوسط ۲۰ و ۳۵ درصد و ۲۶ و ۳۴ درصد کاهش در وزن تر و خشک برگ حاصل شد (جدول ۳ و ۴). این کاهش را می‌توان به کاهش روند جذب عناصر غذایی موردنیاز رشد گیاه از خاک (در بخش‌های بعدی بررسی خواهد شد) و درعین حال کاهش انباشت کربوهیدرات به دنبال بسته شدن روزنه‌ها در اثر تنش رطوبتی مربوط دانست. ضیایی و همکاران (۱۳۹۳) و خلیلی و همکاران نیز با افزایش تنش رطوبتی کاهش معنی‌دار به ترتیب وزن تر گیاه رزماری و ذرت را گزارش کردند (Khalili et al., 2020).

با توجه به نتایج (جدول ۳ و ۴)، اثرات ساده هر کدام از دو فاکتور کم آبیاری و کاربرد بیوچار بر روی وزن تر و خشک برگ بررسی شد. همچنین جدول ۵ اثر همزمان دو فاکتور مورد آزمایش را بر روی وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد بین تیمارهای آزمایشی وجود دارد به صورتی که تیمار a1b1 بیشترین وزن تر و خشک برگ و کمترین وزن مربوط به تیمار a3b3 است. با مقایسه تیمارهای آزمایشی با تیمار شاهد (تیمار a1b3) مشاهده می‌شود که به ترتیب با افزایش تنش رطوبتی و کاهش کاربرد بیوچار، وزن تر و خشک برگ گیاه کاهش یافت. به عنوان مثال در تیمار a3b3 نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب اختلاف ۳۶ و ۳۰ درصدی در وزن تر و خشک برگ مشاهده شد. برعکس با کاهش تنش و افزایش کاربرد بیوچار، وزن برگ افزایش داشت. همچنین کاربرد بیوچار به مقدار ۱۰ درصد حجمی گلدان‌ها در هر سه سطح آبیاری باعث افزایش عملکرد و وزن تر برگ شده و اثرات وارد از تنش به گیاه را کاهش داده است. به طوری که در سطوح کم آبیاری یکسان، بیشترین وزن برگ مربوط به تیمارهایی است که در آن بیوچار استفاده شد. با توجه به نتایج جدول ۵ بیشترین میزان وزن خشک برگ گیاه مربوط به تیمار a1b1 بوده اما تفاوت معنی‌داری با تیمار a1b2 نداشت که نشان‌دهنده این است که در آبیاری کامل کاربرد بیوچار به میزان کمی باعث افزایش وزن خشک برگ می‌شود و بیشتر اثرات کاربرد بیوچار در گیاهان تحت تنش رطوبتی مشاهده می‌شود. با مقایسه پنج تیمار دیگر (a2b1،

جدول ۲- تجزیه واریانس داده‌های پارامترهای اندازه‌گیری شده میانگین مربعیات

نوع تیمار	درج آزادی	وزن تر تک بوته (گرم)				وزن خشک تک بوته (گرم)				درصد جذب عناصر غذایی در گیاه				درصد اسانس
		برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	پتاسیم	فسفر	نیترژن	
بلوک	۲													
کم آبیاری	۲	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}
بیوجار	۲	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}
بیوجار × کم آبیاری	۲	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}
خطا	۲۴	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳ ^{ns}
ضریب تغییرات	-	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳	۱۲/۷۳

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

جدول ۳- اثر مقدار آب آبیاری بر وزن گیاه، اسانس، جذب عناصر و بهره‌وری آب

کم آبیاری	درصد اسانس	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)			درصد جذب عناصر غذایی در گیاه			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
		برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	پتاسیم	فسفر	نیترژن	
آبیاری کامل (a1)	۰/۳۰b	۵/۸۹a	۴/۷۷a	۱/۱۳a	۰/۱۷۳	۰/۶۸a	۰/۴۶a	۲/۵۵a	۰/۱۱b	۰/۶۹c	۲/۹۵b
۷۵ درصد نیاز آبی (a2)	۰/۲۹a	۴/۶۸b	۱/۱۰a	۰/۵۲b	۰/۵۸b	۰/۳۵a	۰/۱۳a	۲/۶۴a	۰/۱۳a	۰/۲۹b	۲/۹۶b
۵۰ درصد نیاز آبی (a3)	۰/۲۷a	۳/۸۰c	۰/۵۶b	۰/۴۷b	۰/۲۷c	۰/۱۴b	۰/۱۱ab	۲/۴۵b	۰/۱۳a	۰/۲۹b	۳/۲۸a

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

جدول ۴- اثر مقدار بیوجار بر وزن گیاه، اسانس، جذب عناصر و بهره‌وری آب

کاربرد بیوجار	درصد اسانس	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)			درصد جذب عناصر غذایی در گیاه			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
		برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	پتاسیم	فسفر	نیترژن	
۱۰ درصد حجمی (b1)	۰/۶۰۸	۵/۰۹۸	۴/۳۸۸	۱/۰۴۸	۸/۰۶۲	۰/۳۳۸	۲/۷۳۸	۰/۱۴۸	۰/۹۱۸	۳/۱۶۸	۰/۴۰۸
۵ درصد حجمی (b2)	۰/۶۲۸	۴/۹۸۸	۴/۱۷۸	۱/۰۰۸	۰/۸۷۸	۰/۴۱۸	۲/۶۰۸	۰/۱۲۸	۰/۸۷۸	۳/۸۸۸	۰/۴۹۸
صفر درصد حجمی (b3)	۰/۶۵۸	۴/۲۹۸	۳/۹۹۸	۰/۷۵۸	۰/۵۰۸	۰/۳۱۸	۲/۳۴۸	۰/۰۹۸	۰/۸۲۸	۲/۷۳۸	۰/۳۲۸

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

جدول ۵- اثر متقابل (برهمکنش) مقدار آب آبیاری و بیوجار بر وزن گیاه، اسانس، جذب عناصر و بهره‌وری آب

کاربرد بیوجار	درصد اسانس	وزن تر تک بوته (گرم)			وزن خشک تک بوته (گرم)			درصد جذب عناصر غذایی در گیاه			بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
		برگ	ساقه	ریشه	برگ	ساقه	ریشه	پتاسیم	فسفر	نیترژن	
b1	۰/۲۶۸	۶/۳۷۸	۵/۰۰۸	۱/۱۸۸	۰/۸۲۸	۰/۲۸۸	۲/۹۸۸	۰/۱۲۸	۰/۷۷۸	۳/۱۶۸	۰/۲۲۸
b2	۰/۲۹۸	۶/۳۱۸	۴/۲۴۸	۱/۱۹۸	۰/۷۳۸	۰/۹۶۸	۲/۶۲۸	۰/۱۱۸	۰/۶۹۸	۳/۱۰۸	۰/۳۷۸
b3	۰/۳۷۸	۵/۱۹۸	۴/۵۶۸	۱/۰۲۸	۰/۶۰۸	۰/۳۲۸	۲/۳۲۸	۰/۰۸۸	۰/۶۷۸	۳/۶۰۸	۰/۲۰۸
b1	۰/۸۲۸	۴/۹۲۸	۴/۳۱۸	۱/۲۷۸	۰/۵۲۸	۰/۲۲۸	۲/۸۲۸	۰/۱۶۸	۰/۸۲۸	۳/۱۲۸	۰/۳۲۸
b2	۰/۷۸۸	۴/۸۰۸	۴/۱۷۸	۱/۲۵۸	۰/۵۱۸	۰/۴۱۸	۲/۶۸۸	۰/۱۴۸	۰/۸۰۸	۳/۰۴۸	۰/۳۸۸
b3	۰/۷۹۸	۴/۳۲۸	۴/۳۹۸	۰/۷۹۸	۰/۴۹۸	۰/۲۰۸	۲/۴۰۸	۰/۰۸۸	۰/۷۳۸	۳/۷۳۸	۰/۳۱۸
b1	۰/۷۲۸	۴/۱۰۸	۴/۳۲۸	۰/۶۶۸	۰/۵۱۸	۰/۷۲۸	۲/۵۷۸	۰/۱۲۸	۰/۷۲۸	۳/۵۲۸	۰/۳۲۸
b2	۰/۷۸۸	۳/۹۵۸	۴/۱۶۸	۰/۵۷۸	۰/۴۹۸	۰/۸۶۸	۲/۵۰۸	۰/۱۲۸	۰/۷۲۸	۳/۴۸۸	۰/۳۲۸
b3	۰/۸۰۸	۳/۹۵۸	۴/۱۶۸	۰/۵۷۸	۰/۴۹۸	۰/۸۶۸	۲/۵۰۸	۰/۱۲۸	۰/۷۲۸	۳/۴۸۸	۰/۳۲۸

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

وزن تر و خشک ریشه گیاه ریحان

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد، اثر جداگانه سطوح مختلف کم آبیاری و کاربرد بیوپار و اثر متقابل آن‌ها بر وزن تر و خشک ریشه اثر معنی داری (در سطح ۱ درصد) داشت. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با کاهش رطوبت خاک (افزایش تنش آبی در کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) رشد ریشه به منظور دسترسی به آب بیشتر در ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند و کمترین وزن تر و خشک ریشه در کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۰/۵۶ و ۰/۱۴ گرم در بوته مشاهده شد که با تیمار آبیاری کامل، ۵۰ و ۶۱ درصد اختلاف معنی دار داشت. وزن تر و خشک ریشه تک بوته نیز در سه سطح کاربرد بیوپار اختلاف معنی دار داشته اما در تیمار ۵ و ۱۰ درصد حجمی اختلاف معنی دار مشاهده نشد و بیشترین وزن ریشه به ترتیب ۱/۰۴ و ۱ گرم (وزن تر) و ۰/۳۳ و ۰/۳۱ گرم (وزن خشک) در هر بوته مربوط به شرایط b1 و b2 بود. با مقایسه میانگین وزن تر و خشک ریشه در تیمارهای مختلف (جدول ۵) مشاهده می‌شود که برهمکنش کم آبیاری و کاربرد بیوپار بر روی وزن تر ریشه اختلاف معنی دار داشته اما بیشترین وزن تر ریشه (۱/۱۸، ۱/۱۹، ۱/۲۷ و ۱/۲۴ گرم) مربوط به تیمارهای a1b1، a1b2، a2b1 و a2b2 بود و در یک گروه آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که با تشدید تنش آبی، وزن تر و خشک ریشه کاهش یافت به طوری که کمترین وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۱۱ گرم) در تیمار a3b3 مشاهده شد که نشان می‌دهد رشد ریشه گیاه در تنش شدید کاهش پیدا کرده و متوقف می‌شود. چنین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش فرآورده‌های فتوسنتزی بیشتری به ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها تخصیص داده می‌شود و در صورتی که تنش آبی زیاد شود، با بسته شدن روزنه‌ها، باعث کاهش رشد پیکر رویشی و افزایش رشد ریشه‌ها می‌شود. گیاه با رویارویی با تنش آبی، از طریق افزایش نسبت وزن ریشه به شاخه تا حدودی با کمبود آب مقابله می‌کند ولی در نهایت با کاهش آب (تشدید تنش آبی) رشد رویشی گیاه (اندام هوایی و ریشه‌ها) کاهش می‌یابد که با نتایج سایر پژوهشگران فرزانه و همکاران (۱۳۸۹) و اکرن و همکاران (Ekren et al., 2012) و حسنی و امیدبیگی (Hassani and Omidbaigi., 2006) نیز مطابقت دارد.

نیترژن اندام هوایی

پس از برداشت، نیترژن اندام هوایی گیاه اندازه‌گیری شد. با توجه به نتایج جدول ۲، مقدار نیترژن تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت و اثر رژیم‌های آبیاری بر مقدار نیترژن در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود. با توجه به مقایسه میانگین اثرات ساده (جدول ۳)، بیشترین مقدار نیترژن در تنش متوسط مشاهده شد اما با تیمار شاهد اختلاف معنی داری نداشت. این موضوع نشان می‌دهد با افزایش تنش،

جذب نیترژن ۲ درصد افزایش یافته که عمدتاً ناشی از انباشت اسیدهای آمینه آزاد است و سپس با ادامه تنش رطوبتی از میزان جذب نیترژن توسط گیاه کاسته می‌شود. نتایج تحقیقات بی‌سیادا و کاس و نادریان‌فر (۱۳۹۴) نیز نشان داد که رطوبت‌های مختلف خاک ظرفیت نیترژن بوته ریحان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آن‌ها همچنین گزارش کردند که بیشترین غلظت نیترژن در گیاه ریحان، در تیمار بدون آبیاری به دست آمده است که تأییدکننده نتایج این مطالعه است (Biesiada and Kus., 2010). درصد نیترژن اندام هوایی گیاه تحت تأثیر سطوح مختلف بیوپار قرار گرفت و اختلاف معنی داری در سطح یک درصد داشت. بیشترین میزان جذب نیترژن در اثر کاربرد ۱۰ درصد بیوپار مشاهده شد و کمترین آن مربوط به تیماری است که بیوپار استفاده نشده است و این دو اختلاف ۱۴ درصدی باهم دارند. بیوپار با افزایش تثبیت بیولوژیک نیترژن علاوه بر افزایش نیترژن خاک باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Nishio., 2006; Rondon et al., 2007; Mia et al., 2014). نتایج این آزمایش نیز نشان داد (جدول ۴) که افزودن بیوپار باعث افزایش جذب نیترژن می‌شود که بیشترین مقدار نیترژن در شرایط b1 مشاهده شد. نیگوسی و همکاران گزارش نمودند که بیوپار در سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار سبب افزایش نیترژن گیاه کاهو گردید (Nigussie et al., 2012) که همگی تأییدکننده نتایج این مطالعه هستند. اثرات متقابل و برهمکنش فاکتورهای آزمایشی (بیوپار و کم آبیاری) بر میزان جذب نیترژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد (جدول ۵). با توجه به مقایسه میانگین درصد نیترژن اندام هوایی در تیمارهای مختلف (جدول ۵) مشاهده می‌شود که بیشترین درصد نیترژن اندام هوایی گیاه (۲/۸۳، ۲/۷۹، ۲/۶۸ درصد) به ترتیب در تیمارهای a2b1، a1b1 و a2b2 جذب شده است و این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند و نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۲۲، ۲۰ و ۱۵ درصد افزایش نشان می‌دهند. کمترین درصد نیترژن (۲/۲۹ و ۲/۳۲ درصد) به ترتیب مربوط به تیمارهای a3b3 و a1b3 است.

فسفر اندام هوایی گیاه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که سطوح مختلف کم آبیاری و کاربرد بیوپار بر درصد فسفر اندام هوایی گیاه اثر معنی داری داشت. همچنین اثرات متقابل و برهمکنش فاکتورهای آزمایشی بر این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شد. مقایسه میانگین درصد فسفر اندام هوایی اندازه‌گیری شده (جدول ۳ و ۴) اثر معنی دار سطوح مختلف کم آبیاری و کاربرد بیوپار بر روی این صفت را نشان می‌دهد. بیشترین درصد فسفر اندام هوایی به سطوح کم آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه تعلق داشت که اختلاف معنی داری باهم

تیمار شاهد مشاهده شد. همچنین کاربرد بیوپار در همه سطوح کم- آبیاری باعث افزایش درصد پتاسیم اندام هوایی گیاه شد. مطالعات دیگر نیز تأییدکننده نتایج این آزمایش است (Xu et al., 2013; Francisco et al., 2011؛ صفرزاده شیرازی و همکاران، ۱۳۹۸؛ لال عرب و همکاران، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۴).

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس بیانگر تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای کم- آبیاری از لحاظ درصد اسانس بود (جدول ۲). بیشترین درصد اسانس در تنش متوسط (a2) به میزان ۰/۷۹ درصد و کمترین میزان این صفت نیز در تیمار آبیاری کامل مشاهده شد. فاکتور بیوپار بر درصد اسانس تأثیر معنی‌دار نداشته اما بیشترین درصد اسانس در تیمار b3 (بدون کاربرد بیوپار) حاصل شد که برای بررسی و درک بهتر این موضوع به بررسی اثرات متقابل دو فاکتور آزمایشی پرداخته می‌شود (جدول ۳).

رفعت و صالح، سیمون و همکاران، نادریان فر (۱۳۹۴) و فرزانه و همکاران (۱۳۸۹) در ریحان (Simon: Refaat and Saleh., 1997; et al., 1992)؛ رام و همکاران و چارلز و همکاران در نعنای نیز نشان دادند که درصد اسانس این گیاهان در اثر تنش آبی تا حدی افزایش می‌یابد (Charles et al., 1990; Ram et al., 1995). در دو گیاه ریحان و نعنای گزارش شده است که بالا بودن تراکم غده‌های مترشح اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از تنش، باعث تجمع بیشتر اسانس می‌شود (Charles et al., 1990). در این آزمایش نیز شاید بتوان درصد بالای اسانس را در تیمار تنش متوسط (شرایط a2)، با کاهش سطح برگ و متعاقب آن افزایش تراکم غده‌های ترشح‌کننده اسانس توجیه کرد.

اثر تیمارها بر بهره‌وری آب

برای سه سطح آبیاری کامل، کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان به ترتیب ۲۹/۹۹، ۲۳/۶۹ و ۱۷/۳۹ لیتر در هر گلدان آبیاری اعمال شده است. نتایج نشان می‌دهد که آبیاری و کاربرد بیوپار اثر معنی‌داری روی بهره‌وری آب دارد به طوری که هر دو در سطح یک درصد معنی‌دار شده‌اند (جدول ۲). با افزایش سطوح کاربرد بیوپار بهره‌وری آب افزایش پیدا می‌کند و بیشترین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک برگ (به ترتیب ۳/۲۶ و ۰/۴ کیلوگرم بر مترمکعب) در شرایط کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوپار (b1) مشاهده شد که با شرایط بدون کاربرد بیوپار (b3) ۱۹ و ۲۵ درصد اختلاف دارد (جدول ۴) که توسط محققین مختلفی نیز گزارش شده است (آقایاری و همکاران، ۱۳۹۵؛ Khalili et al., 2020). کم آبیاری به عنوان یکی از راهکارهای افزایش بهره‌وری آب است و با کاهش کاربرد آب، کسر بهره‌وری آب افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج جدول ۳ بیشترین

بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک در شرایط a3 به دست آمده و نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۱ و ۱۴ درصد اختلاف نشان می‌دهد. نتایج مقایسه میانگین‌های اثر متقابل تیمارهای دوگانه جدول ۵ نشان داد که بیشترین بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک در تیمار a3b1 به ترتیب به میزان ۳/۵۳ و ۰/۴۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد در حالی که کمترین بهره‌وری آب در تیمار a1b3 (۲/۶۰ و ۰/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب) به دست آمد که نشان می‌دهد در شرایط کمبود آب، کاربرد بیوپار به حفظ رطوبت در دسترس برای گیاه کمک کرده و کاهش عملکرد زیادی در وزن تر برگ گیاه ریحان حاصل نمی‌شود و بنابراین بالاترین بهره‌وری آب در تیمار کم آبیاری ۵۰ درصد نیاز آبی و کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوپار اتفاق می‌افتد.

با توجه به نتایج برای انتخاب بهترین تیمار آزمایشی در طول این مطالعه می‌توان نتیجه‌گیری کرد؛ برای به دست آوردن حداکثر بهره‌وری آب استفاده از بیوپار و کم آبیاری اجتناب‌ناپذیر است و در شرایط کمبود شدید آب باید از پتانسیل موجود در کاربرد بیوپار برای حفظ رطوبت موجود و در دسترس گیاه استفاده کرد. با توجه به اینکه این آزمایش در مقیاس کوچک و در داخل گلدان انجام شده است، بیوپار اثر زیادی در جلوگیری از تنش داشته و برای همین بیشترین بهره‌وری آب در تنش شدید به دست آمده است و به طور کامل نمی‌توان گفت که در شرایط مزرعه نیز می‌توان به این بهره‌وری آب دست پیدا کرد. خلیلی و همکاران و آقایاری و همکاران (۱۳۹۵) افزایش بهره‌وری آب در اثر کم آبیاری و کاربرد بیوپار را گزارش کرده‌اند (Khalili et al., 2020).

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کم آبیاری تأثیر معنی‌داری بر میزان وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و وزن تر و خشک ریشه گیاه ریحان داشت و بیشترین مقدار این صفات در آبیاری کامل به دست آمد و نشان‌دهنده حساسیت گیاه ریحان نسبت به تنش خشکی است. همچنین تأثیر معنی‌دار و مثبت کاربرد بیوپار نیز بر اجزاء عملکرد گیاه ریحان مشاهده شد و به طور کلی بیشترین مقدار این صفات (وزن تر و خشک برگ و ساقه) با افزایش سطوح کاربرد بیوپار افزایش معنی‌داری نشان داده و نتیجه‌گیری می‌شود که کاربرد بیوپار باعث افزایش رشد اندام هوایی گیاه ریحان می‌شود. اثر متقابل بیوپار و کم آبیاری نیز معنی‌دار شده و نشان می‌دهد در صورت کاربرد بیوپار در شرایط تنش آبی می‌توان از کاهش زیاد عملکرد گیاه جلوگیری کرد. بر اساس نتایج این پژوهش، کاربرد بیوپار باعث فراهمی عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه شده و مانع از کاهش شدید عملکرد گیاه در شرایط تنش می‌گردد. به منظور بررسی بهترین تیمار آزمایشی، بهره‌وری آب بر اساس وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان در

علیزاده، ا. رابطه آب و خاک و گیاه. ۱۳۸۷. موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ هشتم

فرزانه، ا.، غنی، ع. و عزیزی، م. ۱۳۸۹. تأثیر تنش آبی بر ویژگی‌های ظاهری، عملکرد و درصد اسانس در گیاه ریحان (رقم کشکنی لو (لو). مجله پژوهش‌های تولید گیاهی. ۱۷(۱): ۱۱۱-۱۰۳.

کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، کمندی، ع.، معصومی، ع. و نباتی، ج. ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان، انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد، ۵۰۲ صفحه.

کرمی‌نیا، ف.، رنگ‌زن، ن.، نادیان‌قمشه، ح. ا. و لطفی جلال‌آبادی، ا. ۱۳۹۸. اثر کمپوست مصرف‌شده قارچ و بیوچار آن بر عملکرد گیاه جعفری تحت تنش شوری. مجله تحقیقات آب‌و‌خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران). ۵۰(۶): ۱۴۶۵-۱۴۵۳.

لال‌عرب، م.، آستارائی، ع. و لکزینان، ا. ۱۳۹۴. اثر بیوچار بر خصوصیات رشدی گیاه سویا و خصوصیات شیمیایی خاک. اولین همایش بین‌المللی و چهارمین همایش ملی پژوهش‌های محیط-زیست و کشاورزی ایران. ۵ آذر ۱۳۹۴.

لال‌عرب، م.، آستارائی، ع. و لکزینان، ا. ۱۳۹۵. اثر سطوح مختلف بیوچار و ورمی‌کمپوست بر رشد رویشی و جذب برخی عناصر غذایی در گیاه سویا. دومین همایش ملی مدیریت پادار منابع خاک و محیط‌زیست. ۱۷ و ۱۸ شهریورماه ۱۳۹۵.

نادریان‌فر، م. ۱۳۹۴. بررسی اثر متقابل کم‌آبیاری و استفاده از نانو کود بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ریحان. رساله دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ۱۳۷ صفحه.

نادریان‌فر، م. ۱۳۹۵. تعیین تابع تولید گیاه ریحان تحت شرایط کم‌آبیاری و استفاده از نانو کود. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۳(۱۰): ۳۷۶-۳۶۵.

Alian, A., Altman, A. and Heuer, B. 2000. Genotypic difference in salinity and water stress tolerance of fresh market tomato cultivars. *Plant science*. 152(1):59-65.

Baure, A. and Black, A.L. 1992. Organic carbon effects on available water. *Soil Science Society of America Journal*. 56: 248-254.

Bekhradi, F., Luna, M.C., Delshad, M., Jordan, M.J., Sotomayor, J.A., Martínez-Conesa, C. and Gil, M.I. 2015. Effect of deficit irrigation on the postharvest quality of different genotypes of basil including purple and green Iranian cultivars and a Genovese variety. *Postharvest biology and technology*. 100: 127-135.

Biesiada, A. and Kuś, A., 2010. The effect of nitrogen

تیمارهای مختلف محاسبه و نتایج نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه ریحان و کاربرد ۱۰ درصد حجمی بیوچار می‌توان به بیشترین بهره‌وری آب دست پیدا کرد؛ اما باید به این موضوع توجه کرد با توجه به اینکه این آزمایش در مقیاس کوچک و در داخل گلدان انجام شده است، بیوچار اثر زیادی در جلوگیری از تنش داشته و برای همین بیشترین بهره‌وری آب در تنش شدید به دست آمده است و به‌طور کامل نمی‌توان گفت که در شرایط مزرعه نیز می‌توان به این بهره‌وری آب دست پیدا کرد و برای بررسی این موضوع باید شرایط مزرعه نیز انجام شود. اما با توجه به نتایج این مطالعه بهترین تیمار آزمایشی، تیمار a3b1 است و در شرایط کمبود آب می‌توان از این موضوع بهره برد.

منابع

احمدالی، خ. ۱۳۹۲. توسعه مدل انتقال آب مجازی برای اصلاح الگوی کشت و استفاده بهینه از آب کشاورزی در کشور. رساله دکتری دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران.

احیایی، م. و بهیمانی‌زاده، ع. ا. ۱۳۷۲. شرح روش‌های تجزیه شیمیایی خاک. نشریه شماره ۹۸۳. موسسه تحقیقات خاک و آب. تهران. ایران.

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 اکوفیزیولوژی گیاهی. ۸(۲۴): ۴۸-۳۵.

رهبریان، پ. و افشارمنش، غ. ر. ۱۳۹۰. اثر کم‌آبیاری و کود دامی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیکی گیاه دارویی لادرشبو در جیرفت. نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، دوره ۵، ۱(۱۷): ۵۲-۴۱.

صفرزاده شیرازی، ص.، زیبایی، ز. و استوار، پ. ۱۳۹۸. اثر بیوچار پوسته برنج بر رشد و غلظت عناصر غذایی کم‌مصرف در گیاه ریحان مقدس تحت تنش آبی. نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی. ۲(۲): ۱۱۴-۱۰۱.

ضیایی، 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. ۷(۲۶): ۹۹-۱۱۱.

ضیائی، م.، شریفی، م.، نقدی‌بادی، ح. ع.، تحصیلی، ژ. و قربانی-نهوجی، م. ۱۳۹۳. مروری بر گیاه ریحان با تأکید بر عمده‌ترین ترکیبات ثانویه و ویژگی‌های زراعی و دارویی آن. فصلنامه گیاهان دارویی. ۱۴(۵۲): ۴۰-۲۶.

- Radin, J.W. and Eidenbock, M.P. 1984. Hydraulic conductance as a factor limiting leaf expansion of phosphorus-deficient cotton plants. *Plant Physiology*. 75(2): 372-377.
- Rahman, A.A., Shalaby, A.F. and El Monayeri, M.O. 1971. Effect of moisture stress on metabolic products and ions accumulation. *Plant and soil*, 34(1), pp.65-90.
- Ram, M., Ram, D. and Singh, S. 1995. Irrigation and nitrogen requirements of Bergamot mint on a sandy loam soil under sub-tropical conditions. *Agricultural water management*, 27(1): 45-54.
- Refaat, A.M. and Saleh, M.M., 1997. The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on sweet basil plants. *Bulletin of Faculty of Agriculture, Cairo Univ. (Egypt)*.
- Rodriguez Tejerina, V.M. 2010. Biochar as a Strategy for Sustainable Land Management, Poverty Reduction and Climate Change Mitigation/Adaptation? Thermolysis of lignin for value-added products.
- Rondon, M.A., Lehmann, J., Ramírez, J. and Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and fertility of soils*. 43(6): 699-708.
- Rowland, L.S., Smith, H.K. and Taylor, G., 2018. The potential to improve culinary herb crop quality with deficit irrigation. *Scientia Horticulturae*. 242: 44-50.
- Siddiqui, B.S., Aslam, H., Ali, S.T., Begum, S. and Khatoon, N. 2007. Two new triterpenoids and a steroidal glycoside from the aerial parts of *Ocimum basilicum*. *Chemical and pharmaceutical bulletin*. 55(4): 516-519.
- Simon, J.E., Reiss-Bubenheim, D., Joly, R.J. and Charles, D.J. 1992. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. *Journal of Essential Oil Research*. 4(1): 71-75.
- Sinclair, T.R., Tanner, C.B. and Bennett, J.M., 1984. Water-use efficiency in crop production. *Bioscience*. 34(1): 36-40.
- Smart, R.E. and Bingham, G.E. 1974. Rapid estimates of relative water content. *Plant physiology*. 53(2): 258-260.
- Tanguilig, V.C., Yambao, E.B., O'toole, J.C. and De Datta, S.K. 1987. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration, and nutrient uptake of rice, maize, and soybean. *Plant and Soil*, 103(2): 155-168.
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S. and Cowie, A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and soil*. 327(1): 235-246.
- fertilization and irrigation on yielding and nutritional status of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*. 9(2): 3-12.
- Charles, D.J., Joly, R.J. and Simon, J.E., 1990. Effects of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*. 29(9): 2837-2840.
- Ekren, S., Sönmez, Ç., Özçakal, E., Kurttaş, Y.S.K., Bayram, E. and Gürgülü, H. 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *Agricultural water management*. 109: 155-161.
- Francisco, F. G., Castro, I. A., Bastos, A. R., Souza, G. A., de Carvalho, J. G., & Oliveira, L. C., 2011. Recycling of solid waste rich in organic nitrogen from leather industry: mineral nutrition of rice plants. *Journal of hazardous materials*. 186(2-3): 1064-1069.
- Hassani, A., and Omidbaigi, R. 2006. Effect of Water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Biological Sciences*. 6(4): 763-767.
- Iannucci, A., Russo, M., Arena, L., Di Fonzo, N. and Martiniello, P. 2002. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. *European Journal of Agronomy*. 16(2): 111-122.
- Iyamuremye, F. 1996. Organic amendments and phosphorus sorption by soils. *Advances in agronomy (USA)*.
- Khalid, K.A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs [*Ocimum* sp.]. *International Agrophysics*. 20(4).
- 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.
- Kuchenbuch, R., Claassen, N. and Jungk, A. 1986. Potassium availability in relation to soil moisture. *Plant and soil*. 95(2): 233-243.
- Mia, S., Abuyusuf, M., Sattar, M.A., Islam, A.B.M.S., Hiemstra, T. and Jeffery, S. 2014. Biochar amendment for high nitrogen and phosphorous bioavailability and its potentiality of use in Bangladesh agriculture: a review. *The Patuakhali Science and Technology University*. 5: 145-156.
- Nigusie, A., Kissi, E. and Misganaw, M. 2012. Effect of biochar application on soil properties and nutrient uptake of lettuces (*Lactuca sativa*) grown in chromium polluted soils.
- Nishio, M. 1996. *Microbial fertilizers in Japan* (p. 12). Japan: ASPAC Food & Fertilizer Technology Center.

- on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain. *Plant and soil*. 351(1): 263-275.
- Zhang, Q.Z., Wang, X.H., Du, Z.L., Liu, X.R. and Wang, Y.D., 2013. Impact of biochar on nitrate accumulation in an alkaline soil. *Soil Research*. 51(6): 521-528.
- Xu, G., Wei, L.L., Sun, J.N., Shao, H.B. and Chang, S.X. 2013. What is more important for enhancing nutrient bioavailability with biochar application into a sandy soil: Direct or indirect mechanism?. *Ecological engineering*. 52:119-124.
- Zhang, A., Liu, Y., Pan, G., Hussain, Q., Li, L., Zheng, J. and Zhang, X. 2012. Effect of biochar amendment

The Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative and Qualitative Characteristics of Basil

H. Fakhrabadi¹, M. Khoshsimaie Chenar^{2*}

Received: Apr. 30, 2021

Accepted: May. 17, 2021

Abstract

Biochar as a soil amendment improves soil physical and chemical properties, increase nutrient availability, decrease greenhouse gases, reduce nutrient leaching and ultimately increase crop production. Drought stress is one of the most important factors that limit plants growth. Arid lands have a little organic matter, and because of high pH, nutrients deficiency was observed in these soils. In order to study the effect of biochar on growth and concentration of nutrient in basil under water stress, one factorial experiment in Randomized Complete Block Design (RCBD) was carried out in Karaj, Iran. Experimental treatments included three levels of deficit-irrigation 100, 75 and 50% of water requirement of basil (a1, a2 and a3) and three levels of application of biochar 10, 5 and 0% by volume of each pot (b1, b2 and b3). The results of analysis of variance and comparison of the mean of measured traits (fresh and dry weight of leaves, stems and roots) showed that these traits were significantly different under the influence of different levels of irrigation and biochar application; So that the highest value of each of these traits was observed in treatment a1b1 and the lowest value was observed in treatment a3b3. The highest percentage of nitrogen (2.83 %) and phosphorus (0.16 %) was observed in the medium water stress treatment and the application of 10% by volume of biochar (a2b1) and the highest percentage of potassium (1.21 %) was observed in the a3b1 treatment. Also, the highest water productivity was obtained based on fresh (3.53 kg / m³) and dry (0.44 kg / m³) basil leaves in a3b1 treatment. Therefore, it can be concluded that the use of biochar in conditions of water stress has an effective role in improving nutrient uptake, which ultimately leads to increased vegetative growth and water productivity of basil.

Key words: Basil, Biochar, Plant Growth, Water Productivity, Water Stress

1- M. Sc, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.

2- PhD Student, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: Khoshsima.mortaza@ut.ac.ir)