نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۲(۶۶)، تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۱۸۶-۱۶۹

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/JCEP.2023.1926358.1792

امکان سنجی افزایش کارآیی مصرف آب تحت تاثیر الگوی کاشت وآبیاری موضعی با مصرف بیوچار در زراعت آویشن (*Thymus vulgaris* L.)

کیومرث فخری[۱]، سعید سیف‌زاده[۲*]، منصور سراجوقی[۳*]، سیدعلیرضا ولدآبادی[۲] و اسماعیل حدیدی ماسوله[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۶ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۵

چکیده

با توجه به کمبود آب در بخش کشاورزی و اهمیت آن در تولید گیاه دارویی آویشن، مدیریت مصرف آب جهت توسعه کشت آن ضروری به نظر می‌رسد. به این منظور در آزمایشی تأثیر رژیم آبیاری، الگوی کشت و کاربرد بیوچار بر رشد و عملکرد گیاه آویشن مورد بررسی قرار گرفت. عوامل آزمایش شامل رژیم آبیاری در سه سطح (آبیاری تمامی جویچه‌ها، آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر)، بیوچار در دو سطح (عدم کاربرد بیوچار یا شاهد و کاربرد بیوچار به میزان هشت تن در هکتار) و الگوی کاشت در دو سطح (کشت یک ردیفه و دو ردیفه آویشن) بودند. این آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ و به‌صورت آزمایش کرت‌های یک‌بار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین عملکرد سرشاخه گل‌دار در تیمار آبیاری تمامی جویچه‌ها + کاربرد بیوچار با میانگین ۱۷۰۱ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. در این بررسی بیشترین و کمترین عملکرد اسانس به ترتیب با ۲۴/۷ و ۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار در آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت + کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن به دست آمد. در کل، علی‌رغم کاهش رشد و عملکرد ماده خشک آویشن، تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر با افزایش قابل‌ملاحظه درصد اسانس و کاهش مصرف آب، باعث افزایش عملکرد اسانس شد. استفاده از بیوچار هم درشرایط کم‌آبیاری و هم آبیاری کامل بر تمامی صفات رویشی و عملکردی آویشن اثر مثبتی داشت.

واژگان کلیدی: تراکم گیاهی، سرشاخه گل‌دار، عملکرد اسانس، کم آبیاری.

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
۳- استادیار گروه زراعت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران.
نگارندگان مسئول s.seyfzadeh@tiau.ac.ir and msarajuoghi@gmail.com

مقدمه

آویشن یکی از گیاهان دارویی با ارزش و پرمصرف در استان تهران و البرز است و از طرفی میل به کشت آن در منطقه افزایش یافته و همچنین به‌صورت خودرو در منطقه البرز رویش دارد. خشکی مهم‌ترین عامل تنش‌زای محیطی است که روی ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی جهان اثر می‌گذارد و به‌شدت محدودکننده رشد و تولید است (Fathi and Barari Tari, 2016). بیوچار ذرات ریز حاصل از کربونیزاسیون است که از ویژگی‌های آن بالا بودن کربن آلی و حساسیت کم به فرآیند تخریب است. این ترکیب از ماده آلی و حاصل پرولیز است. بیوچار می‌تواند به‌عنوان افزودنی به خاک یا علوفه و حتی تیمار آب به کار گرفته شود (Malinska, 2015). از بیوچار می‌توان برای تثبیت آلودگی در خاک استفاده و به‌عنوان مواد تکمیلی در تهیه کمپوست و در فرآیند تخمیر متان استفاده کرد (Malinska, 2015).

تراکم گیاهی از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی است. افزایش هزینه کاشت گیاهان منجر به افزایش اهمیت تعیین تراکم مناسب برای گیاهان زراعی شده است.

لوری و همکاران (Lori *et al.*, 2013) داده‌های مربوط به ۵۹ مطالعه گلدانی و ۵۷ مطالعه مزرعه‌ای از ۲۱ کشور را بررسی نمودند. این محققین مشاهده نمودند که به‌طور میانگین میزان تولید گیاهان زراعی به میزان ۱۱ درصد افزایش یافت. این محققین مشاهده نمودند که بیوچار بیشترین اثر افزایشی را در لگوم‌ها (۳۰ درصد)، سبزیجات (۲۹ درصد) و گیاهان علفی (۱۴ درصد) در مقایسه با ذرت (۸ درصد)، گندم (۱۱ درصد) و برنج (۷ درصد) داشت. بیدرمان و هارپول (Biderman and Harpol, 2013) نتایج ۳۷۱ مطالعه مستقل را بررسی نمودند. این آنالیز نشان داد که اضافه نمودن بیوچار به خاک باعث افزایش بیوماس، عملکرد گیاهان زراعی، بیوماس میکروبی خاک، گروه‌بندی ریزوبیومی، غلظت پتاسیم گیاه، فسفر خاک، پتاسیم خاک، نیتروژن کل خاک و کربن آلی خاک می‌شود. افزایش عملکرد در اثر کاربرد بیوچار به اثرهای ترکیبی افزایش دسترسی به مواد غذایی و بهبود شرایط شیمیایی خاک مرتبط گردید.

کاربرد بیوچار رشد گیاه را عمدتاً با بهبود خصوصیات محیط ریشه مانند وضعیت مواد غذایی، pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، بهبود می‌بخشد (Vanek and Lehmann, 2015; Noguera *et al.*, 2012). معاونی و همکاران (Moaveni *et al.*, 2011) نشان دادند که بیشترین تعداد شاخه، بیوماس، ارتفاع بوته و وزن‌تر اندام هوایی آویشن در تراکم پایین‌تر از ۱۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد و با کاهش تراکم بر میزان این صفات افزوده شد. پانتا و همکاران (Punetha *et al.*, 2022) نشان دادند که تراکم کشت کمتر، میزان اسانس و کیفیت آن را در گیاه آویشن هیمالیایی (*Thymus linearis* Benth.) در مقایسه با تراکم کشت بیشتر، افزایش داد.

با توجه به مطالب فوق، در این بررسی تأثیر تعداد ردیف‌های کاشت و کاربرد بیوچار در شرایط کم‌آبی موردبررسی قرار گرفت تا امکان کاهش آب آبیاری با این عملیات بررسی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵

دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا انجام شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. میانگین دمای سالانه ۱۲ درجه سلسیوس، میانگین حداکثر دمای سالانه ۴۳ درجه سلسیوس و میانگین حداقل دمای سالیانه ۲۸- درجه‌ی سلسیوس است. میانگین بارندگی سالانه‌ی این ناحیه ۳۹۸ میلی‌متر است. اسیدیته خاک‌های منطقه در محدوده‌ی قلیایی تا متوسط می‌باشد.

قبل از شروع آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌ای مرکب برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مزرعه دارای بافت لوم شنی، شوری ۱/۰۲ dS/m و اسیدیته ۷/۵۳ بود (جدول ۱). بر اساس توصیه‌های کودی، در این آزمایش از کودهای فسفره و پتاسه استفاده نشد.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل: رژیم‌های آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح: آبیاری تمام جویچه‌ها (شاهد)، آبیاری موضعی (یک‌درمیان ثابت)، آبیاری موضعی (یک‌درمیان متغیر)، بیوچار شامل: عدم مصرف (شاهد) و مصرف بیوچار (مصرف ۸ تن در هکتار که قبل از کشت با خاک مخلوط گردید) و ردیف کاشت شامل: کشت یک ردیفه و دو ردیفه روی پشته بودند.

عملیات تهیه زمین در اواخر بهار انجام شد که شامل شخم و دیسک و تسطیح زمین و درنهایت کرت‌بندی بود. در اواسط آبان اقدام به کاشت بذر در زمین اصلی گردید. ابعاد هر کرت ۴/۲×۴ مترمربع، فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر بود. در کشت دو ردیفه آویشن، فاصله بوته‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. لذا در کشت یک و دو ردیفه تراکم کاشت به‌ترتیب ۴/۱ و ۸/۲ بوته در مترمربع بود. آرایش بوته‌ها در داخل کرت به حالت ضربدری بود. فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر بود. پس از آماده کردن زمین، در فصل پاییز اقدام به کشت بذر در زمین اصلی نموده و در هفته سوم پس از کاشت اقدام به تنک و واکاری گردید. از زمان کاشت تا استقرار کامل گیاهچه‌ها و فرارسیدن دوره سرما گیاهان به‌طور مرتب و هفته‌ای یک‌بار آبیاری شدند. برای کلیه کرت‌ها، رسیدگی لازم از قبیل وجین و غیره در طی دوره رویش به‌طور یکسان به عمل آمد. کنترل علف‌های هرز به‌صورت دستی و طی چندین مرحله در طول دوره رشد صورت گرفت.

زمان اعمال تیمارها در بهار و پس از قطع بارندگی‌های بهاره و برای تخمین حجم آب آبیاری در کل دوره از روابط ۲ و ۱ (Masjedi *et al.*, 2008) استفاده و مقدار آن برای تیمارهای مختلف برآورد گردید:

$$I=\frac{(FC-PWP)\times(\frac{\rho b}{\rho w})\times D}{۱۰۰} \quad (۱)$$

در این رابطه، I: عمق آب آبیاری بر حسب سانتی متر، FC: رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی، D: عمق مؤثر ریشه بر حسب سانتی‌متر، β_b: وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب، β_w: وزن مخصوص ظاهری آب بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند.

$$V=I\times A\times 100 \quad (۲)$$

در این رابطه، V: حجم آب استفاده شده در هر کرت بر حسب لیتر، I: ارتفاع آب آبیاری بر حسب متر و A: مساحت کرت بر حسب متر مربع است.

قبل از اعمال تیمارها، ابتدا صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه تا مرحله شروع تیمارها یادداشت گردید. برای این منظور گیاهان از حدود ۸ سانتی‌متری کف‌بر شده و پس از خشک شدن در دمای ۶۰ الی ۷۰ درجه سلسیوس، عملکرد اندام هوایی محاسبه شد.

درصد اسانس با استفاده از روش تقطیر با آب اندازه‌گیری و عملکرد اسانس محاسبه شد تا در محاسبات عملکرد کل گیاه در طول دوره رشد منظور گردد. مرحله اصلی تحقیق پس از کف‌بر کردن گیاهان و با کنترل میزان آب مصرفی شروع گردید.

قبل از کاشت، بیوچار تهیه‌شده از موسسه آب و خاک کشور، بر اساس نقشه آزمایش با خاک مخلوط گردید. برای این منظور مقدار کافی از بیوچار بر اساس کاربرد ۸ تن در هکتار در سطح کرت‌ها مخلوط و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری شخم زده شد (Abdipour *et al.*, 2019). بذور آویشن از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. برای تأمین نیاز گیاه به کود نیتروژنه بر اساس آزمون خاک، اوره به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار بعد از استقرار گیاهان و بعد از اولین مرحله دفع علف‌های هرز و قبل از اعمال تیمارهای آبیاری مصرف گردید.

پس از ظهور گل و در تمامی ترکیب‌های تیماری، بعد از حذف اثر حاشیه اقدام به ارزیابی صفات مورفولوژیک گردید. صفات مورد بررسی در این مرحله از آزمایش شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد شاخه گل‌دار، قطر تاج پوشش، عملکرد سرشاخه گل‌دار، درصد اسانس و عملکرد اسانس بود. جهت به دست آوردن درصد اسانس، بوته‌های خشک آسیاب شده و از هر واحد آزمایشی به میزان ۸۰ گرم نمونه‌برداری و توسط کلونجر و به روش تقطیر با آب، اسانس‌گیری به مدت ۲ ساعت انجام و میزان درصد وزنی اسانس به دست آمد.

به‌منظور اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C آزمون نرمال انجام شد. به‌منظور بررسی یکنواختی واریانس خطاهای آزمایشی، ابتدا آزمون بارتلت با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver.21 انجام شد. با توجه به معنی‌دار نبودن تفاوت واریانس خطاهای صفات مورد بررسی و همگنی داده‌ها، تجزیه مرکب صورت گرفت. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver. 9.1.3 انجام و میانگین تیمارها به روش آزمون چند دامنه‌ی دانکن در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری، بیوچار و برهم‌کنش رژیم آبیاری با بیوچار و سال بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته‌های آویشن با ۴۱/۰۱ سانتی‌متر در تیمار کاربرد بیوچار به‌علاوه آبیاری تمامی جویچه‌ها در سال دوم به دست آمد، درحالی‌که کمترین ارتفاع بوته‌های آویشن با ۲۱/۵ سانتی‌متر متعلق به آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان + عدم کاربرد بیوچار و سال اول بود. در هر دو سال، کاهش آب آبیاری به دو روش یک‌درمیان کاهش معنی‌داری را در ارتفاع بوته‌های آویشن باعث گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد که تحت تأثیر آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر، کاهش در ارتفاع بوته با کاربرد

بیوچار بیشتر بود. یعنی در حضور بیوچار، کم‌آبی کاهش بیشتری را در ارتفاع بوته باعث گردید. در کل، تیمار کم‌آبی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای را در ارتفاع بوته‌های آویشن باعث گردید. هزومی و همکاران (Hazzoumi *et al.*, 2015) طی بررسی که انجام دادند، مشاهده نمودند که کم‌آبی ارتفاع بوته را در گیاه دارویی ریحان کاهش می‌دهد. یعقوبیان و همکاران (Yaghoubian *et al.*, 2016) نیز در گیاه دارویی خارمریم تأثیر منفی کم‌آبی بر ارتفاع بوته را گزارش نمودند. فیزیولوژیست‌ها بر این باور هستند که کاهش پتانسیل آبی درونی سلولی مهم‌ترین عامل کاهش رشد سلول‌ها و در نتیجه رشد بخش‌های مختلف گیاهان است. چراکه بالا بودن پتانسیل آبی مهم‌ترین نیروی محرکه رشد سلول‌ها به‌شمار می‌رود و بنابراین کاهش آب در دسترس گیاه باعث کاهش نیروی محرکه رشد سلول‌ها و در نتیجه بخش‌های مختلف گیاه خواهد شد (Yadav and Yadav, 2018). سایر محققین گزارش نمودند که ازجمله فرآیندهایی که به‌شدت در اثر کم‌آبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد، تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها است. کم‌آبی رشد سلول‌ها را در اثر کاهش پتانسیل اسمزی سلول‌های گیاهی کاهش می‌دهد (Deepak *et al.*, 2019). چراکه آب نیروی محرکه برای رشد سلول‌ها است و کمبود آب با تضعیف این نیروی محرکه، رشد سلول‌ها و در نتیجه رشد بوته را کاهش می‌دهد (Yadav and Yadav, 2018).

علی‌رغم نتایج فوق، به‌غیر از تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر در سال دوم، در تمامی ترکیب‌های تیماری سال و تیمارهای آبیاری، تیمار کاربرد بیوچار افزایش معنی‌داری را در ارتفاع بوته‌های آویشن باعث گردید که بیشترین میزان افزایش در سال دوم و آبیاری تمامی جویچه‌ها به‌دست آمد. در این ترکیب تیماری، کاربرد بیوچار به میزان ۲۷/۷ درصد بر ارتفاع بوته‌های آویشن افزود. بیوچار یک تیمار ارزشمند برای خاک می‌باشد. بیوچار می‌تواند از دست روی مواد غذایی را کاهش داده و مواد غذایی بیشتری را برای گیاه فراهم آورد و کارایی مصرف مواد غذایی را بهبود بخشند (Dong *et al.*, 2020). عناصر غذایی مختلف بر رشد گیاه تأثیر مثبتی دارند و لذا کاربرد بیوچار می‌تواند از این طریق بر ارتفاع بوته بیفزاید. از جمله این ترکیبات نیتروژن است که کمبود آن باعث افزایش ارتفاع بوته می‌شود (Bebeley *et al.*, 2021). عبدی‌پور و همکاران (Abdipour *et al.*, 2019) تأثیر کاربرد بیوچار را بر ارتفاع بوته بررسی نموده و مشاهده کردند که کاربرد بیوچار باعث افزایش ارتفاع بوته‌های ریحان می‌شود.

تعداد شاخه جانبی

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر ساده کاربرد بیوچار و برهم‌کنش سال در سطوح آبیاری در ردیف کاشت بر تعداد شاخه جانبی معنی‌دار بود (جدول ۲). در سال اول در شرایط عدم کاربرد بیوچار، اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری وجود نداشت، ولی با کاربرد بیوچار، تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاهش معنی‌داری را در تعداد شاخه باعث شدند (جدول ۶). نسبت هورمونی اکسین و سیتوکینین نقش مهمی در شاخه‌زایی گیاهان بر عهده دارد (Jameson, 2017).

درحالی‌که خشکی این نسبت را در گیاهان مختل نموده و از این طریق از شاخه‌زایی می‌کاهد، زیرا بافت‌هایی با مقدار سیتوکینین بالا مخازن

قوی‌تری برای دریافت اسیمیلات‌ها و رشد و تمایز بیشتر هستند. خشکی مقدار و فعالیت این هورمون را می‌کاهد (Jogawat *et al.*, 2020).

در بررسی حاضر در سال دوم و آبیاری کامل، در تیمار یک ردیف کاشت، تعداد شاخه جانبی بیشتری در مقایسه با دو ردیف کاشت به دست آمد. افزایش تراکم گیاهی منجر به افزایش غالبیت انتهایی گیاهان می‌گردد. گزارش‌ها حاکی از این است که افزایش غالبیت انتهایی در گیاهان منجر به کاهش فعالیت جوانه‌های جانبی شده و لذا میزان تولید شاخه جانبی در هر بوته کاهش می‌یابد (Spies, 2009). در صورت کاشت گیاهان در تراکم‌های کم، میزان استفاده گیاه از منابع افزایش یافته و رقابت گیاه برای نور، آب و مواد غذایی کاهش می‌یابد. این استفاده بیشتر از منابع منجر به افزایش تعداد شاخه در گیاهان می‌گردد (Lotfi *et al.*, 2013).

با توجه به نتایج حاصل از این بررسی، کاربرد بیوچار اثر افزایش معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های آویشن داشت. در تیمار کاربرد بیوچار تعداد شاخه ۳۵/۷ عدد بود که در مقایسه به عدم کاربرد بیوچار با تعداد شاخه ۳۱/۸ عدد به میزان ۱۳/۷ درصد بیشتر بود (جدول ۴).

تعداد شاخه گل‌دار

برهم‌کنش تیمارهای آبیاری در کاربرد بیوچار اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه‌های آویشن داشت (جدول ۲). آبیاری تمام جویچه‌ها باعث تولید بیشترین تعداد شاخه گل‌دار گردید (جدول ۳). همچنین بیشترین تعداد شاخه با ۲۴/۷ عدد در تیمار آبیاری تمامی جویچه‌ها + کاربرد بیوچار به دست آمد، درحالی‌که در بین سایر ترکیب‌های تیماری از نظر تعداد شاخه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در کل تنها اعمال توأم تیمارهای بیوچار و آبیاری تمامی جویچه‌ها اثر مثبتی بر تعداد شاخه داشت (جدول ۵). یعقوبیان و همکاران (Yaghoubian *et al.*, 2016) طی بررسی که انجام دادند، مشاهده نمودند که کم‌آبی کاهش معنی‌داری در تعداد شاخه‌های گل‌دهنده در *Silybum marianum* باعث می‌شود. شریفی و همکاران (Sharifi *et al.*, 2017) نیز کاهش تعداد شاخه‌های بابونه را در اثر کم‌آبی مشاهده نمودند. تحت تأثیر کم‌آبی از میزان سیتوکینین کاسته می‌شود که هورمون اصلی در تولید شاخه‌های جانبی است (Domagalska and Leyser, 2011). ولی حتی تحت تأثیر حضور مقدار کافی هورمون سیتوکینین نیز در اثر کم‌آبی میزان فتوسنتز به‌شدت کاهش می‌یابد و در نتیجه کمبود اسیمیلات‌ها باعث کاهش تولید شاخه‌های جانبی می‌شود (Domagalska and Leyser, 2011).

در بررسی حاضر تنها در شرایط آبیاری تمامی جویچه‌ها، کاربرد بیوچار بر تعداد شاخه گل‌دار افزود (جدول ۴)، که این نتایج نشان داد که حضور آب برای اثربخشی بیوچار بر تعداد شاخه گل‌دار ضروری است. چرا که حضور آب می‌تواند بخشی از ترکیبات فعال موجود در بیوچار را آزاد کرده و نقش بیوچار را بر بهبود خصوصیات زیستی خاک تسریع بخشد (Farrell *et al.*, 2013).

قطر تاج پوشش

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر برهم‌کنش سال در نوع آبیاری در کاربرد بیوچار بر قطر تاج پوشش آویشن معنی‌داری داشت (جدول ۲). بیشترین قطر تاج پوشش با ۵۸/۰۵ سانتی‌متر متعلق به تیمار آبیاری تمامی جویچه‌ها + کاربرد بیوچار در سال دوم بود، درحالی‌که کمترین آن با ۴۱/۷ سانتی‌متر در تیمار آبیاری

جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوچار در سال اول به‌دست آمد. در سال اول در شرایط عدم کاربرد بیوچار تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاهش معنی‌دار ۱۳/۸ درصدی را در قطر تاج پوشش باعث گردید. در سال دوم بررسی، نتایج متفاوتی حاصل شد و تنها با کاربرد بیوچار تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاهش معنی‌دار ۲۲/۹ و ۱۹/۸ درصدی را در قطر تاج پوشش باعث شد. این واکنش احتمالاً به این دلیل است که در سال دوم در شرایط آبیاری کامل کاربرد بیوچار افزایش قابل‌ملاحظه‌ای را در قطر تاج پوشش آویشن باعث شده بود، درحالی‌که کاربرد بیوچار همراه با تیمارهای کم‌آبی تأثیر چندانی نداشت (جدول ۸). نتایج نشان داد که کم‌آبی تأثیر منفی بر قطر تاج پوشش دارد و علاوه بر آن بیوچار در شرایط آبیاری کامل تاثیر بیشتری بر قطر تاج پوشش داشت. افزایش فعالیت بیوچار در حضور رطوبت و در نهایت افزایش رشد و قطر تاج پوشش در گیاهان عمدتاً وابسته به تعداد شاخه‌های تولید شده است که نتایج بررسی حاضر نیز نشان داد که کم‌آبی تعداد شاخه را کاهش می‌دهد. تورک و همکاران (Toork *et al.*, 2015) نیز در گیاه دارویی مریم‌گلی نشان دادند که کم‌آبی قطر تاج پوشش را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد.

عملکرد سرشاخه گل‌دار

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثر برهم‌کنش تیمار آبیاری و کاربرد بیوچار عملکرد سرشاخه گل‌دار معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین عملکرد سرشاخه گل‌دار با ۱۷۰۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری تمامی جویچه‌ها + کاربرد بیوچار به‌دست آمد، درحالی‌که کمترین آن با ۹۷۹ کیلوگرم در هکتار متعلق به آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوچار بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد بیوچار، با کاهش آب آبیاری از عملکرد سرشاخه گل‌دار کاسته شد.

در شرایط عدم کاربرد بیوچار تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاهشی ۲۷/۸ و ۳۵/۶ درصدی نسبت به آبیاری تمامی جویچه‌ها و در صورت کاربرد بیوچار تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاهشی ۱۳/۶ و ۳۰/۹ درصدی در عملکرد سرشاخه گل‌دار نسبت به آبیاری تمامی جویچه‌ها حاصل گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط عدم کاربرد بیوچار کاهش در عملکرد سرشاخه گل‌دار با کاهش آب آبیاری، بیشتر از شرایط کاربرد بیوچار بود (جدول ۵). کم‌آبی منجر به کاهش پتانسیل آبی برگ‌ها، از دست رفتن توژسانس، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش بزرگ شدن سلول‌ها و کاهش رشد می‌گردد. کم‌آبی شدید منجر به کاهش فتوسنتز، به هم ریختن متابولیسم و در نتیجه بیوماس گیاه می‌گردد (Deepak *et al.*, 2019). محققین گزارش نموده‌اند که محدودیت منابعی مانند آب از طریق کاهش فتوسنتز جاری منجر به محدودیت منبع و محدودیت مخزن می‌گردد. بنابراین، تجمع ماده خشک در بخش‌های مختلف گیاه کاهش می‌یابد (Yadav and Yadav, 2018). نتایج این بررسی نشان داد که در تمامی تیمارهای آبیاری، کاربرد بیوچار اثر افزایش معنی‌داری بر عملکرد سرشاخه گل‌دار آویشن داشت. بیشترین افزایش نیز متعلق به آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت بود.

در این تیمار آبیاری کاربرد بیوچار به‌میزان ۳۲/۷ درصد بر عملکرد سرشاخه گل‌دار افزود. عبدی‌پور و همکاران (Abdipour *et al.*, 2019) تأثیر کاربرد بیوچار را بر رشد ریحان بررسی نموده و مشاهده کردند که کاربرد بیوچار باعث افزایش وزن خشک اندام هوایی ریحان می‌شود. افزایش جذب عناصر غذایی با کاربرد بیوچار از مهم‌ترین دلایل تأثیر مثبت این ترکیب است. عناصر غذایی جذب سطحی ذرات بیوچار می‌شود و شستشوی آنها را در خاک کاهش می‌دهد و دسترسی آنها به گیاهان را افزایش می‌دهد (Kameyama *et al.*, 2014).

درصد اسانس

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای آبیاری در تیمار بیوچار در تعداد ردیف بر صفت درصد اسانس اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). کم‌آبی افزایش معنی‌داری را در درصد اسانس آویشن باعث گردید. این در حالی است که تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر، بیشترین افزایش را در درصد اسانس به‌ترتیب در کاربرد بیوچار + کشت یک ردیفه آویشن و کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن باعث شد که معادل ۷۶/۴ و ۷۷/۸ درصد افزایش در درصد اسانس بود (جدول ۷). شرایط تنش تولید و نگهداری مواد ثانویه در گیاه را افزایش می‌دهد. این مواد چون از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌کنند، در شرایط تنش افزایش می‌یابند. کم‌آبی در متابولیسم گیاه اثر می‌گذارد، از جمله اینکه تولید پروتئین‌ها و آنزیم‌ها دچار اختلال می‌شود. در این شرایط در اثر افزایش تجزیه کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، تولید آلکالوئیدها، اسانس‌ها و مواد معطر گیاهان افزایش می‌یابد (Kameyama *et al.*, 2014). در کم‌آبی متوسط بر درصد اسانس بوته‌های گیاهان دارویی افزوده می‌شود، چراکه میزان تولید ترکیبات ثانوی جهت افزایش مقاومت به کم‌آبی افزایش می‌یابد، که این ترکیبات، ترکیبات مشترک اسانس و ترکیبات ثانوی هستند. تا زمانی که شرایط اجازه تقسیم و گسترش سلولی را بدهد، کربن صرف رشد می‌شود. با وقوع تنش کم‌آبی رشد متوقف شده، سلول‌ها تمایز یافته و مخازن متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند و گیاه کربن را به تولید مواد مؤثره دارویی اختصاص می‌دهد (Rogovska *et al.*, 2014).

در این پژوهش، کاربرد بیوچار اثرهای ضد و نقیضی را بر درصد اسانس در ترکیب‌های تیماری آبیاری و ردیف کاشت داشت. در آبیاری تمامی جویچه‌ها، کاربرد بیوچار تأثیر معنی‌داری را بر درصد اسانس نداشت، ولی در شرایط کم‌آبی نتایج متفاوت بود. در تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر در هر دو ردیف کاشت، کاربرد بیوچار افزایش معنی‌داری را در درصد اسانس باعث شد که در آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت بیشترین آن در کشت یک ردیفه آویشن حاصل گردید، درحالی‌که در آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاربرد بیوچار در هر دو ردیف کاشت اثر افزایشی مشابهی را در درصد اسانس باعث شد. نتایج نشان داد که در شرایط کم‌آبی بیوچار تأثیر بیشتری بر درصد اسانس دارد. چرا که بیوچار در شرایط کم‌آبی تأثیر مثبت بیشتری را از طریق تأمین آب و مواد غذایی دارد (Rogovska *et al.*, 2014).

عملکرد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش تیمارهای آبیاری، بیوچار و

ردیف کاشت بر عملکرد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۲). در این بررسی بیشترین و کمترین عملکرد اسانس به‌ترتیب با ۲۴/۷ و ۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار در آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت + کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن به دست آمد. در این مطالعه در اغلب ترکیب‌های تیماری بیوچار و ردیف کاشت، تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر افزایش معنی‌داری را در عملکرد اسانس آویشن باعث گردید. تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر بیشترین افزایش را در عملکرد اسانس آویشن به‌ترتیب با ۵۲/۲ و ۲۶ درصد در ترکیب تیماری کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن باعث شد. لذا در شرایط کاربرد بیوچار و کشت دو ردیفه، کم‌آبی کاهش بیشتری را در عملکرد اسانس آویشن باعث می‌شود (جدول ۷). بررسی‌ها نشان داده است که کم‌آبی متوسط با تحریک تولید ترکیبات ثانوی، می‌تواند بر عملکرد اسانس بیفزاید (Rogovska *et al.*, 2014). نتایج بررسی حاضر نشان داد که تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت کاهش بیشتری را در عملکرد اسانس در مقایسه با آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر باعث می‌شود. چراکه در این تیمار تعدادی از بوته با تنش شدیدتری مواجه می‌شوند که باعث افزایش بیشتر درصد اسانس می‌شود. در بررسی حاضر کاربرد بیوچار در اغلب ترکیب‌های تیماری آبیاری و ردیف کاشت، افزایش معنی‌داری را در عملکرد اسانس باعث گردید. تنها در آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت + کشت یک ردیفه آویشن تیمار بیوچار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس نداشت، درحالی‌که در سایر ترکیب‌های تیماری، کاربرد بیوچار بر عملکرد اسانس افزود که بیشترین افزایش متعلق به آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + کشت دو ردیفه آویشن بود. در این ترکیب تیماری کاربرد بیوچار ۷۵/۸ درصد بر عملکرد اسانس آویشن افزود.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه کاهش دفعات آبیاری از طریق افزایش درصد اسانس، بر عملکرد اسانس افزود، ولی خصوصیات فیزیولوژیک و محتوای عناصر غذایی به‌طور منفی تحت تأثیر کم‌آبی قرار گرفت. بیوچار نیز در هر دو شرایط کم‌آبی و آبیاری کامل بهبودهای مؤثری از طریق تأمین بهتر آب و مواد غذایی را در صفات باعث گردید. با توجه به اهمیت اقتصادی عملکرد اسانس، کاهش آب آبیاری می‌تواند در کنار کاربرد بیوچار بر عملکرد اسانس بیفزاید، درحالی‌که الگوی کاشت بر این صفت تأثیری نداشت.

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مزرعه طی دو سال زراعی

Table 1- Results of field soil decomposition during two cropping years

درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن (٪)	کربن آلی	اسیدیته گل اشباع	EC ($ds.m^{-1}$)	عمق (cm)
44	42	14	8.60	420	0.077	%70	7.5	1.02	0-30

جدول ۲- آزمون بارتلت و تجزیه واریانس صفات موردبررسی در آویشن

Table 2- Bartlet test and analysis of variance of the studied traits in thyme

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	تعداد شاخه گل‌دار Number of flowering branches	قطر تاج پوشش Head diameter	عملکرد سرشاخه گل‌دار Yield of flowering branches	درصد اسانس Essential oil %	عملکرد اسانس Essential oil yield
آزمون بارتلت Bartlet test	-	0.003^{ns}	0.048^{ns}	1.653^{ns}	2.218^{ns}	1.456^{ns}	0.201^{ns}	0.004^{ns}
سال Year (Y)	1	0.016^{ns}	3.251^{ns}	19.117^{ns}	85.151^{ns}	118804.585**	0.028^{ns}	0.063^{ns}
تکرار در سال Y (R)	4	0.742	50.447	9.498	14.073	1581.62	0.009	1.125
آبیاری Irrigation (A)	2	1284.631**	856.081**	90.376**	332.071*	1732476.421**	3.512**	314.871**
سال × آبیاری Y×A	2	3.966^{ns}	11.218^{ns}	28.304*	58.287^{ns}	61332.151**	0.007^{ns}	0.487^{ns}
خطای اصلی Error	8	3.257	44.79	3.702	56.873	2695.951	0.013	0.468
بیوچار Biochar (B)	1	278.952**	277.301**	19.95^{ns}	201.001**	1119155.057**	1.406**	309.217**
سال ×بیوچار Y×B	1	7.947^{ns}	87.34^{ns}	0.911^{ns}	19.531^{ns}	29873.41^{ns}	0.003^{ns}	2.844^{ns}
آبیاری ×بیوچار A×B	2	27.219**	49.305^{ns}	27.084*	4.365^{ns}	67800.850*	0.185**	40.043**
سال×آبیاری ×بیوچار Y×A×B	2	21.838**	10.152^{ns}	6.02^{ns}	84.980*	4317.289^{ns}	0.004^{ns}	2.159^{ns}
الگوی کاشت Sowing pattern (C)	1	6.576^{ns}	420.017**	69.817**	59.951^{ns}	0.459^{ns}	0.005^{ns}	6.307^{ns}
سال ×الگوی کاشت Y×C	1	5.986^{ns}	203.011**	9.753^{ns}	0.023^{ns}	161.25^{ns}	0.005^{ns}	0.105^{ns}
آبیاری ×الگوی کاشت A×C	2	2.093^{ns}	25.493^{ns}	9.291^{ns}	24.232^{ns}	1456.457^{ns}	0.012^{ns}	1.05^{ns}
سال ×آبیاری ×الگوی کاشت Y×A×C	2	1.917^{ns}	110.778*	3.767^{ns}	14.704^{ns}	1566.129^{ns}	0.002^{ns}	0.516^{ns}
بیوچار ×الگوی کاشت B×C	1	1.013^{ns}	13.957^{ns}	3.69^{ns}	15.961^{ns}	347.733^{ns}	0.005^{ns}	39.176**
سال ×بیوچار ×الگوی کاشت Y×D×C	1	0.876^{ns}	14.49^{ns}	0.05^{ns}	21.233^{ns}	0.941^{ns}	0.002^{ns}	0.043^{ns}
آبیاری ×بیوچار ×الگوی کاشت A×D×C	2	2.824^{ns}	7.371^{ns}	4.267^{ns}	7.085^{ns}	36763.88^{ns}	0.061*	11.373**
سال ×آبیاری ×بیوچار ×الگوی کاشت Y×A×B×C	2	3.066^{ns}	16.183^{ns}	0.554^{ns}	9.521^{ns}	34881.14^{ns}	0.005^{ns}	0.125^{ns}
خطای فرعی Error	36	2.588	25.228	7.867ns	20.164	15311.24	0.014	1.614
ضریب تغییرات (%) C.V.		5.68	9.35	9.06	7.31	7.94	6.88	8.93

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱٪.

ns, * and **: no significant, significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های تعداد شاخه گل‌دار آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری

Table 3- Comparison of the averages of the number of flowering thyme branches under the influence of irrigation levels

سطوح آبیاری	Irrigation regimes	Number of flowering plant	تعداد شاخه گل‌دار
آبیاری تمام جویچه‌ها	Irrigate all furrows	23.05 a	
یک‌درمیان ثابت	Irrigation of constant furrows	20.47 b	
یک‌درمیان متغیر	Irrigation of inconstant furrows	19.25 b	

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های تعداد شاخه گل‌دار آویشن تحت تأثیر تیمار بیوچار

Table 4- Comparison of the averages of the number of thyme flowering branches affected by biochar treatment

بیوچار	Biochar	تعداد شاخه جانبی Number lateral branches	تعداد شاخه گل‌دار Number of floweing plants
عدم کاربرد	Not application	31.8 b	21.9 a
کاربرد بیوچار	Application	35.7 a	19.9 b

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات در آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمار بیوچار

Table 5- Comparison of mean traits in thyme under the influence of irrigation levels and biochar treatment

سطوح آبیاری Irrigation regimes	تیمار بیوچار biochar	عملکرد سرشاخه گل‌دار Yield of flowering branches ($kg.ha^{-1}$)	تعداد شاخه گل‌دار Number of flowering branches
آبیاری تمام جویچه‌ها	عدم کاربرد not application	1520b	21.34 b
Irrigate all furrows	کاربرد application	1701a	24.77 a
یک‌درمیان ثابت	عدم کاربرد not application	1098c	20.81 b
Irrigation of constant furrows	کاربرد application	1470b	20.13 b
یک‌درمیان متغیر	عدم کاربرد not application	979.6 d	19.05 b
Irrigation of inconstant furrows	کاربرد application	1175c	19.46 b

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های صفات در آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری و آرایش کاشت

Table 6- Comparison of mean traits in thyme under the influence of irrigation levels and planting arrangement

سال year	سطوح آبیاری Irrigation regimes	آرایش کاشت Planting pattern	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches
1	آبیاری تمام جویچه‌ها Irrigate all furrows	یک ردیف one row	39.28 bc
		دو ردیف two row	40.58 b
	یک‌درمیان ثابت Irrigation of constant furrows	یک ردیف one row	32.35 cd
		دو ردیف two row	29.13 d
	یک‌درمیان متغیر Irrigation of inconstant furrows	یک ردیف one row	31.43 cd
		دو ردیف two row	28.93 d
2	آبیاری تمام جویچه‌ها Irrigate all furrows	یک ردیف one row	49.15 a
		دو ردیف two row	33.88 bcd
	یک‌درمیان ثابت Irrigation of constant furrows	یک ردیف one row	32.68 cd
		دو ردیف two row	26.63 d
	یک‌درمیان متغیر Irrigation of inconstant furrows	یک ردیف one row	32.58 cd
		دو ردیف two row	29.33 d

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های صفات در آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری، تیمار بیوچار و آرایش کاشت

Table 7- Comparison of mean traits in thyme under the influence of irrigation levels, biochar treatment and planting arrangement

سطوح آبیاری Irrigation regimes	تیمار بیوچار Biochar treatment	آرایش کاشت Planting pattern	درصد اسانس Essential oil %	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg/ha)
آبیاری تمام جویچه ها Irrigate all furrows	عدم کاربرد not application	یک ردیف one row	0.8433 e	13.30 f
		دو ردیف two row	0.8283 e	13.55 f
	کاربرد application	یک ردیف one row	0.9100 e	15.97 e
		دو ردیف two row	0.9633 e	16.25 e
یک‌درمیان ثابت Irrigation of constant furrows	عدم کاربرد not application	یک ردیف one row	1.468 c	21.04 b
		دو ردیف two row	1.492 c	19.36 cd
	کاربرد application	یک ردیف one row	1.845 a	20.92 b
		دو ردیف two row	1.687 b	24.73 a
یک‌درمیان متغیر Irrigation of inconstant furrows	عدم کاربرد not application	یک ردیف one row	1.262 d	12.89 fg
		دو ردیف two row	1.153 d	11.67 g
	کاربرد application	یک ردیف one row	1.605 bc	18.35 d
		دو ردیف two row	1.713 ab	20.47 bc

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های صفات در آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمار بیوچار در دو سال

Table 8- Comparison of mean traits in thyme under the influence of irrigation levels and biochar treatment in two years

سال	سطوح آبیاری irrigation regimes	تیمار بیوچار Biochar treatment	ارتفاع Plant height (cm)	قطر تاج پوشش Head diameter (cm)
1	آبیاری تمام جویچه‌ها Irrigate all furrows	عدم کاربرد not application	35.23 c	48.45 bc
		کاربرد application	38.67 b	47.77 bcd
	یک‌درمیان ثابت Irrigation of constant furrows	عدم کاربرد not application	23.25 fg	42.60 cd
		کاربرد application	26.68 e	48.22 bc
	یک‌درمیان متغیر Irrigation of inconstant furrows	عدم کاربرد not application	21.57 g	41.78 d
		کاربرد application	24.52 f	43.75 bcd
2	آبیاری تمام جویچه‌ها Irrigate all furrows	عدم کاربرد not application	32.11 d	48.78 b
		کاربرد application	41.01 a	58.05 a
	یک‌درمیان ثابت Irrigation of constant furrows	عدم کاربرد not application	22.47 fg	44.20 bcd
		کاربرد application	26.49 e	44.77 bcd
	یک‌درمیان متغیر Irrigation of inconstant furrows	عدم کاربرد not application	23.56 fg	43.25 bcd
		کاربرد application	24.45 f	46.57 bcd

حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری بین تیمارها در سطح پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

References منابع مورد استفاده

- Abdipour, M., M. Hosseinifarahi, and S. Najafian. 2019. Effects of humic acid and cow manure biochar (cmb) in culture medium on growth and mineral concentrations of basil plant. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 6: 27-38. doi:10.22059/ijhst.2019.279022.287.
- Bebeley, H.A., P. Tongor Mabey, and P. Emmanuel Norman. 2021. Effects of Biochar, plant density and spacing on growth and yield of rice in a tropical inland valley swamp. *International Journal of Applied Agricultural Sciences*. 7(2): 77-83. doi: 10.11648/j.ijaas.20210702.11.
- Biederman, L.A., and W.S. Harpole. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling, a meta-analysis. *GCB Bioenergy*. 5:202-214. doi:10.1111/gcbb.12037.
- Deepak, G., B. Bansal, S. Aditi Thakur, S. Singh, M. Bakshi, and S. Bansal. 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. *Journal of Pharmacog-nosy and Phytochemistry*. 8(4): 1251-1253.
- Dong, D., C. Wang, L. van-Zwieten, H. Wang, P. Jiang, M. Zhou, and W. Wu. 2020. An effective biochar-based slow-release fertilizer for reducing nitrogen loss in paddy fields. *Journal of Soils Sediments*. 20: 3027-3040. doi:10.1007/s11368-019-02401-8.
- Domagalska M.A., and O. Leyser. 2011. Signal integration in the control of shoot branching. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 12(4): 211-21. doi:10.1038/nrm3088.
- Farrell, M., T.K. Kuhn, L.M. Macdonald, T.M. Maddern, D.V. Murphy, P.A. Hall, B.P. Singh, K. Baumann, E.S. Krull, and J.A. Baldock. 2013. Microbial utilization of biochar-derived carbon. *Science of the Total Environment*. 465: 288-297. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.03.090.
- Fathi, A., and D. Barari Tari. 2016. Effect of drought stress and its mechanism in plants. *International Journal of Life Sciences*. 10(1): 1 - 6. doi:10.3126/ijls .v10i1. 14509.
- Hazzoumi, Z., Y. Moustakime, E. Elharchli, and K. Amrani Joutei. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and water stress on growth, phenolic compounds, glandular hairs, and yield of essential oil in basil (*Ocimum gratissimum* L). *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2(10): 1-11. doi:10.1186/s40538-015-0035-3.
- Jogawat, A., B. Yadav, C.N. Lakra, A. Kumar Singh, and O. Prakash Narayan. 2020. Crosstalk between phytohormones and secondary metabolites in the drought stress tolerance of crop plants: A review. *Physiologia Plantarum*. 2021: 1–27. doi:10.1111/ppl.13328.
- Jameson, P.E. 2017. Cytokinins. *Encyclopedia of Applied Plant Sciences*. 1: 391-402. doi: 10.1016/B978-0-12-394807-6.00102-7.
- Kameyama, K., T. Miyamoto, and T. Shiono. 2014. Influent of biochar incorporation 487 on TDR-based soil water content measurements. *European Journal of Soil Science*. 65(1): 105-112. doi:10.1111/ejss.12083.
- Lori, A., B. Iederman, and W. Stanley Harpole. 2013. Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB Bioenergy.* 5: 202-214. doi:10.1111/gcbb.12037.

- Lotfi, A., A. Farnia, A. Maleki, R. Naseri, M. Moradi, M. Ghasemi and V. Yari. 2013. The effects of planting date and plant spacing on yield and yield components of fennel (*Foeniculum vulgare* L.). The 13th Conference of Agricultural Science and Plant Breeding of Iran and the 3rd Conference of Iran Seed Science and Technolog. 2 (7): 78-84.
- Masjedi, A., A. Shokoohfar and M. Alavai-Fazel. 2008. Determination of the best irrigation interval for maize (SC704) and evaluation of drought stress on yields using clay pan evapotranspiration class A. *Journal of Water and Soil Science*. 12 (46): 543-551. (In Persian).
- Spies, J.M. 2009. The effect of field pea (*Pisum sativum* L.) basal branching on optimal plant density and crop competitiveness. Thesis. University of Saskatche - wan. USA.
- Malinska, K. 2015. Legal and quality aspects of requirements defined for biochar. *In˙Zynieria i Ochrona´ Srodowiska*. 18 (3): 359-371. (In Polish).
- Moaveni, P., H.A. Farahani, and K. Maroufi. 2011. Effects of sowing date and planting density on quantity and quality features in thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Advances in Environmental Biology*. 5: 1706-1710 .
- Noguera, D., S. Barot, and K.R. Laossi. 2012. Biochar but not earthworms enhances rice growth through increased protein turnover. *Soil Biology and Biochemistry.* 52: 13-20. doi: 10.1016/j.soilbio.2012.04.004.
- Punetha, A., A. Chauhana, D. Kumara, R.K. Upadhyay, and R.C. Padalia. 2022. Productivity and essential oil quality of Himalayan Thyme (*Thymus linearis* Benth.) in relation to plant densities and drying methods. *Journal of Essential Oil Research.* 34 (3): 262-269. doi: 10.1080/10412 905.2022.2036645.
- Rogovska, N., D.A. Laird, S.J. Rathke, and D.L. Karlen. 2014. Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*. 230-231: 34-347. doi: 10.1016/j.geoderma.2014.04.009.
- Sharifi, P., M. Seyedsalehi, O. Paladino, and G.Z. Kyzas. 2017. Investigation of morphological and phytochemical changes and tolerance threshold of chamomile under drought stress conditions. *International Journal of Pure and Applied Zoology.* 5: 85-91.
- Toork, Z., M. Mirza, and B. Abbaszadeh. 2015. The effect of drought stress on traits of *Salvia Sclarea*. 4 th National Congress on Medicinal Plants. 12 may. Tehran, Iran. (In Persian).
- Vanek, S.J., and J. Lehmann. 2015. Phosphorus availability to beans via interactions between mycorrhizas and biochar. *Plant and Soil.* 395: 105-123. doi:10.1007/s11 104-014-2246-y.
- Yadav, A.N., and N. Yadav. 2018. Stress-adaptive microbes for plant growth promotion and alleviation of drought stress in plants. *Acta Scientific Agriculture.* 2: 56-67.
- Yaghoubian, I., Y. Raei, and K. Ghassemi-Golezani. 2016. Influence of hydro-priming duration on morpho-physiological traits of milk thistle under water stress. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*. 9: 177-184.

Research Article DOI: 10.30495/JCEP.2023.1926358.1792

Fesibility Study on Increasing Water Use Efficiecy in (*Thymus vulgaris* L.) in Different Planting Pattern and Partial with Using Biochar

Kiomars Fakhri[1], Saeed Sayfzadeh[2*], Mansour Sarajooghi [3*], Seyed Alireza Valad Abadi[4] and Ismail Hadidi Masouleh [5]

Received: May 2021 , Revised: 10 February 2022, Accepted: 14 April 2022

Abstract

The purpose of this field was to study the effect of biochar application and different planting patterns in different irrigation regimes on the growth and yield of thyme essential oil. The studied treatments include irrigation (irrigation of all furrows, irrigation of furrows as one in constant and one in variable (biochar (non-application of biochar and application of biochar at 8 tons per hectare) and planting pattern (single row cultivation) Thyme and cultivation of two rows of thyme) on the growth and yield of the thyme plant. This experiment was carried out in two cropping years of 1397 and 1398 in the form of split plots based on a randomized complete block design with three replications. The results showed that the highest yield of flowering branches was obtained in the treatment of irrigation of all furrows + application of biochar with mean of 1701 kg. ha^{-1}. In this study, the highest yield of essential oil with 24.7 kg. ha^{-1} was obtained in the treatment of furrow irrigation as a constant interval + application of biochar + cultivation of two rows of thyme. Based on the results of this study, the application of biochar and two-row cultivation caused a significant increase in the yield of thyme essential oil. In general, despite the decrease in growth and yield of thyme dry matter, furrow irrigation treatments as one-to-one variables increased essential oil yield by significantly increasing the percentage of essential oil and reducing water consumption. Biochar treatment also had a positive effect on all vegetative and functional traits of thyme.

Key words: Deficit irrigation, Plant density, Yield of flowering branches, Yield of essential oil.

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Agronomy, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran.
**Corresponding Authors: s.seyfzadeh@tiau.ac.ir and msarajuoghi@gmail.com*