نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۵۹-۱۴۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 145-159

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر بسترهای کاشت بر خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کاهو در شرایط کم‌آبیاری و کنترل‌شده

مرتضی گلدانی[۱] و سید فاضل فاضلی کاخکی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۱۴

چکیده

با توجه به تأثیر بستر کاشت بر فراهم آوردن شرایط رشد بهتر ریشه و اندام هوایی، استفاده از راهکار کم‌آبیاری که ضمن حفظ کمیت و کیفیت قابل‌قبول تولید به استفاده بهینه از منابع آب کمک می‌کند. لذا به‌منظور بررسی تأثیر بستر کاشت و کم‌آبیاری بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه کاهو، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۴۰۳ انجام شد. فاکتور اول بستر کاشت در سه سطح (شاهد، خاک‌برگ و پیت ماس) و فاکتور دوم سه تیمار کم‌آبیاری (آبیاری در 75%FC، آبیاری در 55%FC و آبیاری در 35%FC) بود. نتایج نشان داد بیشترین مقدار عملکردتر در تیمار پیت ماس و 75%FC و با مقدار ۲۸۱ گرم در هر گیاه حاصل شد. در بستر کاشت پیت ماس کاهش مقدار آب در دسترس به 55%FC و 35%FC مقدار عملکرد و ارتفاع گیاه نسبت به دو نوع بستر کاشت شاهد و خاک‌برگ اعداد بیشتری داشت. کمترین مقدار عملکرد (۱۲۵ گرم در هر گیاه) از تیمار بستر کاشت شاهد و تیمار کم‌آبیاری 35%FC به‌دست آمد. در بستر کاشت پیت ماس در سطح تنش 35%FC مقدار فتوسنتز بیشتر از ۱۱/۵ $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ بود، درصورتی‌که در دو بستر کاشت دیگر مقدار فتوسنتز کمتر از ۱۰ $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ بود. بیشترین مقدار هدایت روزنه‌ای به ترتیب در بستر کاشت پیت ماس و سطح کم‌آبیاری 75%FC و کمترین مقدار آن در بستر کاشت شاهد و سطح آبیاری 35%FC حاصل شد. بیشترین رطوبت نسبی برگ از تیمار پیت ماس و تیمار کم‌آبیاری 75%FC و با مقدار ۸۷/۷ درصد حاصل شد. با توجه به نتایج این آزمایش استفاده از بستر کاشت آلی پیت ماس در تیمارهای کم‌آبیاری متوسط می‌تواند عملکرد قابل‌قبول را داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: عملکرد، فتوسنتز، آب نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

تغییر اقلیم ناشی از فعالیت‌های صنعتی انسان، سبب تغییر شرایط آب و هوایی مناطق مختلف جهان شده است. به‌طوری‌که اقلیم‌ها براثر افزایش میانگین دما در دهه‌های اخیر به سمت مشک‌تر شدن حرکت کرده است (Chai et al., 2016). این رویکرد زمانی که با افزایش جمعیت همراه می‌شود سبب فشار مضاعف بر منابع طبیعی به‌خصوص آب آبیاری جهت تأمین مواد غذایی جمعیت رو به رشد شده است. تخمین زده می‌شود که یک‌پنجاهم جمعیت جهان با کمبود آب و یا باکیفیت نامطلوب آب مواجه‌اند (Schiermeier, 2014). بیش از دوسوم از کل آب‌های روی زمین توسط بخش کشاورزی مصرف می‌شود و در مناطق خشک و نیمه‌خشک این موضوع بسیار حیاتی است (Gan et al., 2013). بنابراین به‌منظور تعدیل این چالش در کشاورزی، لازم است تا ضمن حفظ عملکرد محصولات در مقدار بهینه، راه‌های کم‌مصرف کردن آب در کشاورزی موردبررسی قرار گیرد. بر همین اساس، رویکرد کم‌آبیاری را می‌توان در دودسته ذیل تعریف کرد. الف) اعمال کم‌آبیاری و یا سطح تنش اعمال‌شده در طول فصل رشد محصول، ب) اعمال کم‌آبیاری (حجم آب) در طی مراحل فنولوژیکی خاص که به کم‌آبیاری هدفمند تعریف می‌شود (Morbidini et al., 2024). بااین‌حال، بر اساس حجم آب وارده به مزرعه در اثر اعمال روش کم‌آبیاری ممکن است سطح نفوذ آب در ناحیه ریشه گیاه در سه الگو قرار گیرد. الف) در اثر کم‌آبیاری آب فقط

۱- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
۲- دانشیار گروه آموزشی خاک، آب و منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: sf_fazeli@yahoo.com)

ناحیه سطحی خاک را خیس کند، ب) نفوذ آب علاوه بر ناحیه سطحی بخش فوقانی ریشه را مرطوب کند و ج) اعمال کم‌آبیاری زیرزمینی بخش‌های عمقی را مرطوب و ریشه‌های سطحی و خاک فوقانی را مرطوب نمی‌کند (Quda et al., 2020). بررسی‌ها نشان می‌دهد که مدیریت کم‌آبیاری محصول سبب بهبود کارایی مصرف آب (WUE) و عناصر غذایی در گیاه می‌شود. نتایج مطالعه علی‌پور و همکاران نشان داد که کم‌آبیاری سبب افزایش کارایی مصرف آب (WUE) در لوبیا شده است (Alipour et al., 2022). در مطالعه دیگری ونگ و همکاران (Wang et al., 2022) در طی دو سال آزمایش نشان دادند اعمال تیمار کم‌آبیاری متوسط بر روی گیاه (*Radix isatidis*) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد و کارایی مصرف آب‌شده است. نتایج دو سال مطالعه شو و همکاران (Xu et al., 2023) در گیاه گوجه‌فرنگی در خصوص کم‌آبیاری مدیریت شده در سه مرحله فنولوژیکی (گیاهچه-ای، گلدهی و رسیدگی میوه) نشان داد که اعمال کم‌آبیاری در مرحله گیاهچه‌ای تأثیری بر عملکرد نهایی محصول نداشته و بیشترین عملکرد از این تیمار زمانی که مقدار آب آبیاری در مرحله گلدهی و رسیدگی میوه حدود ۱۴ درصد کاهش یافت، حاصل شد. مقدار زیست‌توده بالای سطح خاک نسبت به تمام تیمارها افزایش معنی-داری داشت. در همین مطالعه زمانی که کم‌آبیاری مدیریت شده تنها در مرحله گلدهی اعمال شد سبب افزایش انتقال مواد ذخیره شده از ساقه به سمت میوه در مقایسه با سایر تیمارهای کم‌آبیاری شد و عملکرد نیز به‌تناسب در این تیمار نسبت به تیمارهای دیگر افزایش داشت (Xu et al., 2023). در تحقیقی نتایج بررسی‌های صفات فیزیولوژیکی در مواجه با کم‌آبیاری نشان داد که در زمان اعمال تیمار کم‌آبیاری مقدار مواد فتوسنتزی تولید شده، مقدار کلروفیل کل و مقدار فتوسنتز کاهش می‌یابد (Feng, 2008). همچنین تنش خشکی وارد شده ناشی از کم‌آبیاری سبب کاهش ارتفاع گیاه، توسعه سطح برگ، تولید زیست‌توده، نمو ریشه و ساقه و درمجموع عملکرد شد(Zhou et al., 2016).

بستر کاشت از طریق بهبود تهویه، افزایش منافذ ریز و درشت خاک سبب افزایش مدت زمان نگهداری آب می‌شود. از جنبه بیوشیمیایی، بستر کاشت حاوی مواد آلی است که در مهیا کردن عناصر غذای برای گیاه و نیز فعال کردن جمعیت میکروبی خاک می-تواند رشد و نمو ریشه و متعاقب آن رشد و نمو اندام‌های هوایی را تسریع کند (Martyniuk et al. 2016). نتایج مطالعه قدیمی و همکاران (۱۳۹۴) در کاهو نشان داد زمانی که ورمی‌کمپوست در نسبت‌های مختلف ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد با خاک زراعی مخلوط می‌شوند سبب تأثیر معنی‌دار و مثبت در صفات مورفولوژیکی و بیوشیمیایی کاهو نسبت به شاهد شد. در تحقیقی دیگر چانیستی و همکاران (Chanseetis et al., 2001) در تأثیر بستر کاشت در تولید کاهو به این نتیجه رسیدند که وجود سبوس برنج در بستر کاشت در بهار و پاییز بهترین بازده و عملکرد را در مقایسه بازمانی که الیاف نارگیل در بستر کاشت استفاده شد به دنبال داشت. نتایج نشان داد زمانی که مواد آلی مانند ورمی‌کمپوست، به بستر کاشت اضافه می‌شود این مواد حاوی فیتوهرمون‌های رشد (اکسین‌ها، سیتوکنین‌ها و ...)، آنزیم‌های مختلف در جهت تجزیه و آزادسازی عناصر غذایی و جمعیت غنی و فعال میکروبی می‌باشد. ضمن اینکه بهبود ساختمان خاک و کاهش آبشویی عناصر غذایی سبب بهبود ریشه و اندام هوایی را به دنبال داشته است (Zengin, 2017). مجاهید و گوپتا (Mujahid and Gupta, 2010) گزارش کردند در مقایسه با اضافه کردن ۱۰ و ۲۰ تن در هکتار کود دامی و ۳ و ۶ تن در هکتار ورمی-کمپوست به خاک بیشترین ارتفاع گیاه، سطح برگ، تعداد و وزن برگ در گیاه و وزن دمبرگ و رگبرگ میانی برگ از اضافه کردن شش تن ورمی‌کمپوست در هکتار در دو زمان کاشت پاییزه و بهاره در کاهو به دست آمد. نتایج مطالعه نشان داد که مطلوب‌ترین بهره‌وری و کیفیت توت‌فرنگی در بسترهای کاشت یک به یک و یک به سه پرلیت و زئولیت حاصل شد (Fotouhi Ghazvini et al., 2007). نتایج مطالعه طاهری اجدادی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که در مقایسه تیمارهای بستر کاشت که شامل چهار سطح ورمی‌کمپوست (۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد) و شاهد (پرلیت و کوکوپیت) بر صفات رشدی کاهوی رسمی (کاهوی رومن) و کاهوی سالادی (کاهوی ایسبرگ) انجام شد نتایج نشان داد که در کاهوی رسمی بیشترین وزن خشک بوته از تأثیر ۲۰ درصد ورمی‌کمپوست به دست آمد و بیشترین مقدار این صفت در کاهوی رسمی از کاربرد ۳۰ درصد ورمی‌کمپوست در بستر کاشت حاصل شد. به‌منظور افزایش بهره‌وری از منابع تولید تلفیق کم‌آبیاری و نوع بستر کاشت می‌تواند ضمن حفظ کمیت و کیفیت تولید در پایداری منابع تولید نقش داشته باشد. بااین‌حال، تأثیر کم-آبیاری وابسته به مقدار آب و نیز زمان اعمال دارد که سبب ایجاد نوسانات در صفات موفولوژیکی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی گیاه می-شود. زمانی که گیاه تحت تیمار کم آبیاری قرار می‌گیرد به‌تناسب دما و شدت تنش وارد شده، روزنه‌ها بسته شده و اولین محدودیت ورود دی‌اکسیدکربن به اتاقک زیر روزنه اتفاق می‌افتد که این رویداد تأثیر خود را در کاهش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II و کاهش مقدار فتوسنتز نشان می‌دهد (Sanchez-Ortiz et al., 2024). حساسیت مرحله رشدی گیاه به کم‌آبیاری می‌تواند تحت تأثیر عامل‌های مختلفی از قبیل: نوع گونه و رقم گیاهی، شرایط آب و هوایی و مدیریت زراعی محصول قرار گیرد (Chai et al., 2016). برای مثال گندم در منطقه مدیترانه‌ای، بیشترین حساسیت به کم آبی در ابتدا در مرحله طویل شدن ساقه بعد در مرحله خوشه‌دهی، گلدهی و درنهایت در مرحله پر شدن دانه است. درصورتی‌که در دشت شمال چین حساسیت به کم‌آبی در گندم در مرحله بعد از پنجه دهی بیشتر از اوایل مرحله رشد آن بوده است (Kang et al., 2002).

کاهو گیاهی یک‌ساله با طول فصل رشد بین دو تا سه ماه، که می‌تواند در طول سال در شرایط کنترل‌شده و یا مزرعه رشد نماید (Kim et al., 2016). در بین سبزی‌ها برگی، کاهو بیشترین مصرف را در جهان دارد. بر اساس آمارهای فائو، تیپ‌های مختلف کاهو طی دو دهه اخیر در دنیا ۱۱۸ درصد رشد داشته است. در ایران نیز طی یک دوره شش‌ساله از سال ۸۸ تا ۱۳۹۴ بیش از ۳۰۰ درصد رشد سطح زیر کشت کاهو به ۲۰ هزار هکتار رسیده است (آقا بیگی و همکاران، ۱۳۹۶). این گیاه دارای بسیاری از مواد معدنی، ویتامین‌ها و مواد زیستی فعال مانند کاروتنوئیدها و ترکیبات فنلی دارد و میزان مصرف آن به همین دلیل تقاضای مردم برای داشتن یک تغذیه سالم و با کیفیت بهتر زندگی افزایش یافته است (Kim et al., 2016). میزان تولید آن در شرایط گلخانه بر اساس تحقیقات انجام شده در چهار دوره کشت، حدود ۱۶۷ تن و در فضای باز با دو مرتبه کشت مقدار تولید آن ۴۱ تن برآورد شده است (خوشکام و ساعی، ۱۳۹۰). بررسی‌ها نشان داد در شرایط گلخانه و سیستم آبیاری قطره‌ای دور آبیاری از یک روز به دو روز تأثیر معنی‌داری در صفات عملکرد کاهو ایجاد نکرد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۹۲)، همچنین کاهش مقدار آب دسترس به ۸۰ درصد ظرفیت زراعی سبب افزایش کارایی مصرف آب به میزان هفت کیلوگرم در مترمکعب نسبت به شاهد شد. ازآنجاکه کمبود آب می‌تواند بر رشد نمو آن تأثیر منفی بگذارد. این اثرات منفی در جنبه‌های مورفولوژیکی، تولیدی (کاهش عملکرد و زیست‌توده)، فیزیولوژیکی (بسته شدن روزنه برای کاهش اتلاف آب از طریق تعرق، در دسترس بودن CO_2)، بیوشیمیایی و مولکولی گیاه تأثیرگذار است (Seleiman et al., 2021). با توجه به افزایش تقاضای بازار و محدودیت منابع آبی کشت گلخانه‌ای افزایش‌یافته است. برای کاهش مصرف آب و افزاش بهره‌وری مصرف آب، لازم است از ساز کاره‌ای مدیریت زراعی مناسب استفاده شود. لذا این مطالعه باهدف تأثیر کم-آبیاری و نوع بستر کاشت بر روی خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوزیکی کاهو در شرایط گلخانه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر بستر کشت و مقدار آب آبیاری بر شاخص-های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی کاهو آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی مشهد در سال زراعی ۱۴۰۲- ۱۴۰۳ انجام شد. فاکتور اول بستر کاشت در سه سطح (شاهد (مخلوط خاک باغچه و ماسه به نسبت مساوی)، خاک برگ و پیت ماس) که در همه این سه تیمار نسبت خاک به عامل دوم دو به یک بود و فاکتور دوم تیمار کم‌آبیاری در سه سطح ۳۵، ۵۵ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (بر اساس معیار تخلیه رطوبتی بستر کاشت و متناسب با نیاز آبی گیاه) بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت مورداستفاده که توسط آزمایشگاه آنالیز شده در جدول ۱ آمده است. کود مورد نیاز به بسترهای کاشت بر اساس عرف کشاورزی اضافه شد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). از گلدان‌های سایر ۱۲ (قطر دهانه ۲۷ و ارتفاع ان ۳۰ سانتی‌متر) استفاده شد و هر گلدان با بسترهای آزمایشی که از بخش باغبانی و نیز گلخانه تحقیقاتی دانشکده تهیه شده بود، پر شد و در هر کدام چهار عدد بذر کاهو رقم پاریس ایسلند (Parris Island) کاشته شد. بذرها در انتهای بهمن ماه ۱۴۰۲ کشت شد. و زمانی که گیاهچه‌ها به ارتفاع ۵ سانتی‌متر که حاوی ۴ تا ۵ برگ بودند. در هر گلدان سه عدد گیاهچه کاشته و پس از گذشت دو هفته و در استقرار کامل تیمار تنش کم‌آبیاری اعمال شد. برای دستیابی به میزان آب مورد نیاز برای تأمین ظرفیت گلدانی بستر مورد نظر، ابتدا درصد رطوبت بستر کاشت برای وضعیت زراعی با معادله (۱) محاسبه شد (ذکاوتی و همکاران، ۱۳۹۸).

$$\theta\ (\%) = (\ (W1 - W2)/W2) \times 100 \qquad (۱)$$

که در این فرمول θ درصد رطوبت وزنی خاک، W1: وزن خاک مرطوب پس از خروج آب ثقلی و W2 وزن خاک خشک شده در ۱۰۵درجه سلسیوس آون به مدت دو روز است. با توجه به توزین گلدان‌ها مقدار رطوبت خاک به دست می‌آمد. برای حذف اثر وزن رشد گیاه، تکرارهای اضافی از هر تیمار در نظر گرفته شد تا در فواصل معین تخریب شوند و وزن گیاه تخریب شده محاسبه شده و در میزان آب افزودنی اعمال شود (معصومی و همکاران، ۱۳۹۱). در این روش نیاز به تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ضریب گیاهی و نیز داده‌های هواشناسی نیست (علیزاده، ۱۴۰۱). لذا از درج موارد مذکور خودداری شده است. برای تعیین مقدار آب آبیاری بر اساس میزان کمبود رطوبت در تیمار شاهد (بدون تنش) ضرب‌در ضریب مورد نظر معادله (۲) محاسبه شد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times B_d \times D \times f \qquad (۲)$$

در این معادله SMD: کمبود رطوبت خاک (بر حسب میلی‌متر)، θfc: رطوبت وزنی بستر کاشت در ظرفیت زراعی، θi: رطوبت وزنی بستر کاشت قبل از آبیاری، Bd: وزن مخصوص ظاهری (گرم در سانتی‌متر مکعب)، D: عمق ریشه (میلی‌متر) و مقدار ضریب f در هر سطح آبیاری به ترتیب در ۳۵٪ نیاز آبی گیاه مقدار ضریب f=0.35، در ۵۰٪ نیاز آبی گیاه مقدار ضریب f=0.5 و سطح آبیاری ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه مقدار ضریب f=0.75 اعمال شد (Aslam Ltif, 2012). پس از رسیدن به انتهای فصل رشد گیاه (۵۰ روز بعد از کاشت) شاخص‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شدند.

در انتهای آزمایش برخی شاخص‌های مورفولوژیکی شامل: ارتفاع گیاه، وزن خشک برگ، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱.- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بسترهای کشت

نوع بستر کاشت	هدایت الکتریکی ($dS.m^{-1}$)	pH	ماده آلی (٪)	رطوبت (٪)	ظرفیت نگهداری آب (٪)	چگالی (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
خاک	2.66	7.11	0.89	18.1	18.5	1.83
خاک‌برگ	1.55	6.65	1.84	35.4	31.5	1.43
پیت ماس	1.18	5.61	1.99	65.4	43.5	1.25

برای این منظور در هر واحد آزمایشی تعداد سه گیاه را از طوقه برش داده و سپس برای هر صفات سه اندازه‌گیری انجام داده و میانگین این سه صفت به‌عنوان نماینده ثبت شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج (Leaf area meter LI-3100) انجام شد. از شاخصه‌های فیزیولوژیکی: هدایت روزنه‌ای (با استفاده از دستگاه پرومتر، مقدار فتوسنتز با استفاده از دستگاه (LI 6400 XT, LI-COR Biosciences Company, Lincoln, NE, USA) بر روی برگ‌های جوان توسعه یافته در ساعت ۹ تا ۱۱ صبح انجام شد. برای محاسبه مقدار آب نسبی برگ (RWC[1]) از معادله (۳) استفاده شد (Wang et al., 2023). در این روش قطعات یک سانتی‌متر مربع از برگ جدا و وزن شد (WF): وزن تازه برگ، سپس در ظرف محتوای آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق جهت اشباع شدن قرار داده شد و سپس وزن شد (WT): وزن در حالت اشباع. قطعه اشباع شده را در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد و سپس بر حسب گرم توزین شد (WD).

$$RWC = (((WF - WD) / (WT - WD)) \times 100) \quad (۳)$$

داده‌های حاصل از آزمایش بر اساس نرم‌افزار MINITAB Ver16 و MSTAT C آنالیز واریاس و میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی

ارتفاع گیاه:

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تیمار کم‌آبیاری و برهمکنش بستر کاشت و کم‌آبیاری بر ارتفاع گیاه معنی‌دار شد اما بستر کاشت اثر معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت (جدول ۲). بیشترین ارتفاع گیاه (۳۰ سانتی‌متر) از تیمار آبیاری 75%FC به دست آمد که نسبت به دو تیمار 55%FC و 35%FC حدود ۱۸ و ۳۴ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). نتایج برهمکنش تیمارها نشان داد که در هر سه بستر کاشت تیمار 75%FC بیشترین ارتفاع گیاه را داشت. زمانی که تیمار 50%FC اعمال شد واکنش بستر کاشت پیت ماس نسبت به دو بستر دیگر بهتر بود. با کاهش مقدار آب در دسترس ارتفاع گیاه در تیمار بستر کاشت خاک برگ نسبت به دو بستر کاشت (شاهد و پیت ماس) مقدار بیشتری را نشان داد (جدول ۵). نتایج مطالعه طاهری و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که در تیمارهای کم‌آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی ارتفاع کاهو به ترتیب ۲۱/۶، ۱۹/۹ و ۱۸/۶ سانتی‌متر بود. مواد آلی مانند خاک‌برگ و پیت ماس دارای ساختار ظریف، قابلیت هوادهی بالا، تخلخل مناسب، فعالیت میکروبی زیاد، قابلیت زهکشی و نگهداری آب بالا هستند. این مواد در صورت مهیا بودن شرایط فرآوری می‌توانند ضمن کمک به ساختمان خاک، در تأمین محتوای تغذیه‌ای خاک و فعال نمودن جمعیت میکروبی خاک نقش داشته و شرایط را برای بهبود سلامت گیاه فراهم آورند (Pathma and Natarajan, 2012). علت افزایش ارتفاع در زمانی که مقدار آب در دسترس کاهش می‌یابد می‌توان به قابلیت نگهداری آب بالا به‌علاوه دیگر خصوصیات فیزیکو شیمیایی بستر کاشت نسبت داد (جدول ۱).

تعداد و سطح برگ

بستر کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش بستر کاشت در کم‌آبیاری بر تعداد و سطح برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). تعداد برگ در تیمارهای بستر کاشت شاهد، خاک برگ و پیت ماس به ترتیب ۱۳/۶، ۱۷/۴ و ۱۸/۸ برگ داشتند. همین روند در سطح برگ در گیاه نیز مشاهده شد به‌طوری‌که در بستر کاشت پیت ماس سطح برگ ۴۲۵۵ سانتی‌متر مربع در گیاه بیشترین مقدار را داشت که نسبت به دو بستر شاهد و خاک برگ به ترتیب حدود ۱۰ و ۶ درصد بیشتر بود (جدول ۳). در هر سه بستر کاشت با کاهش مقدار آب در دسترس از تعداد برگ کاسته شد بیشترین اختلاف چشمگیر در تأثیر کم‌آبیاری بر تعداد برگ را می‌توان در بستر کاشت شاهد مشاهده کرد که در تیمار کم‌آبیاری 75%FC، 55%FC و 35%FC تعداد برگ به ترتیب ۲۱/۳، ۱۹/۰ و ۱۳/۰ بود. بااین‌حال کمترین تعداد برگ در بستر کاشت شاهد و اعمال تیمار کم‌آبیاری 35%FC مشاهده شد. در خصوص سطح برگ، هرچند بستر کاشت شاهد در تیمار آبیاری 75%FC بیشترین تعداد برگ را داشت بااین‌حال تیمار بستر کاشت پیت ماس در همین تیمار کم‌آبیاری با سطح معادل ۵۱۱۸ سانتی‌متر مربع بیشترین سطح برگ را داشت.

1 - Relative Water Content

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کاهو تحت تأثیر بستر کاشت و کم‌آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	تعداد برگ	سطح برگ	وزن خشک اندام هوایی	وزن خشک ریشه	فتوسنتز (Pn)	مقاومت روزنه‌ای (gs)	محتوای نسبی آب برگ (RWC)	غلظت CO_2 بین سلولی (Ci)	عملکرد گیاه
بستر کاشت	۲	۱/۳۹^{ns}	۴۸/۴**	۳۹۲۹۲۹*	۷۳/۵**	۰/۱۱۴*	۳۰/۷**	۳۲/۱^{ns}	۱۱۸**	۱۰۱۳۴**	۵۸۱۶**
کم‌آبیاری	۲	۲۴۷**	۲۰/۳*	۱۰۴۸۳۷۳۱**	۱۲۹**	۰/۳۸۱**	۱۰۴**	۶۸۰**	۸۰۶**	۱۳۷۶۹**	۱۷۱۸۶**
بستر کاشت × کم‌آبیاری	۴	۸/۷۸*	۱۹/۲*	۲۳۵۶۰۸*	۳۷/۲**	۰/۲۶۲**	۲/۵۱*	۹۰/۴*	۱۴/۱*	۱۶۴۵**	۱۸۸۰*
خطا	۱۸	۲/۸۲	۴/۱۸	۷۵۶۲۵	۸/۳۵	۰/۳۱۲	۰/۵۹۲	۱۶/۲	۳/۲۸	۱۹۹	۵۹۶
CV		۱۱/۳	۱۷/۴	۱۰/۲	۱۳/۱	۱۶/۴	۷/۸۱	۱۳/۶	۱۰/۹	۸/۹	۱۴/۷

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

جدول ۳- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد کاهو تحت تأثیر بستر کاشت

تیمار بستر کاشت	ارتفاع گیاه (cm per plant)	تعداد برگ (number per plant)	سطح برگ (cm^2 per plant)	وزن خشک اندام هوایی ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک ریشه ($g.plant^{-1}$)	فتوسنتز (Pn) ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (g_s) ($molH_2O.m^{-2}.s^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (%) (RWC)	غلظت CO_2 بین سلولی (Ci) ($\mu mol\ CO_2.mol^{-1}$)	عملکرد گیاه ($g.plant^{-1}$)
شاهد	۲۵/۳^{a}	۱۳/۶^{b}	۳۸۴۰^{b}	۵/۲۰^{b}	۰/۷۷۱^{b}	۱۱/۶^{c}	۰/۳۲۴^{a}	۷۰/۷^{c}	۲۴۰^{b}	۲۰۲^{b}
خاک برگ	۲۵/۲^{a}	۱۷/۴^{a}	۴۰۰۳^{ab}	۶/۴۱^{b}	۱/۰۴^{ab}	۱۲/۹^{b}	۰/۳۸۷^{a}	۷۵/۳^{b}	۲۹۶^{a}	۲۱۰^{b}
پیت ماس	۲۴/۵^{a}	۱۸/۸^{a}	۴۲۵۵^{a}	۱۰/۶^{a}	۱/۰۹^{a}	۱۵/۲^{a}	۰/۴۱۳^{a}	۷۷/۸^{a}	۳۰۰^{a}	۲۵۰^{a}

میانگین‌های که دارای یک حروف مشترک در هر صفت هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ٤- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد کاهو تحت تأثیر تیمار کم‌آبیاری

تیمار آبیاری	ارتفاع گیاه (cm per plant)	تعداد برگ (number per plant)	سطح برگ (cm^2 per plant)	وزن خشک اندام هوایی ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک ریشه ($g.plant^{-1}$)	فتوسنتز (Pn) ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$)	هدایت روزنه‌ای (g_s) ($mol.m^{-2}.s^{-1}$)	محتوای نسبی آب برگ (%) (RWC)	غلظت CO_2 بین سلولی (Ci) ($\mu mol.mol^{-1}$)	عملکرد گیاه ($g.plant^{-1}$)
٪۷۵FC	۳۰/۴^{a}	۱۷/۸^{a}	۴۹۹۲^{a}	۱۰/۹^{a}	۱/۲۳^{a}	۱۱/۶^{c}	۰/۳۲۴^{a}	۷۰/۷^{c}	۲۴۰^{b}	۲۵۴^{a}
٪۵۵FC	۲۴/۷^{b}	۱۶/۴^{ab}	۴۲۴۱b	۷/۹۹^{a}	۰/۹۵^{b}	۱۲/۹^{b}	۰/۳۸۷^{a}	۷۵/۳^{b}	۲۹۶^{a}	۲۳۷^{a}
٪۳۵FC	۱۹/۹^{c}	۱۴/۷^{b}	۲۸۶۴^{c}	۳/۳۷^{b}	۰/۸۳^{b}	۱۵/۲^{a}	۰/۴۱۳^{a}	۷۷/۸^{a}	۳۰۰^{a}	۱۷۱^{b}

میانگین‌های که دارای حداقل یک حرف مشترک در هر صفت هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۵-مقایسه میانگین ناشی از برهمکنش بستر کاشت در کم‌آبیاری بر برخی صفات مورفولوژیکی کاهو

تیمار بستر کاشت	کم‌آبیاری	ارتفاع گیاه (cm (per plant	تعداد برگ number per plant	سطح برگ (cm^2 (per plant
شاهد	٪۷۵ FC	۳۰/۸^{ab}	۲۱/۳ ^{a}	۴۶۵۶ ^{a}
	٪۵۵ FC	۲۴/۴^{cde}	۱۹/۰ ^{ab}	۳۸۶۳^{bc}
	٪۳۵ FC	۱۸/۶^{f}	۱۳/۰^{b}	۲۵۴۰^{d}
خاک برگ	٪۷۵ FC	۲۸/۸^{abc}	۱۷/۳ ^{ab}	۴۹۰۱ ^{a}
	٪۵۵ FC	۲۳/۴^{def}	۱۶/۰ ^{ab}	۴۴۸۹ ^{ab}
	٪۳۵FC	۲۱/۵^{def}	۱۳/۶^{b}	۳۳۱۶^{cd}
پیت ماس	٪۷۵ FC	۳۱/۵^{a}	۱۹/۰ ^{ab}	۵۱۱۸ ^{a}
	٪۵۵ FC	۲۶/۳^{bcd}	۱۴/۳ ^{b}	۴۳۷۲ ^{ab}
	٪۳۵ FC	۱۶/۹^{ef}	۱۳/۳ ^{b}	۲۷۳۴^{d}

میانگین‌های که دارای یک حداقل یک حروف مشترک در هر صفت هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

در دو تیمار بستر کاشت خاک برگ و شاهد در همین تیمار آبیاری مقدار سطح برگ به ترتیب ۴۹۰۱ و ۴۶۵۶ سانتی‌متر مربع بیشترین مقدار را داشت که با هم از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). با کاهش مقدار آب، سطح برگ به‌شدت در هر سه بستر کاشت کاهش یافت به‌طوری‌که اعمال تیمار کم‌آبیاری 35%FC در بسترهای کاشت شاهد، خاک برگ و پیت ماس مقدار سطح برگ به ترتیب ۲۵۴۰، ۳۳۱۶ و ۲۷۳۴ سانتی‌متر مربع بود. حائز اهمیت است که با کاهش مقدار آب در دو بستر آلی و خاک برگ و پیت ماس مقدار کاهش سطح برگ کمتر حاصل شد.

نتایج مطالعه ویلا و ویلا و همکاران در کاهو نشان داد که با کاهش مقدار آب آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ETc مقدار سطح برگ کاهوی ثبت شده به ترتیب ۵۰۱۳/۹، ۴۳۹۱/۱ و ۳۳۰۳/۷ سانتی‌متر مربع بود که ازنظر آماری با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (Villa e Villa et al., 2024). نتایج این مطالعه با یافته‌های نامبردگان در خصوص تأثیر کاهش سطح برگ همگام با کاهش مقدار آب در دسترس در کاهو مطابقت دارد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بافت خاک نقش مهمی در جذب عناصر غذایی و پویایی بستر کاشت دارد زمانی که حجم مواد آلی خاک افزایش می‌یابد، به‌تناسب بهبود سایر خصوصیات فیزیکی بستر کاشت از لحاظ تأثیر بر کلونیزه‌کردن جمعیت میکروبی خاک باعث افزایش فعالیت این ریز موجودات می‌شود. این موجودات از طریق ترشح فیتوهرمون‌ها ازجمله اکسین، سیتوکنین و اتیلن نقش مهمی در تسریع رشد در گیاه دارند (Kandel et al., 2017). لذا افزایش تعداد و سطح برگ را می‌توان هم به عوامل تغذیه‌ای و هم عوامل هرمونی که توسط این موجودات ترشح می‌شود نسبت داد.

وزن خشک اندام هوایی

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر تمام تیمارهای آزمایشی معنی‌دار ($p\leq0.01$) شد (جدول ۲). بیشترین وزن خشک اندام هوایی در بستر کاشت پیت ماس (۱۰/۶ گرم در گیاه) و کمترین آن با حدود ۵۰ درصد کاهش در بستر کاشت شاهد مشاهده شد (جدول ۳). با کاهش مقدار آب دسترس از ۷۵ به ۵۵ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی مقدار کاهش وزن خشک اندام هوایی نسبت به تیمار ۷۵ درصد به ترتیب حدود ۲۶ و ۶۹ درصد بود (جدول ۴). در تمامی بسترهای کاشت با کاهش مقدار آب آبیاری وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت. که این روند در بستر کاشت شاهد چشمگیرتر بود به طوری که در بستر کاشت شاهد تمار کم‌آبیاری 35%FC مقدار وزن خشک اندام هوایی ۱/۳۷ گرم، در بستر کاشت خاک برگ ۳/۳۷ گرم و در بستر کاشت پیت ماس ۵/۳۸ گرم در هر گیاه بود. درمجموع واکنش اندام هوایی از لحاظ وزنی در بستر کاشت پیت ماس به کم‌آبیاری بسیار مثبت‌تر از دو بستر کاشت خاک برگ و شاهد بود (شکل ۱ A). نتایج مطالعه طاهری و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که آبیاری در 100%FC مقدار وزن‌تر اندام هوایی کاهو ۴۱۳ گرم در گیاه بود و زمانی که کاهش آبیاری به 80%FC و 60%FC رشید مقدار وزن‌تر اندام هوایی به ترتیب حدود ۹ و ۳۶ درصد کاهش نشان داد. در مطالعه دیگری پیم و همکاران گزارش کرد که در کاهو رقم "Veneranda" زمانی که تیمار مقدار آب دسترس به ۸۰ درصد می‌رسد مقدار وزن خشک اندام هوایی تولیدشده نسبت به تیمار ۹۰ درصد آبیاری در ظرفیت زراعی، حدود ۳۵ درصد کاهش یافت (Paim et al., 2020). تحمل به تنش که معمولاً با مقدار تغییرات وزن خشک اندام هوای نسبت به شاهد قابل‌بررسی است به‌صورت ژنتیکی کنترل‌شده و بین ارقام مختلف از این منظر تفاوت وجود دارد (Sorrentino et al., 2020). ازآنجاکه در این

مطالعه تنها از یک رقم استفاده شده علت تفاوت بین تیمارها به تأثیر اجزای بستر کاشت بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی محیط اطراف ریشه می‌توان نسبت داد (جدول ۱). لذا به نظر می‌رسد که تغییر بستر کاشت سبب بهتر جذب شدن عناصر غذایی شد که رشد و متعاقب آن افزایش وزن خشک اندام هوایی را به همراه داشت.

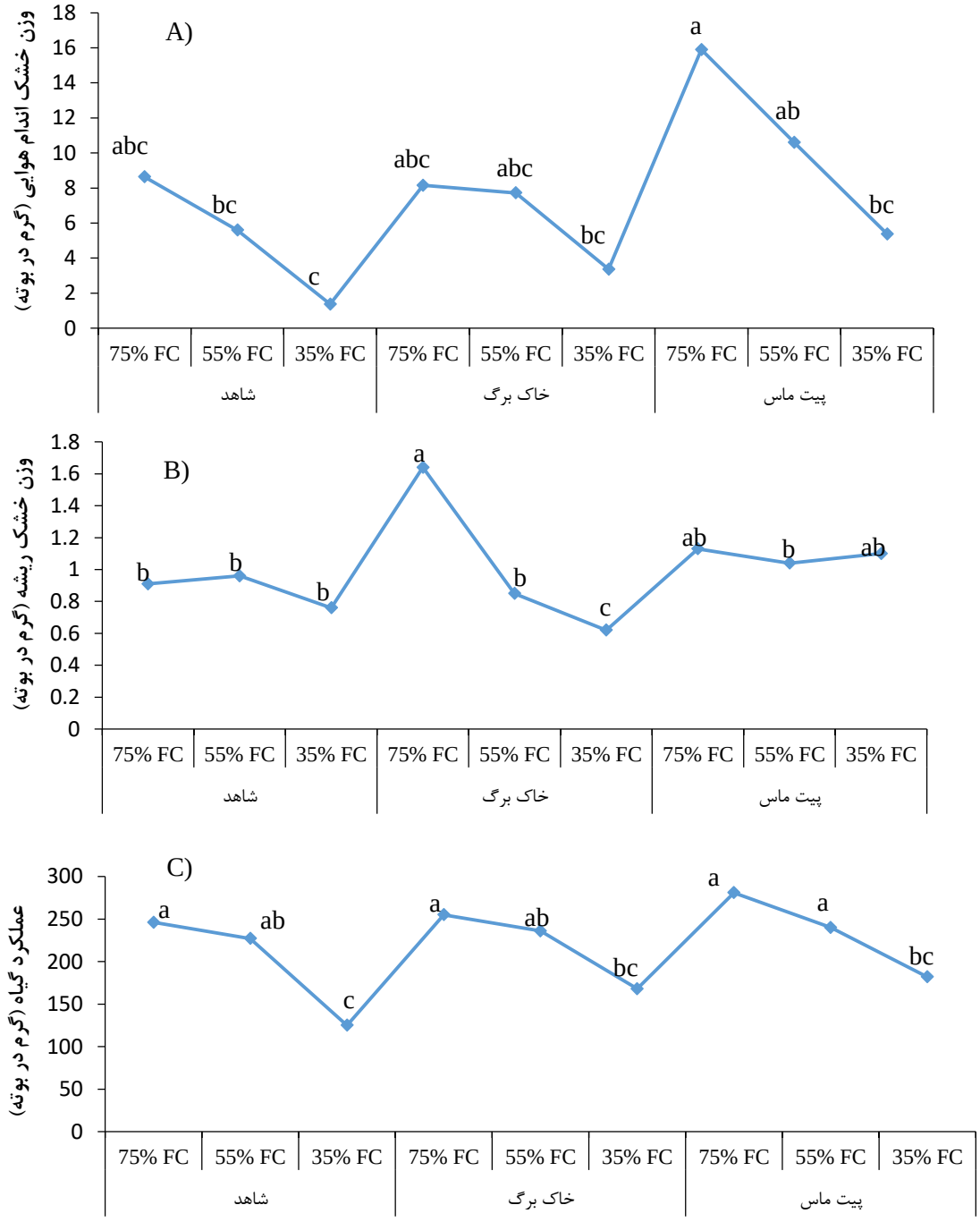
وزن خشک ریشه: نوع بستر کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش نوع بستر کاشت و کم‌آبیاری بر وزن خشک ریشه معنی‌دار شد (جدول ۲). روند تأثیر نوع بستر کاشت بر وزن خشک ریشه مطابق با تأثیر آنها بر وزن خشک اندام هوایی بود. به‌طوری که بستر پیت ماس و خاک برگ بیشترین وزن خشک ریشه را داشت و کمترین مقدار آن (۰/۷۷۱ گرم در گیاه) در بستر کاشت شاهد به دست آمد (جدول ۳). نتایج جدول ۴ نشان داد که با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس وزن خشک ریشه کاهش یافت. دو تیمار 55%FC و 35%FC به ترتیب با مقدار ۰/۹۵ و ۰/۸۳ گرم در گیاه کمترین مقادیر را داشتند. مقدار وزن خشک ریشه در تیمار کم آبیاری 75%FC، ۱/۲۳ گرم بود (جدول ۵). در تمام تیمارهای کم‌آبیاری در بستر کاشت پیت ماس مقدار وزن خشک ریشه بیشتر از یک گرم در گیاه بود. مقادیر این صفت در بستر کاشت شاهد و در تمام تیمارهای کم‌آبیاری کمتر از یک گرم در بوته بود. تنها در بستر کاشت خاک برگ و تیمار کم‌آبیاری 75%FC مقدار وزن خشک ریشه بیشترین مقدار و برابر با ۱/۶۴ گرم در گیاه را داشت (شکل ۱ B). بستر کاشت به دلیل گذراندن تمام حیات گیاه در آن از اهمیت ویژه‌ای در سلامتی و عملکرد آن برخوردار است. تنش غیر زنده، سبب تغییر در ساختمان خاک پویایی ریز موجودات زنده خاک شده که روی بهره‌وری گیاه از منابع تأثیرگذار است (Meena et al., 2017). کم‌آبی و یا تنش خشکی سبب تغییر جامعه میکروبی خاک می‌شود. این رویداد در تمام ساختار سبب کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و به طبع آن سبب کاهش مقدار مواد غذایی قابل‌دسترس، کاهش مقدار تجزیه مواد آلی، در برخی موارد سبب افزایش مقدار دی‌اکسیدکربن در منطقه فعالیت ریشه شده که کاهش رشد آن را به دنبال دارد (Gorovtsov et al., 2019).

عملکرد گیاه

نوع بستر کاشت، تیمار کم‌آبیاری و برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری بر مقدار عملکرد کاهو داشت (جدول ۲). بیشترین عملکرد از بستر کاشت پیت ماس حاصل شد که نسبت به شاهد حدود ۲۰ درصد افزایش داشت (جدول ۳). دو تیمار کم‌آبیاری 75%FC و 55%FC هرچند از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند بااین‌حال تیمار 55%FC نسبت به تیمار 75%FC حدود ۱۷ گرم عملکرد کمتری داشت (جدول ۴). در همه بسترهای کاشت (شاهد، خاک برگ و پیت ماس) تیمار کم آبیاری 75%FC بیشترین مقدار را داشت. بااین‌حال بیشترین مقدار عملکرد در تیمار پیت‌ماس و 75%FC و با مقدار ۲۸۱ گرم در هر گیاه حاصل شد. در بستر کاشت پیت ماس کاهش مقدار آب در دسترس به 55%FC و 35%FC مقدار عملکرد حاصل شده نسبت به دو بستر کاشت شاهد و خاک برگ اعداد بیشتری داشت. کمترین مقدار عملکرد (۱۲۵ گرم در هر گیاه) از تیمار بستر کاشت شاهد و تیمار کم‌آبیاری 35%FC به دست آمد (شکل ۱ C). کاهش عمکلرد محصولات با کاهش آب در دسترس در گیاهان مختلف توسط محققین مختلف گزارش‌شده است. در این زمینه پاترا و همکاران گزارش کرد که وزن تازه کاهو در سه تیمار آبیاری به ترتیب در IW/CPE=0.6، IW/CPE=0.8 و IW/CPE=1 به ترتیب برابر با ۱۴۹، ۱۷۲ و ۱۷۶ گرم در گیاه بود (Patra et al., 2023). به نظر می‌رسد نوع بستر کاشت در شیب کاهش مقدار آب قابل‌دسترس نقش دارند، به‌عبارت‌دیگر بستری مناسب‌تر است که در شرایط تنش، کاهش کمتری در مقدار آب قابل‌دسترس داشته باشد. لذا شیب‌خط کمتر خواهد بود. مقدار حجم آب قابل دسترس از نقطه ظرفیت زراعی تا سه روز از ۴۸ درصد به ۴۳ درصد کاهش پیدا می‌کند که این کاهش ناشی از وجود زهکش بستر در لایه‌های زیرین و افزایش تبخیر و یا جذب آب توسط ریشه باشد (Thompson et al., 2007). بستر کاشت حاوی ترکیبات آلی با تأثیر بر ساختار خاک و نیز ایجاد منافذ ریز بیشتر در نگهداری بیشتر آب نقش داشته و لذا مقدار آب زهکش شده و تبخیر را به‌صورت چشمگیری را کاهش می‌دهند و مقدار آب قابل‌دسترس که فاصله بین FC و PWP قرار دارد در بستر کاشت آلی بیشتر است. از طرفی نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که مقدار عملکرد با وزن خشک ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=0.568**) داشت (جدول ۶). این نشانگر افزایش رشد ریشه در بستر کاشت پیت ماس است که سبب دسترسی بیشتر به مواد غذایی و با تأثیر بر سایر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی سبب بهبود و افزایش عملکرد شده است.

صفات فیزیولوژیکی

فتوسنتز (*Pn*) و غلظت CO_2 بین سلولی (Ci) تحت تأثیر نوع بستر کاشت، تیمار کم‌آبیاری و برهمکنش نوع بستر کاشت و تیمار کم‌آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین مقدار *Pn* در بستر کاشت پیت ماس (۱۵ $\mu molCO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$) به دست آمد که نسبت به دو بستر کاشت شاهد و خاک برگ به ترتیب ۲۳ و ۱۵ درصد افزایش داشت (جدول ۳). کاهش مقدار آب در دسترس ناشی از کم‌آبیاری سبب کاهش معنی‌دار مقدار فتوسنتز شد (جدول ۴).



شکل ۱- نتایج مقایسه میانگین های حاصل از برهمکنش نوع بستر کاشت و تیمار کم‌آبیاری بر A) وزن خشک اندام هوایی، B) وزن خشک ریشه و C) عملکرد گیاه کاهو تحت شرایط کنترل شده. میانگین‌های که دارای حداقل یک حروف مشترک در هر صفت هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند.

در بستر کاشت پیت ماس در سطح آبیاری 75%FC بیشترین مقدار *Pn* برابر ۱۸/۱ µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} به دست آمد. در همین سطح آبیاری، در دو بستر کاشت خاک برگ و شاهد مقدار *Pn* به ترتیب ۱۶/۶ و ۱۵/۶ µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} بود. کمترین مقدار فتوسنتز در بستر کاشت شاهد و سطح کم‌آبیاری 35%FC و با مقدار ۷/۳۸ µmol CO_2 m^{-2} s^{-1} حاصل شد. در بستر کاشت پیت ماس در سطح

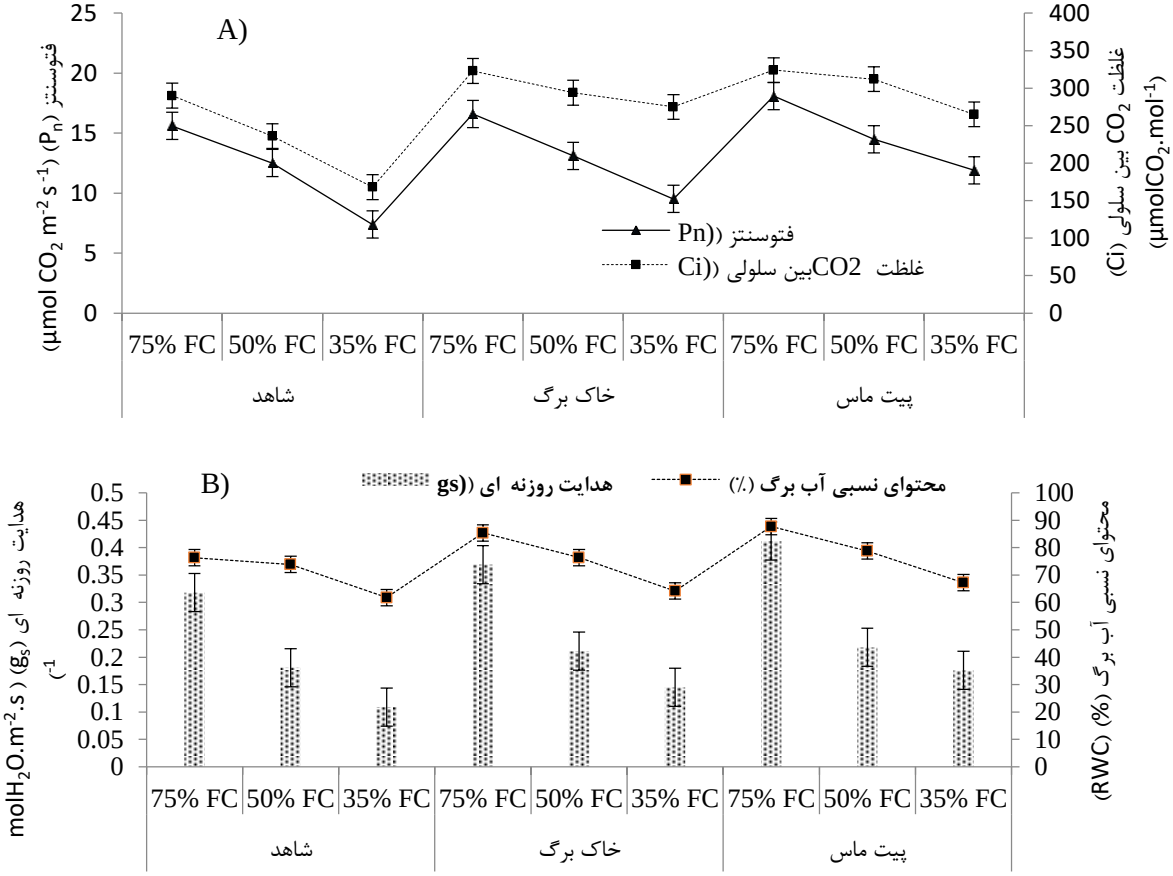
تنش 35%FC مقدار *pn* بیشتر از ۱۱/۵ $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ بود درصورتی‌که در دو بستر کاشت دیگر مقدار فتوسنتز کمتر از $\mu mol\ CO_2\ m^{-2}\ s^{-1}$ ۱۰ بود (شکل ۲ A). نتایج مطالعه ویلا ویلا و همکاران در گیاه کاهو نشان داد که در تیمار ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مقدار فتوسنتز به ترتیب ۱۶/۱، ۱۲/۵ و ۱۰/۳ $\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ بود (Villa e Villa et al., 2024). نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های این محققین مطابقت دارد. مطالعات نشان می‌دهد کاهش فتوسنتز برگ معمولاً با کاهش هدایت روزنه‌ای در تنش متوسط خشکی اتفاق می‌افتد و زمانی که تنش خشکی شدید روی می‌دهد محدودیت‌های غیر روزنه‌ای سبب کاهش مقدار فتوسنتز می‌شود (Misson., et al., 2010). به دنبال کاهش مقدار *Pn* منجر به افزایش مقدار انرژی دریافتی بیشتر ازآنچه در فتوسنتز می‌شود، شده است. این افزایش انرژی سبب تولید گونه‌های فعال اکسیژن در مرکز فتوسیستم II و پروتئین D1 می‌شود. همگام با این فرآیند و بازدارندگی فعالیت D1، فاکتورهای دخیل در زنجیره انتقال الکترون فتوسنتزی در واکنش‌های نوری نیز کاهش می‌یابد. در برخی مطالعات اظهارشده است که واکنش‌های تثبیت CO_2 در چرخه کالوین به تنش‌های محیطی حساس است. بنابراین با بازدارندگی فعالیت پروتئین D1 در مرکز واکنش فتوسیستم II، کاهش زنجیره انتقال الکترون سبب کاهش مقدار *Pn* همراه با افزایش تنش خشکی شده است (Altaweel et al., 2007).

غلظت CO_2 بین سلولی (Ci)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد مقدار Ci تحت تأثیر نوع بستر کاشت، تیمار کم‌آبیاری و برهمکنش نوع بستر کاشت و تیمار کم‌آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۲). مقدار Ci در بسترهای کاشت شاهد، خاک برگ و پیت ماس به ترتیب ۲۴۰، ۲۹۶ و ۳۰۰ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول بود (جدول ۳). با کاهش مقدار آب قابل‌دسترس غلظت CO_2 بین سلولی نیز کاهش یافت به‌طوری‌که درشدت کم‌آبیاری 35%FC مقدار کاهش Ci نسبت به تیمار 75%FC حدود ۲۴ درصد بود (جدول ۴). مقدار Ci در تیمار کم آبیاری 75%FC و دو بستر کاشت آلی خاک برگ و پیت ماس به ترتیب ۳۲۳ و ۳۲۴ $\mu molCO_2.mol^{-1}$ بود، که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند بااین‌حال مقدار این صفت در بستر کاشت شاهد و همین تیمار آبیاری۲۹۰ بود که با دو تیمار دیگر معنی‌دار نبود. در تیمار شاهد زمانی که مقدار آب در دسترس به 35%FC رسید مقدار Ci به شدت کاهش یافت که اختلاف با تیمار 75%FC برابر با ۱۲۲ بود ولی در تیمار پیت ماس و سطح کم‌آبیاری 35%FC مقدار اختلاف Ci با تیمار 75%FC برابر با ۵۹ میکرومول دی‌اکسیدکربن بر مول بود (شکل ۲ A). نتایج ویلا ویلا و همکاران نشان داد که مقدار Ci در تیمارهای کم‌آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۳۱۴، ۲۹۴ و ۲۸۰ میکرومول بر مول بود (Villa e Villa et al., 2024). که ازنظر روند کاهش مقدار Ci همراه با کاهش مقدار آب در مطالعه حاضر با یافته‌های نامبردگان مطابقت دارد. نتایج ضریب همبستگی نشان داد که مقدار Ci با مقدار *Pn* همبستگی مثبت و معنی‌داری (r=0.439*) داشت (جدول ۶). مطالعه ونگ و همکاران نیز نشان داد که مقدار Ci و *Pn* در تنش خشکی مثبت و معنی‌دار بود. نامبردگان علت کاهش مقدار Ci را در تنش ملایم به عوامل روزنه‌ای نسبت دادند که در زمان تنش خشکی با کاهش هدایت روزنه‌ای سبب کاهش مقدار Ci می‌شود (Wang et al., 2018).

هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تیمار کم‌آبیاری و برهمکنش بستر کاشت و کم‌آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مقدار هدایت روزنه‌ای داشت و نوع بستر کاشت تغییر معنی‌داری را در مقدار هدایت روزنه ایجاد نکرد (جدول ۲). با کاهش مقدار آب آبیاری به‌تناسب نیز مقدار هدایت روزنه‌ای کاهش یافت. کمترین مقدار gs در تیمار کم-آبیاری 35%FC و با مقدار ۰/۱۴۱ $molH_2O.m^{-2}.s^{-1}$ بود (جدول ۴). نتایج مطالعه میسون و همکاران نشان داد که مقدار gs با کاهش آب قابل‌دسترس کاهش یافت به‌طوری‌که در پتانسیل منفی چهار مگاپاسکل مقدار gs نزدیک صفر و با کاهش مقدار تنش خشکی مقدار gs افزایش یافت و در حالت طبیعی به ۰/۱۵ $molH_2O.m^{-2}.S^{-}$ [1] رسید (Misson et al., 2010). بیشترین مقدار gs به ترتیب در بستر کاشت پیت ماس و سطح کم‌آبیاری 75%FC و کمترین مقدار ان در بستر کاشت شاهد و سطح آبیاری 35%FC حاصل شد. در سطح کم‌آبیاری 75%FC بستر کاشت خاک برگ نسبت به بستر کاشت پیت ماس حدود ۰/۰۴۳ مقدار کمتر و نسبت به بستر کاشت شاهد حدود ۰/۰۵۱ $molH_2O.m^{-2}.S^{-1}$ هدایت روزنه‌ای بیشتری داشت (شکل ۲ B). در آزمایشی هی و همکاران در گیاه *Brassica oleracea* L. نشان داد زمانی که مقدار فاصله زمانی محلول‌پاشی از ۵ به ۳۰ و ۶۰ دقیقه می‌رسد مقدار هدایت روزنه‌ای به ترتیب حدود ۲۹ و ۴۸ درصد کاهش یافت (He et al., 2023). نتایج مطالعه کت و همکاران در کاهو نشان داد که در دو بستر کاشت شنی و لومی تغییرات تبخیر و تعرق در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری متفاوت بود به‌طوری‌که مقدار کاهش رطوبت بستر، در بستر کاشت شنی با افزایش تنش خشکی افزایش یافت درصورتی‌که در بستر کشت لومی مقدار این صفت کمتر بود (Ket et al., 2018).



شکل ۲۱- نتایج مقایسه میانگین های حاصل از برهمکنش نوع بستر کاشت و تیمار کم آبیاری بر A) مقدار فتوسنتز و غلظت CO_2 بین سلولی و B) هدایت روزنه ای و محتوای نسبی آب برگ گیاه کاهو تحت شرایط کنترل شده. میانگین‌های که دارای یک حروف مشترک در هر صفت هستند بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر بستر کاشت، کم‌آبیاری و برهمکنش بستر کاشت در آبیاری معنی‌دار شد (جدول ۲). هرچند سه بستر کاشت شاهد، خاک برگ و پیت ماس با هم اختلاف معنی‌داری بر مقدار محتوای نسبی آب برگ داشتند، بااین‌حال اختلاف کمترین با بیشترین تنها در هفت درصد بود، بیشترین مقدار (۷۷/۸٪) از بستر کاشت پیت‌موس و کمترین آن از شاهد حاصل شد (جدول ۳). همان‌گونه که انتظار می‌رفت با کاهش مقدار آب در دسترس مقدار RWC نیز کاهش یافت (جدول ۴). دامنه مقدار RWC در برهمنکش تیمار بستر کاشت در تیمار کم‌آبیاری بین ۶۱/۸ و ۸۷/۷ درصد قرار داشت. بیشترین مقدار RWC از تیمار پیت ماس و تیمار کم‌آبیاری 75%FC و با مقدار ۸۷/۷ درصد حاصل شد. و کمترین مقدار آن از بستر کاشت شاهد و تیمار کم‌آبیاری 35%FC به دست آمد. بیشترین نوسان در مقدار RWC در بستر کاشت شاهد مشاهد شد و دو بستر کاشت آلی پیت ماس و خاک برگ در تیمار کم‌آبیاری 55%FC مقدار RWC به دست آمد که از تیمار بستر کاشت شاهد و در همین سطح کم‌آبیاری بیشتر بود (شکل ۲ B). نتایج ضرایب همبستگی نشان داد که محتوای نسبی آب برگ با مقدار *Pn* همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.908^{**}$) مشاهده شد (جدول ۶). لذا با افزایش دسترسی مقدار آب در برگ، عناصر غذایی لازم برای انجام فرآیند فتوسنتز فراهم‌شده که سبب افزایش مقدار ماده فتوسنتزی در برگ شده به‌طوری‌که بین محتوای نسبی آب برگ و عملکرد نیز همبستگی مثبت و معنی‌دار ($r = 0.739^{**}$) وجود داشت (جدول ۶). در شرایطی که مقدار آب در دسترس کاهش می‌یابد، ریشه گیاهان ترکیباتی از خود ترشح می‌کنند که سبب بازیابی فعالیت میکروب‌ها خاک در جهت کمک به گیاه در جهت کاهش

اثرات تنش خشکی شود. ریز جانداران خاک‌زی از طریق بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و انتقال مؤثر مواد غذایی در خاک می‌شود (Gull et al., 2019). ازآنجاکه بسترهای کاشت آلی از طریق ایجاد شرایط مساعد برای رشد و تکثیر جامعه میکروبی خاک مؤثرند، به نظر می‌رسد افزایش جذب بیشتر محلول غذایی در بستر کاشت آلی، در محتوای نسبی آب برگ تأثیرگذار است و باعث افزایش مقدار RWC می‌شود. نتایج مطالعه هی و همکاران نشان داد که در شریط کمی مقدار آب در دسترس گیاه، تلقیح *P. putaminum* در گیاه شیرین‌بیان (*Glycyrrhiza uralensis*) باعث افزایش اندام هوایی و زیست‌توده کل و کاهش نسبت ریشه به ساقه شد (He et al., 2019). در شرایط کمبود آب، بستر کاشت از طریق مهیا نمودن شرایط رشد و تکثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه، سبب بهبود شاخص‌های رشدی و زیست‌توده گیاه شده است. رشد، تغذیه، وضعیت آب و راندمان فتوسنتزی گیاه در استفاده از میکوریزا در شرایط کمبود آب وابسته به نوع بستر کاشت آلی است (Vurukonda et al. 2016).

جدول ٦- ضرایب همبستگی صفات مورفولوزیکی، فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه کاهو تحت تأثیر بستر کاشت و تیمار کم‌آبیاری در شرایط کنترل‌شده

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11
T1	1										
T2	۰/۵۱۵**	1									
T3	۰/۸۹۴**	۰/۳۰۳^{ns}	1								
T4	۰/۴۱۷*	۰/۵۴۹*	۰/۴۸۷*	1							
T5	۰/۶۹۴**	۰/۴۴۸*	−۰/۶۰۱**	۰/۴۷۵*	1						
T6	−۰/۴۷*	−۰/۰۴۱^{ns}	−۰/۶۹۱**	−۰/۳۱۷ns	−۰/۶۸۰**	1					
T7	۰/۷۹**	۰/۴۰۱*	۰/۷۷۹**	۰/۵۸۱**	۰/۷۹۱**	−۰/۶۸۵**	1				
T8	۰/۶۳۱**	۰/۱۰۶^{ns}	۰/۷۱۰**	۰/۴۳۹*	۰/۴۲۳*	−۰/۴۱*	۰/۵۵۳**	1			
T9	۰/۸۲۲**	۰/۲۳۷^{ns}	۰/۸۳۹**	۰/۳۵۹^{ns}	۰/۷۸۵**	−۰/۷۲۳**	۰/۹۰۸**	۰/۶۸۳**	1		
T10	۰/۶۹۳**	۰/۲۰۳^{ns}	۰/۷۴۳**	۰/۰۲۹*	۰/۷۲۷**	−۰/۸۴۱**	۰/۸۵۱**	۰/۴۳۹*	۰/۸۰۹**	1	
T11	۰/۷۲۴**	۰/۶۴۸**	۰/۷۱۰**	۰/۵۶۸**	۰/۷۹۴**	−۰/۶۷۵**	۰/۸۰۵*	۰/۵۰۳**	۰/۷۳۹**	۰/۷۵۱**	1

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

در این جدول: T1: ارتفاع گیاه، T2: تعداد برگ در گیاه، T3: سطح برگ در گیاه، T4: وزن خشک‌ریشه، T5: وزن خشک اندام هوایی، T6: اسپد، T7: فتوسنتز، T8: پرومتر، T9: محتوای نسبی آب برگ، T10: غلظت دی‌اکسیدکربن بین سلولی، T11: عملکرد گیاه.

نتیجه‌گیری

بهبود کیفیت و بهره‌وری بستر کاشت از طریق اضافه کردن مواد آلی، به‌عنوان یک راهکار برای افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی موردتوجه قرارگرفته است. این مواد از طریق افزایش میزان تخلخل خاک، سطح ویژه آن، در دسترس قرار دادن عناصر غذایی و فعال نمودن جمعیت ریز جانداران خاک به رشد و عملکرد محصول کمک می‌نماید. بررسی‌ها نشان می‌دهد زمانی که آب آبیاری کمی در دسترس است وجود مواد آلی در خاک از طریق نگهداری مقدار آب (جدول ۱)، و تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود. در مطالعه حاضر استفاده از بستر کاشت پیت ماس در تیمار کم آبیاری 55%FC نسبت با شاهد در تمام صفات فیزیولوژیکی نسبت به سایر بسترهای کاشت در این سطح کم‌آبیاری مقادیر بیشتر و معنی‌داری را نشان داد که نتیجه این فرآیندها (فتوسنتز، محتوای آب برگ و ...) سبب بهبود صفات مورفولوژیکی به‌خصوص عملکرد در کاهو شده است. در تیمار کم‌آبیاری 75%FC نیز بیشترین مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و نیز صفات وابسته به عملکرد در استفاده از بستر کاشت پیت ماس حاصل شد.

منابع

آقا بیگی، م.، ایمانی، م. ر.، حاجیان فر، ر.، خدادادی، م.، رافضی، ر. و موسوی، س. ح. ۱۳۹۶. فناوری تولید کاهوی ایسبرگ (Iceberg)و معرفی ارقام تجاری آن. نشریه فنی پژوهشکده سبزی و صیفی موسسه تحقیقات علوم باغبانی وزارت جهاد کشاورزی. ۱-۳۰.

خوشکام، س. و ساعی، م. ۱۳۹۰. بررسی زراعی و اقتصادی مناسب‌ترین زمان کاشت متوالی کاهو در شرایط گلخانه و فضای

باز در منطقه جیرفت. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۲(۷): ۲۹-۳۹.

ذکاوتی، ح. ر.، شور، م.، روحانی، ح.، فاضلی کاخکی، س. ف. و گنجی مقدم، ا. ۱۳۹۸. تأثیر جدایه‌های قارچ تریکودرما بر تغییرات مورفوفیزیولوژیک گیاه گل مریم (*Polianthes tuberose*) تحت تنش خشکی. علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۱۰(۳) ۵۴-۳۹.

صالحی، م.، کافی، م. و کیانی، ع.ر. ۱۳۹۰. اثر تنش شوری کم‌آبی بر تولید زیست‌توده کوشیا (*Kochia scoparia*) و روند شوری خاک. مجله به زراعی نهال و بذر، ۲-۲۷(۴): ۴۱۷-۴۳۳.

طاهری اجدادی، ب.، صالحی، ر. و مصطفوی، م. ۱۳۹۴. واکنش رشد و عملکرد کاهو به افزودن ورمیکمپوست و هیومیک اسید به بستر کاشت در سیستم بدون خاک. نهمین کنگره علوم باغبانی. ۱-۶.

طاهری، ه.، سلطانی محمدی، ا. و عالم زاده انصاری، ن. ۱۳۹۹. بررسی کاربرد پلیمر سوپر جاذب بر عملکرد، اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب کاهو. مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۴۳(۱): ۱۱۷-۱۲۹.

علیزاده، ا. ۱۴۰۱. رابطه آب‌وخاک و گیاه. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ سیزدهم، ۴۷۲ صفحه.

معصومی، ع.، کافی، م.، نباتی، ج.، خزاعی، ح.، داوری، ک. و زارع مهرجردی، م. ۱۳۹۱. اثر تنش خشکی بر وضعیت آبی و نشت الکترولیت برگ، فتوسنتز و فلورسانس کلروفیل در مراحل مختلف رشدی دو توده کوشیا (*Kochia scoparia*) در شرایط شور. پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۰(۳): ۴۸۴-۴۷۶ .

ملکوتی، م. ج.، بایبوردی، ا. و طباطبایی، س. ج. ۱۳۸۳. مصرف بهینه کود گامی مؤثر در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت و کاهش آلاینده¬ها در محصولات سبزی و صیفی و ارتقا سطح سلامت جامعه. نشر علوم کشاورزی کاربرد، تهران، ایران.

قدیمی، ف. و حسندخت و فرجادی شکیب، م. ۱۳۹۴. تأثیر بستر کاشت ورمی کمپوست بر برخی خصوصیات کاهو رقم گریزلی (*Lactuca sativa* L.). نهمین کنگره علوم باغبانی. ۱-۴.

هوشمندزاده، ع. ر.، برومند نسب، س.، هوشمند، ع. ر. و عالم زاده، ن. ۱۳۹۲. تأثیر دور آبیاری بر عملکرد کاهو رقم (*Lacttuca sativa* L.) در شرایط گلخانه‌ای با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز

Afsharipoor, S. and Roosta, H. R. 2010. Effect of different planting beds on growth and development of strawberry in hydroponic and aquqponic cultivation systems. Plant Ecophysiology. 2: 61-66

Alipour, S., Amini, M.Z. and Haidari, M.D. 2022. Effects of regulated deficit irrigation on crop water productivity, yield components, and yield response factor of common bean (Phaseolus vulgaris L.). Central Asian Journal of Water Research. 8: 112–125.

Altaweel, K., Iwaki, T., Yabuta, Y., Shigeoka, S., Murata, N. and Wadano, A. 2007. A bacterial transgene for catalase protects translation of d1 protein during exposure of salt- stressed tobacco leaves to strong light. Plant physiology. 145: 258-265.

Aslam Latif, P. 2012. Development of irrigation and fertilizer application schedule for wheat under deficit water supply situations.MSc thesis in master of technology agricultural engineering. Water Technology Centre Indian Agricultural Research Institute.p:97.

Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, H.L., Waskom, R.M., Niu, Y. and Siddique, K.H.M. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. Agronomy for Sustainable Development. 36: 3: 1-22. DOI 10.1007/s13593-015-0338-6.Chanseetis C., Shinohara Y., Takagaki M., Maruo M., Hojo M. and Ito T. 2001. Application of capillary hydroponic system to the lettuce growing under tropical climate condition. Acta Hortticulture, 548:321-328.

Feng, S.L. 2008. Effects of Water to Source-Sink Ratio on Photosynthetic Physiology and Yield Formation of Processed Tomato. Ph.D. Thesis, Shihezi University, Xinjiang, China. 6: 11.

Fotouhi Ghazvini, R., Payvast, G. and Azarian, H. 2007. Effect of Clinoptilolitic-zeolite and perlite mixtures on yield and quality of strawberry in soil – less culture. Horticulture Science.885- 888.

Gan, Y., Siddique, K.H.M., Turner, N.C., Li, X-G., Niu, J-Y., Yang, C., Liu, L. and Chai, Q. 2013. Ridge-furrow mulching systems—an innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments. Adv Agron 118:429–476. doi:10.1007/s11104-010-0312-7.

Gorovtsov, A.V., Minkina, T.M., Mandzhieva, S.S., Perelomov, L.V., Soja, G., Zamulina, I.V., Rajput,

and Minhas, P.S. 2017. Abiotic stress responses and microbe-mediated mitigation in plants: the omics strategies. Frontiers in Plant Science: 8. https://doi.org/ 10.3389/fpls.2017.00172

Misson, L., Limousin, J.M., Rodriguez, R. and Letts, M.G. 2010. Leaf physiological responses to extreme drought in meditereeanean Quercus ilex forest. Plant Cell Enviroment. 33: 1898-1910.

Morbidini, F., Jr, W.B., Zanin, G., Verdi, L., Camarotto, C., Ghinassi, G., Maucieri, C., Marta, A.D. and Borin, M. 2024. The state of the art on deficit irrigation in soybean. Irrigation and Drainage. 73:757–769. DOI: 10.1002/ird.2903.

Mujahid, A.M. and Gupta, A.J. 2010. Effect of plant spacing, organic manures and inorganic fertilizers and their combinations on growth, yield and quality of lettuce (Lactuca sativa). Indian Journal of Agricultural Sciences. 80 (2): 177–81.

Paim, B.T., Crizel, R.L., Tatiane, S.J., Rodrigues, V.R., Rombaldi, C.V. and Galli, V. 2020. Mild drought stress has potential to improve lettuce yield and quality. Scientia Horticulturae. 272: 1 – 7.

Pathma, J. and Natarajan, S. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. Springer Plus. 1: 1-19.

Patra, S.K., Sengupta, S., Bhattacharya, P. and hattacharyya, K. 2023. Enhancing yield of lettuce through irrigation and nitrogen management in a subtropical Inceptisol. Israel Journal of Plant Science, http://dx.doi.org/10.1163/22238980-bja10071.

Pinto R, Brito LM, Coutinho J. 2017. Organic production of horticultural crops with green manure, composted farmyard manure and organic fertilizer. Biological Agriculture & Horticulture. 33(4):269–284. doi:10.1080/01448765.2017.1347521.

Quda, S., Zohry, A.E.H. and Noreldin, T. 2020. Deficit irrigation: a remedy for water scarcity. Switzerland: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-35586-9.

Sánchez-Ortiz, A., Lampreave, M. and Mateos, M.A. 2024. Addressing Water Stress and Climate Variability in the Mediterranean: Study of Regulated Deficit Irrigation (RDI) and Non-Irrigation (NI) in Tempranillo and Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.). Agriculture. 14, 129. https://doi.org/10.3390/agriculture14010129

V.D., Sushkova, S.N. and Yao, J. 2019. The mechanisms of biochar interactions with microorganisms in soil. Environ Geochem Health. 42:2495–2518. https://doi.org/10.1007/s10653-019-00412-5.

Gull, A., Ahmad Lone, A. and Ul Islam Wani, N. 2019. Biotic and abiotic stresses in plants. In: Abiotic and biotic stress in plants. https://doi.org/10.5772/intechopen.85832.

He, J., Chang, C., Qin, L. and Lai, C.H. 2023. Impacts of Deficit Irrigation on Photosynthetic Performance, Productivity and Nutritional Quality of Aeroponically Grown Tuscan Kale (Brassica oleracea L.) in a Tropical Greenhouse. International Journal of Molecular Sciences. https://doi.org/10.3390/ ijms24032014.

He, C., Wang, W. and Hou, J. 2019. Plant growth and soil microbial impacts of enhancing licorice with inoculating dark septate endophytes under drought stress. Front Microbiol 10. https://doi.org/10. 3389/fmicb.2019.02277

Kang, S., Hu, X., Goodwin, I. and Jerie, P. 2002. Soil water distribution, water use, and yield response to partial root zone drying under a shallow groundwater table condition in a pear orchard. Scientia Horticulturae. 92:277–291. doi:10.1016/S0304-4238(01)00300-4.

Kandel, S.L., Joubert, P.M. and Doty, S.L. 2017. Bacterial endophyte colonization and distribution within plants. Microorganisms 5(4):77.

Ket, P., Garre, S., Oeurng, C., Hok, L. and Degre, A. 2018. Simulation of crop growth and water-saving irrigation scenarios for lettuce: a monsoon climate case study in kampong chhanng, Cambodia. Water. 10: 666; Doi: 10.3390/w10050666.

Kim, M.J., Moon, Y., Tou, J.C., Mou, B. and Waterland, N.L. 2016. Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (Lactuca sativa L.). Journal of Food Composition and Analysis. 49: 19–34.

Martyniuk S, Koziel M, Stalenga J, Jonczyk K. 2016. Labile factions of soil organic matter and microbial characteristics of soil under organic and conventional crop management systems. Biological Agriculture & Horticulture. 32(1):1–6. doi:10.1080/01448765.2015.1015054

Meena, K.K., Sorty, A.M., Bitla, U.M., Choudhary, K., Gupta, P., Pareek, A., Singh, D.P., Prabha, R., Sahu, P.K., Gupta, V.K., Singh, H.B., Krishanani, K.K.

https://doi.org/10.1016/j.micres.2015.12.003

Wang, Y.C., Zhang, H.J., He, Z.S., Li, F.Q., Wang, Z.Y., Zhou, C.L., Han, Y. and Lei, L. 2022. Effects of regulated deficit irrigation on yield and quality of *isatis indigotica* in a cold and arid environment. Water. 14: 1798.

Wang, L., Ning, S., Zheng, W., Guo, J., Li, Y., Li, Y., Chen, X., Ben-Gal, A. and Wei, X. 2023. Performance analysis of two typical greenhouse lettuce production systems: Commercial hydroponic production and traditional soil cultivation. Front. Plant science. 14: 1165856.

Wang, Z., Li, G., Sun, H., Ma, L., Guo, Y., Zhao, Z., Gao, H. and Mei, L. 2018. Effects of drought stress on photosynthesis and photosynthetic electron transport chain in young apple tree leaves. The Company of biologists, 1-9. Doi: 10.1242/bio.035279.

Xu, J., Wan, W., Zhu, X., Zhao, Y., Chai, Y., Guan, S. and Diao, M. 2023. Effect of Regulated Deficit Irrigation on the Growth, Yield, and Irrigation Water Productivity of Processing Tomatoes under Drip Irrigation and Mulching. Agronomy. 2023, 13, 2862. https://doi.org/10.3390/agronomy13122862.

Zengin, M. 2017. Tarımda toprak verimliliği nasıl artırılır?. [accessed 2017 Sep 26]. http://www.kutahyaazot.com/kataloglar/Toprak_Verimliligi. (Mehmet%20ZENG%C4%B0N).pdf

Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.O., Rosenqvist, E. and Wu, Z. 2016. Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. BMC Plant Biology. 17: 24.

Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H. and Battaglia, M.L. 2021. Drought Stress Impacts on Plants and Different Approaches to Alleviate Its Adverse Effects. Plants. 10: 259.

Schiermeier. Q. 2014. The parched planet: water on tap. Nature 510:326– 328. Doi: 10.1038/510326a.

Sorrentino, M., Colla, G., Rouphael, Y., Panzarová, K. and Trtílek, M., 2020. Lettuce reaction to drought stress: automated high-throughput phenotyping of plant growth and photosynthetic performance. Acta Horticulturae. 1268https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2020.1268.17. Proc. XI Int. Symp. on Protected Cultivation in Mild Winter Climates and I Int. Symp. On Nettings and Screens in Horticulture Eds.: J.A. Fernández et al., ISHS.

Thompson, R.B., Gallardo, M., Valdez, L.C. and Fernández, M.D. 2007. Determination of Lower Limits for Irrigation Management Using in Situ Assessments of Apparent Crop Water Uptake Made with Volumetric Soil Water Content Sensors. Agricultural Water Management. 92: 13–28.

Villa e Vila, V., Marques, P.A.A., Gomes, T.M., Nunes, A.F., Montenegro, V.G., Wenneck, G.S. and Franco, L.B. 2024. Deficit Irrigation with Silicon Application as Strategy to Increase Yield, Photosynthesis and Water Productivity in Lettuce Crops. Plants. 13: 1029. https://doi.org/10.3390/plants13071029.

Vurukonda, S.S.K.P., Vardharajula, S., Shrivastava, M. and Sk, Z.A. 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. Microbiological Research. 184:13–24.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.1, Vol. 19, Apr.-May. 2025, p. 145-159

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۹، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۵۹-۱۴۵

The effect of Planting Bed and Low Irrigation on the Morphological, Physiological and Yield Characteristics of Lettuce Plant in Controlled Conditions

M. Goldani[1], S. F. Fazeli Kakhaki[2]*
Recived: Dec.09, 2024 Accepted: Feb.02, 2025

Abstra

In order to investigate the effect of planting bed and low irrigation on some morphological, physiological and yield characteristics of lettuce, an experiment was carried out in factorial management base on completely randomized design in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad in 2024. The first factor was planting bed in three levels (control, leaf soil and peat moss) and the second factor was three low irrigation treatments (irrigation at 75%, 55% and 35% FC). The results showed that the highest yield (281 g.plant^{-1}) was obtained in the treatment of peat moss and 75% FC. In peat moss planting bed, reducing the amount of available water to 55% FC and 35% FC, the amount of yield and plant height was higher than the two types of planting bed, control and leaf soil. The lowest yield (125 g.plant^{-1}) was obtained from the control planting bed treatment at 35%FC irrigation treatment. In peat moss planting bed at 35%FC stress level, p_n value was more than 11.5 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1}, while in other two planting beds, the photosynthesis value was less than 10 µmolCO_2 m^{-2} s^{-1}. The highest amount of gs was obtained in peat moss planting bed and 75% FC irrigation level, and the lowest value was obtained in control planting bed and 35% FC irrigation level, respectively. The highest amount of RWC (87.7%) was obtained from peat moss and 75% FC irrigation treatment. It seems that the use of peat moss organic planting medium in moderate irrigation treatments can have a conventional plant yield.

Keywords: Photosynthesis, RWC, Stomatal conductance, Yield

1 - Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
2 - Associate Professor, Department of Soil, Water and Natural Resources, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Mashhad, Iran
(*- Corresponding author: sf_fazeli@yahoo.com)