فرآیند و کارکرد گیاهی، جلد ۱۲، شماره ۵۴، خرداد و تیرماه ۱۴۰۲ صفحه: ۱-۲۰

مقاله پژوهشی

بررسی پاسخ بیوشیمیایی، رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا به منابع کود در شرایط کم آبیاری

افسانه رحیمی[۱]، لیلا جعفری*[۲] و فرزین عبدالهی[۲]

[۱] گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

[۲] گروه علوم باغبانی و عضو هسته پژوهشی مدیریت اصلاح و تولید گیاه در شرایط تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

(تاریخ دریافت:۱۴۰۱/۰۹/۰۹، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۲/۰۱/۲۶)

چکیده

یکی از راهکارهای افزایش تحمل گیاهان به شرایط تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، بهبود روند دریافت عناصر غذایی توسط گیاهان است. روکولا با نام علمی ***Eruca vesicaria* subsp. *sativa* Mill.** به عنوان سبزی برگی در استان هرمزگان کشت می‌شود. با توجه به محدودیت منابع آب در این استان و نقش تغذیه در افزایش تحمل سبزی‌ها به تنش خشکی این پژوهش جهت بررسی پاسخ بیوشیمیایی، رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا به منابع کود در شرایط کم آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با ۱۲ تیمار و سه تکرار در گلخانه دانشگاه هرمزگان انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری به عنوان عامل اصلی (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید) و کاربرد کودهای مختلف به عنوان عامل فرعی (شاهد، کود اوره، ورمی‌کمپوست و کود گاوی) بودند. نتایج نشان داد که تمام صفات بیوشیمیایی شامل میزان کلروفیل و کارتنوئید، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و میزان مالون دی‌آلدهید، صفات رویشی و عملکرد شامل ارتفاع بوته، طول و قطر ریشه، وزن تر ریشه و اندام هوایی، عملکرد اقتصادی تر و کارایی نیتروژن و آب روکولا به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر اثر اصلی آبیاری قرار گرفتند. درحالی‌که اثر اصلی کود بر آنزیم پراکسیداز، ارتفاع بوته و قطر ریشه معنی‌دار نشد. در اغلب موارد کارایی کودهای آلی در مقایسه با اوره بیشتر بود. به‌طوری‌که کاربرد ورمی‌کمپوست باعث افزایش فعالیت کاتالاز در شرایط کم‌آبیاری شدید و متوسط به‌ترتیب به‌میزان ۲۳/۳ و ۲۹/۹ درصد شد. کم آبیاری متوسط و شدید و همچنین کاربرد کود باعث افزایش کارایی مصرف آب در روکولا شد. در هر سطح کود، کم آبیاری شدید باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با آبیاری کامل و کم آبیاری متوسط شد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری شدید کاربرد کود گاوی باعث افزایش عملکرد اقتصادی تر روکولا به‌میزان ۵۲/۰ درصد در مقایسه با شاهد شد. در مجموع بیشترین عملکرد تر اقتصادی در شرایط آبیاری کامل و کاربرد کود اوره یا گاوی بدست آمد. بنابراین با توجه به محدودیت منابع آب در استان هرمزگان، کاربرد کود می‌تواند باعث بهبود عملکرد روکولا در شرایط کم‌آبیاری می‌شود.

کلمات کلیدی: آرگولا، اوره، تنش خشکی، کود آلی

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: leila@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

مقدمه

روکولا (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa* Mill.) (آرگولا) گیاهی یکساله و دارای رشد رویشی سریع از خانواده Brassicaceae است که این گیاه در حال حاضر در بسیاری از نقاط جهان به‌صورت تجاری کشت می‌شود. برگ این گیاه به‌دلیل داشتن مقادیر بالای ویتامین‌های A و C، پتاسیم و آهن ارزش غذایی بالایی دارد و به همین دلیل در مناطق مختلف دنیا از برگ آن به‌عنوان سبزی استفاده می‌کنند (Freitas *et al.*, 2017).

بیشتر گیاهان در معرض تنش‌های غیرزیستی مختلفی قرار دارند، از جمله این تنش‌ها؛ تنش خشکی، سرما، گرما و تنش دمایی است. تنش خشکی و کم‌آبیاری با تأثیر منفی بر رنگیزه‌های گیاهی برگ، محتوای رطوبت نسبی برگ، هدایت روزنه‌ای و در نتیجه ظرفیت فتوسنتزی، باعث کاهش عملکرد اقتصادی سبزی‌های مختلف از جمله سبزی‌های برگی می‌شود (Parkash and Singh, 2020). همچنین در اثر کاهش رطوبت ناشی از تنش‌های مذکور، خاک قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی برای گیاهان محدود می‌شود که این موضوع کاهش عملکرد از طریق کاهش فتوسنتز و تولید مواد پرورده را به‌دنبال خواهد داشت (Dalal and Tripathy, 2018).

استفاده بهینه از منابع آب در کشاورزی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است به‌طوری‌که اجرای روش‌های کم آبیاری به‌عنوان یک راهکار بهینه برای دستیابی به حداکثر تولید محصولات زراعی در شرایط محدودیت منابع آب مطرح است. در سال‌های اخیر این روش در راستای افزایش سطح زیرکشت و به حداکثر رساندن یا تثبیت تولید محصولات زراعی مختلف از جمله سبزی‌های برگی در نقاط مختلف جهان به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گرفته است (Abdelkhalik *et al.*, 2019). اخیراً گزارش شده است که بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه می‌تواند به‌عنوان یکی از راهکارهای اصلی برای کاهش اثرات منفی تنش خشکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطرح باشد (Yang *et al.*, 2021). از طرف دیگر تغذیه گیاهی از طریق تعدیل پاسخ‌های بیوشیمیایی و متابولیکی باعث افزایش و بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی سبزیجات برگی می‌شود (Deng *et al.*, 2019).

از آنجا که کاربرد کودهای شیمیایی اثرات مخرب بر محیط زیست به ویژه آب و خاک دارد لذا امروزه برای رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار و حذف اثرات مخرب بر محیط زیست کودهای شیمیایی، توجه ویژه‌ای به کاربرد کودهای آلی و زیستی شده است (Musyoka, 2017). در رابطه با تأثیر کودهای آلی و شیمیایی بر روکولا در شرایط طبیعی و تنش خشکی مطالعات کمی انجام شده است. گزارش شده که کاربرد نیتروژن یکی از عوامل اصلی در افزایش تولید برگ (محصول اقتصادی) روکولا بوده و باعث افزایش میزان اسیدهای آمینه، پروتئین، فعالیت آنزیم‌ها و میزان کلروفیل برگ روکولا می‌شود (Benett *et al.*, 2019). نتایج پژوهش Ali و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی نقش بیشتری در بهبود ویژگی‌های رویشی، بیوشیمیایی و عملکرد روکولا دارند. در این مطالعه بیشترین عملکرد اقتصادی برگ با کاربرد کمپوست به‌دست آمد (Ali *et al.*, 2020). در پژوهشی که توسط Matos و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد تأثیر کودهای آلی مختلف از جمله کود گاوی و ورمی‌کمپوست بر رشد و عملکرد گیاه روکولا در مقایسه با مقادیر مختلف نیتروژن شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت در این مطالعه اگر چه بیشترین رشد رویشی گیاه روکولا هنگام کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد ولی در مجموع کود گاوی بهترین تیمار کودی برای تولید محصول روکولا تعیین شد. در پژوهش دیگر Mantovani و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کردند که روکولا به کاربرد کود گاوی پاسخ مثبت نشان می‌دهد به‌طوری‌که با افزایش کاربرد این کود، عملکرد روکولا به‌طور معنی‌دار در مقایسه با سایر سبزی‌های مورد مطالعه افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر نشان داده شد که افزایش کود نیتروژن باعث بهبود رشد و عملکرد روکولا می‌شود درحالی‌که این صفات تحت تأثیر نوع منبع نیتروژن (اوره یا اوره پوشش‌دار) قرار نگرفت (Benett *et al.*, 2019). در مطالعه‌ای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

که توسط عبدالهی و همکاران (۱۴۰۱) برای بررسی تأثیر کودهای آلی بر ویژگی‌های کمی و کیفی ترب سفید (*Rhaphanus sativus*) انجام شد کاربرد کود باعث افزایش رنگیزه‌های گیاهی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کارایی فتوسیستم II در شرایط تنش خشکی شد. در این مطالعه کمترین میزان پراکسیداسیون لیپید با کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

در استان هرمزگان روکولا به صورت کشت محلی به عنوان یکی از سبزی‌های برگی بومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. آمار رسمی در مورد سطح کشت این گیاه در کشور و استان هرمزگان در دسترس نیست. کشاورزان این منطقه اغلب جهت تولید این گیاه فقط از کود گاوی استفاده می‌کنند و از سایر منابع کودی کمتر بهره می‌برند. با توجه به محدودیت منابع آبی در این استان و با توجه به اینکه تغذیه در بهبود تولید سبزی‌ها در شرایط محدودیت منابع آبی نقش کلیدی ایفا می‌کند، لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر منابع مختلف کود بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی گیاه روکولا در شرایط کم آبیاری در شرایط استان هرمزگان انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر منابع مختلف کود بر ویژگی‌های بیوشیمیایی، رویشی و عملکرد روکولا در شرایط کم‌آبیاری، آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان واقع در کیلومتر ۹ جاده بندرعباس- میناب، با مختصات ۲۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ۵۷ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی، انجام شد. پوشش گلخانه از جنس پلاستیک بود و گیاهان در شرایط نوری ۱۲ ساعت روشنایی (با استفاده از لامپ LED) و ۱۲ ساعت تاریکی و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رشد کردند. این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایش شامل آبیاری به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید) و کود به عنوان عامل فرعی در چهار سطح شاهد (بدون کاربرد کود)، کود اوره، ورمی‌کمپوست و کود گاوی بود که میزان مصرف منابع کودی براساس ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار با در نظر گرفتن میزان نیتروژن موجود در هر کدام از کودهای مصرفی محاسبه شد (جدول ۱).

قبل از کاربرد کود، نمونه‌ای از آن جهت تعیین میزان نیتروژن موجود و در نتیجه محاسبه میزان کود مصرفی و نمونه خاک گلخانه جهت تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه کیفیت آزمای جنوب واقع در بندرعباس منتقل گردید که نتایج آن در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. نیتروژن کل با روش کجلدال اندازه‌گیری شد. کودهای آلی در آزمایش به‌صورت مخلوط در خاک قبل از کشت استفاده شد. نیمی از کود اوره قبل از کاشت و نیم دیگر دو هفته پس از کاشت و در مرحله چهاربرگی گیاه بکار رفت. بذرهای گیاه روکولا از شرکت Rocalba اسپانیا تهیه شد و با فاصله ۱۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۲۰ سانتی‌متر بین ردیف با تراکم ۵۰ بوته در متر مربع در کرت‌هایی مسطح با ابعاد ۱۰۰ × ۷۵ سانتی‌متر در ۲۷ مهرماه ۱۳۹۹ به‌وسیله دست کشت گردید.

جهت آبیاری گیاهان روکولا از روش آبیاری قطره‌ای نواری (تی‌تیپ)، استفاده شد. گیاهان تا دو هفته پس از کشت (مرحله چهار برگی) به‌منظور استقرار بهتر هر روز آبیاری شدند. برای اعمال تیمارهای آبیاری، حجم آب آبیاری تیمار شاهد، تیمارهای تنش خشکی متوسط و شدید به‌ترتیب براساس تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبت سهل‌الوصول، با اندازه‌گیری رطوبت خاک و با توجه به عمق توسعه ریشه روکولا محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحات فشاری استفاده گردید. درصد رطوبت حجمی خاک از حاصل-ضرب درصد رطوبت وزنی در وزن مخصوص ظاهری خاک به‌دست آمد. عمق و حجم آب آبیاری در هر نوبت به‌صورت معادلات زیر محاسبه گردیده است:

$$\theta_{TAW} = \theta_{FC} - \theta_{PWP} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\theta_{RAW} = \theta_{TAW} \times MAD \quad \text{رابطه (۲)}$$

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۱- محاسبات تعیین مقدار کود مصرفی براساس درصد نیتروژن هر کود و درصد عناصر غذایی کودهای آلی

کود	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	کیلوگرم کود مصرفی در هکتار بر مبنای ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص	آهن	روی	منگنز
	(درصد)				(قسمت در میلیون)		
اوره	۴۶	–	–	۳۲۶/۰۹	–	–	–
دامی (گاوی)	۰/۹۵	۳/۲۵	۱/۳۶	۱۵۷۸۹/۴۷	۶۲۵۸	۱۸۲/۵	۴۲۱/۸
ورمی‌کمپوست	۱/۵۳	۱/۰۸	۰/۸۸	۹۸۰۳/۹۲	۷۰۴۴	۱۷۴/۲	۶۱۱/۶

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک گلخانه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر

کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل‌دسترس	پتاسیم قابل‌دسترس	روی	آهن	منگنز	مس	pH	هدایت الکتریکی	بافت
درصد		میلی‌گرم بر کیلوگرم							دسی‌زیمنس بر متر	
۰/۲۹	۰/۰۳	۵/۷۸	۶۰۸/۱۵	۰/۷۵	۸/۵	۵/۹	۰/۹	۷/۵۹	۱/۶۵	سیلتی- لوم

رابطه (۳) $d = \theta_{RAW} \times D_{rz}$

رابطه (۴) $V = d \times A$

در روابط بالا θ_{TAW}، θ_{FC}، θ_{PWP} و θ_{RAW} به‌ترتیب کل آب قابل دسترس برای گیاه، رطوبت حجمی در حالت ظرفیت مزرعه، رطوبت حجمی در حالت نقطه پژمردگی دائم و آب سهل‌الوصول برای گیاه هستند. MDA: حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی که براساس دستورالعمل فائو ۵۶ در نظر گرفته شد. D_{rz}: عمق ریشه روکولا (میلی‌متر) d: عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، A: سطح هر کرت آزمایشی (مترمربع) و V: حجم آب آبیاری (لیتر) می‌باشند.

جهت انجام دقیق تیمارهای کم آبیاری در هر دوره آبیاری دبی ورودی به هر لوله فرعی با استفاده از روش حجمی محاسبه می‌گردید و با استفاده از رابطه (۵) زمان دقیق آبیاری محاسبه می‌گردید:

رابطه (۵) $t = (V/Q) / 3600$

در رابطه بالا t زمان آبیاری (ساعت) و Q دبی ورودی به لوله فرعی (لیتر بر ثانیه) است. عمق توسعه ریشه و حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی روکولا براساس دستورالعمل فائو ۵۶ به‌ترتیب اعداد ۰/۵ و ۰/۳ در نظر گرفته شد (Allen *et al.*, 1998). اعمال تیمارهای آبیاری تا دو ماه پس از کاشت (تا زمان برداشت محصول) ادامه یافت.

ارزیابی ویژگی‌های بیوشیمیایی: در انتهای آزمایش و یک روز قبل از برداشت محصول، برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های گیاهی در ابتدا میزان ۰/۵ گرم برگ تازه روکولا را به همراه مقداری نیتروژن مایع در هاون چینی به صورت کامل پودر کرده و سپس در لوله اپندروف، ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به مواد ساییده شده اضافه و در انتها به دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۸۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه منتقل گردید. عصاره روشناور حاصل از سانتریفیوژ با استفاده از سمپلر ۱۰۰۰ ماکرولیتر به کووت منتقل و با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر مدل CE 2501, Cecil طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر خوانده شد سپس میزان کلروفیل a و b و کاروتنوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با روش آرنون محاسبه شد (Arnon, 1967). مجموع کلروفیل a و b به‌عنوان کلروفیل کل در نظر گرفته شد.

جهت ارزیابی فعالیت آنزیم‌ها، حدود ۹ هفته پس از کاشت (در تاریخ ۳۰ آذرماه ۱۳۹۹) و یک روز قبل از برداشت محصول، به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی ۱۵ برگ جوان توسعه‌یافته جهت اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

پراکسیداز و همچنین پراکسیداسیون لیپید (براساس تولید مالون دی‌آلدهید) برداشت شد. ابتدا ۰/۵ گرم برگ برای هر تیمار در هاون با نیتروژن مایع به‌خوبی ساییده شد و سپس با ۱۰ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۱۰۰ میلی‌مولار (pH = ۷/۰) همگن شد. نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه در سانتریفیوژ با ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Wang *et al.*, 2018). پس از سانتریفیوژ نمونه‌ها، از محلول شفاف رویی برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌ها استفاده شد. فعالیت آنزیم کاتالاز براساس میزان کاهش جذب نور ناشی از تجزیه مولکول پراکسید هیدروژن در طول‌موج ۲۴۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل CE 2501 Cecilj ارزیابی شد (Wang *et al.*, 2018). فعالیت پراکسیداز براساس میزان افزایش جذب نور ۴۷۰ نانومتر ناشی از اکسیداسیون گایاکول توسط اسپکتروفتومتر و با روش Wang و همکاران (۲۰۱۸) ارزیابی شد. سنجش میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با براساس تشکیل مالون دی‌آلدهید حاصل از پراکسیداسیون لیپیدهای غشا با تیوباربیتوریک اسید (TBA) انجام شد (Jambunathan, 2010).

ارزیابی ویژگی‌های رویشی و عملکرد: در تاریخ اول بهمن ماه ۱۳۹۹ (۶۳ روز پس از کاشت) برای اندازه‌گیری صفات رویشی و عملکرد، به‌طور تصادفی پنج بوته از هر واحد آزمایشی برداشت شد و پس از شستشوی بوته‌ها، طول ریشه، اندام هوایی، وزن تر برگ و کل بوته‌ها به‌دست آمد. وزن تر برگ به‌عنوان عملکرد تر اقتصادی در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری طول ریشه، ابتدا با بیلچه خاک اطراف هر بوته کنار زده شد و بوته‌ها از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک خارج شدند. بعد از برش ریشه از محل طوقه استفاده از یک خط‌کش طول ریشه از محل طوقه تا مریستم رأسی نوک ریشه اندازه‌گیری شد. از محل طوقه تا انتهای بزرگترین برگ به‌عنوان ارتفاع بوته محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری وزن تر، ساقه و کل بوته‌ها، بعد از برداشت تمام بوته‌های هر واحد آزمایشی، نمونه‌ها به آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه هرمزگان منتقل گردید. سپس با استفاده از ترازوی دیجیتال با ضریب دقت ۰/۰۰۰۱ نمونه‌های تازه برگ و ریشه (بعد از شستشو و آبگیری) به صورت جداگانه وزن گردید.

محاسبه کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب: برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، از روش Katroschan و همکاران (۲۰۱۴) که برای سبزی‌های برگی ارائه کرده است، استفاده شد. در این روش وزن تر اندام هوایی به عنوان عملکرد اقتصادی در نظر گرفته می‌شود و کارایی مصرف نیتروژن حاصل تقسیم عملکرد اقتصادی تر به مقدار نیتروژن مصرفی در هکتار و به صورت کیلوگرم بر کیلوگرم است.

به منظور اندازه‌گیری کارایی مصرف آب از روش Campos Junior و همکاران (۲۰۱۸) استفاده شد. در این روش پس از اندازه‌گیری حجم آب مصرفی در هر واحد آزمایشی با استفاده از رابطه ۴، کارایی مصرف آب از تقسیم عملکرد اقتصادی تر به حجم آب مصرف به صورت کیلوگرم بر لیتر بدست آمد.

تجزیه آماری داده‌های یادداشت‌برداری شده با نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام شد. میانگین‌های صفات ارزیابی شده با آزمون دانکن در سطح آماری پنج درصد مقایسه شدند. درنهایت ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS برآورد شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و کود بر ویژگی‌های بیوشیمیایی روکولا: نتایج جدول ۳ نشان داد که اثر کم آبیاری بر تمام صفات بیوشیمیایی باستثناء نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید در سطح یک درصد معنی‌دار شد. اثر نوع کود بر پراکسیداز برگ معنی‌دار نبود درحالی‌که کلروفیل a، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید، کاتالاز و مالون دی‌آلدهید در سطح ۵ درصد و سایر صفات بیوشیمیایی در سطح یک درصد تحت تأثیر این عامل قرار گرفتند (جدول ۳). برهمکنش آبیاری و کود بر کلروفیل b، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید و کاروتنوئید معنی‌دار نشد درحالی‌که مالون دی-آلدهید در سطح پنج و سایر صفات در سطح آماری یک درصد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم آبیاری و کود بر ویژگی‌های بیوشیمیایی روکولا

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b
بلوک	۲	۰/۱۷*	۰/۰۵**	۰/۳۳**	۰/۶۲**
کم آبیاری	۲	۰/۶۴**	۰/۰۶**	۱/۱۳**	۰/۲۶**
خطای اصلی	۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۷
کود	۳	۰/۱۶*	۰/۰۶**	۰/۷**	۰/۰۶**
آبیاری × منابع نیتروژن	۶	۰/۳۴**	۰/۰۰۰۷ns	۰/۱۰**	۰/۳۱**
خطای فرعی	۱۸	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۴
ضریب تغییرات		۱۵/۰۹	۶/۵۵	۵/۸۹	۳/۷۱

****، * و n.s به‌ترتیب معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری آماری**

ادامه جدول ۳-

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		کاروتنوئید	نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید	کاتالاز	پراکسیداز	مالون دی‌آلدهید
بلوک	۲	۰/۱۶	۰/۲۳	۵۴۳۱۸/۵۲	۲/۱۲	۰/۰۳
کم آبیاری	۲	۰/۵۸**	۱/۰۲*	۵۱۲۲۷/۴۸**	۲/۶**	۰/۰۱**
خطای اصلی	۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷	۲۴۹۹/۴۶	۰/۰۱	۰/۰۰۰۲
کود	۳	۰/۳۶**	۱/۲۳*	۳۲۳۷۰/۸۲*	۰/۱۴ns	۰/۰۰۳*
آبیاری × منابع نیتروژن	۶	۰/۰۰۴ns	۰/۰۰۵ns	۹۳۲۲/۸۹ns	۱/۱**	۰/۰۰۴*
خطای فرعی	۱۸	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۷۳۰۰/۳۸	۰/۰۶	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات		۱۵/۳۹	۱۷/۱۴	۱۶/۷۴	۱۱/۰۱	۴/۰۴

****، * و n.s به‌ترتیب معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری آماری**

به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر این برهمکنش قرارگرفتند (جدول ۳).

اثر اصلی کم آبیاری و کود بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه روکولا: نتایج جدول مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که شاخص کلروفیل b، کاروتنوئید، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید و فعالیت آنزیم کاتالاز برگ روکولا به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر مقادیر کم آبیاری قرار گرفت به‌طوری‌که با کاهش حجم آبیاری میزان کلروفیل b، کاروتنوئید و نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید به‌طور معنی‌دار کاهش یافت درحالی‌که در این شرایط فعالیت کاتالاز به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین (۰/۷) و کمترین (۰/۵ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر) میزان کلروفیل b به‌ترتیب در آبیاری ۱۰۰ درصد و کم‌آبیاری شدید به‌دست آمد. همچنین این نتایج نشان داد که کم‌آبیاری متوسط و شدید باعث کاهش کلروفیل b به‌ترتیب به‌میزان ۱۱/۴ و ۲۲/۴ درصد در مقایسه با شاهد شد (جدول ۴). مشابه این نتایج، رضایی چیانه و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) به محدودیت آب، اظهار داشتند که با کاهش سطح آبیاری غلظت کاروتنوئید و کلروفیل b برگ به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد. از طرف دیگر در شرایط محدودیت

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر مقادیر کم‌آبیاری و منابع مختلف نیتروژن بر ویژگی‌های بیوشیمیایی روکولا

عوامل آزمایشی	کلروفیل b برگ	کاروتنوئید	نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید	کاتالاز برگ
	میلی‌گرم بر گرم وزن تر			میکرومول بر گرم وزن تر
کم آبیاری				
شاهد (آبیاری کامل)	۰/۷۰ a	۱/۵۴a	۱/۴۵a	۴۳۹/۹۶b
متوسط	۰/۶۲ b	۱/۲۸b	۱/۳۹b	۵۴۷/۵۴a
شدید	۰/۵۵ c	۱/۱۰c	۱/۳۴c	۵۴۸/۷۱a
کود				
بدون کود	۰/۵۰ c	۱/۰۱b	۱/۲۵c	۴۶۵/۴۰b
ورمی‌کمپوست	۰/۶۹ a	۱/۳۷a	۱/۳۵b	۵۵۳/۶۹ab
کود گاوی	۰/۶۵ b	۱/۳۸a	۱/۴۱a	۵۸۹/۸۴a
اوره	۰/۶۴ b	۱/۴۷a	۱/۴۱a	۴۷۲/۶۷b

در هر عامل میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

آب در اثر افزایش فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی کاهش می‌یابد (Arbona *et al.*, 2017). همچنین در این شرایط در اثر افزایش رادیکال آزاد اکسیژن تخریب کلروفیل افزایش می‌یابد (Ajithkumar and Panneerselvam, 2014). از طرف دیگر ثابت شده در شرایط تنش خشکی، میزان تخریب کلروفیل در مقایسه با کاروتنوئید بیشتر است و این موضوع باعث کاهش نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید می‌شود (Ashrafi *et al.*, 2018). در تأیید نتایج این پژوهش مبنی بر تأثیر مثبت تنش خشکی بر فعالیت آنزیمی، گزارش شده که تنش خشکی باعث افزایش آنزیم کاتالاز در گیاهان مختلف می‌شود (Sun *et al.*, 2020).

کاربرد کود باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل b در مقایسه با شاهد بدون کود شد. بیشترین میزان این شاخص (۰/۶۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که با سایر مقادیر کودی تفاوت معنی‌دار داشت. کاربرد هر سه کود به‌طور مشابه باعث افزایش معنی‌دار کاروتنوئید در مقایسه با شاهد بدون کود گردید. بیشترین میزان کاروتنوئید (۱/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد کود اوره به‌دست آمد. با مصرف کود نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید بطور معنی‌دار در مقایسه با شاهد بدون کود افزایش یافت. بیشترین میزان این نسبت (۱/۴۱) مربوط به کودهای اوره و گاوی بود. اگر چه کاربرد کود باعث افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در مقایسه با شرایط بدون کود شد ولی این افزایش فقط برای کود گاوی معنی‌دار شد (جدول ۴). در مجموع کاربرد ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به‌ترتیب باعث افزایش کلروفیل b به‌میزان ۳۸، ۳۰ و ۲۸ درصد، کاروتنوئید به میزان ۳۵/۶، ۳۶/۶ و ۴۵/۵ درصد، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید به میزان ۸/۰، ۱۱/۸ و ۱۱/۸ درصد و فعالیت کاتالاز به‌میزان ۱۹/۰، ۲۶/۷ و ۱/۶ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کود گردید (جدول ۴). عبدالهی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که منابع آلی نیتروژن در مقایسه با اوره در افزایش کلروفیل b و فعالیت کاتالاز ترب سفید مؤثرتر هستند. از طرف دیگر همچنین در تأیید این نتایج گزارش شده است که کودهای آلی، به‌دلیل دارا بودن نیتروژن آمونیومی (Fungo *et al.*, 2019) در افزایش فعالیت آنزیم‌های گیاهی از جمله کاتالاز نقش بیشتری در مقایسه با کودهای معدنی (از جمله اوره) دارند (Rios-Gonzalez *et al.*, 2002).

اثر برهمکنش کود و کم آبیاری بر ویژگی‌های

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۵- اثر برهمکنش کود و کم آبیاری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاه روکولا

کم‌آبیاری	کود	کلروفیل a	کلروفیل کل	نسبت کلروفیل a/b برگ	پراکسیداز	مالون دآلدهید
			میلی‌گرم بر گرم وزن تر		نانو مول بر گرم وزن تر	میکرو مول بر گرم وزن تر
شاهد (آبیاری کامل)	بدون کود	۱/۱۸^{bc}	۱/۷۷^{cde}	۱/۹۸^{abc}	۱/۳۹^{e}	۰/۲۲^{e}
	ورمی‌کمپوست	۱/۴۶^{ab}	۲/۱۸^{ab}	۲/۰۴^{a}	۱/۹۱^{cd}	۰/۲۲^{e}
	کود دامی	۱/۴۵^{ab}	۲/۱۶^{b}	۲/۰۳^{ab}	۱/۶۹^{de}	۰/۲۳^{de}
	اوره	۱/۵۸^{a}	۲/۳۵^{a}	۲/۰۵^{a}	۱/۶۸^{de}	۰/۲۴^{d}
متوسط	بدون کود	۰/۸۳^{ed}	۱/۳۲^{f}	۱/۵۷^{g}	۱/۹۴^{cd}	۰/۲۶^{c}
	ورمی‌کمپوست	۱/۲۲^{bc}	۱/۸۷^{cd}	۱/۹۰^{cd}	۲/۵۲^{b}	۰/۲۴^{d}
	کود دامی	۱/۲۳^{bc}	۱/۸۸^{cd}	۱/۹۲^{bcd}	۲/۲۴^{bc}	۰/۲۴^{d}
	اوره	۱/۲۷^{bc}	۱/۹۴^{c}	۱/۸۷^{cd}	۲/۲۱^{bc}	۰/۲۶^{c}
شدید	بدون کود	۰/۶۴^{e}	۱/۰۵^{g}	۱/۶۸^{fg}	۲/۵۷^{b}	۰/۳۲^{a}
	ورمی‌کمپوست	۱/۰۳^{cd}	۱/۵۹^{e}	۱/۸۰^{def}	۳/۱۷^{a}	۰/۲۷^{c}
	کود دامی	۱/۰۷^{cd}	۱/۶۵^{e}	۱/۸۲^{de}	۲/۶۹^{ab}	۰/۲۶^{c}
	اوره	۱/۰۹^{cd}	۱/۷۳^{de}	۱/۷۳^{ef}	۲/۶۲^{b}	۰/۲۹^{b}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

بیوشیمیایی گیاه روکولا: نتایج جدول ۵ نشان داد که کم آبیاری باعث کاهش میزان کلروفیل‌های a و کل در مقادیر کودی مختلف شد و این کاهش در شرایط بدون کاربرد کود بیشتر بود. به‌طوری‌که کم‌آبیاری شدید در شرایط عدم کاربرد کود، کاربرد ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به‌ترتیب باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a به‌ترتیب به‌میزان ۴۵/۸، ۲۹/۵، ۲۶/۲ و ۳۱/۰ درصد و کلروفیل کل به‌ترتیب به‌میزان ۴۰/۷، ۲۷/۱، ۲۳/۶ و ۲۶/۴ درصد در مقایسه با شرایط بدون کم‌آبیاری شد.

در تمام مقادیر کم آبیاری، کاربرد کود باعث افزایش کلروفیل a و کل در مقایسه با شرایط بدون کود شد هر چند که در اغلب موارد (به استثناء کلروفیل کل در شرایط بدون کم آبیاری) بین مقادیر مختلف کود از این نظر تفاوت معنی‌دار مشاهده نگردید. افزایش کلروفیل a در شرایط بدون کم‌آبیاری (شاهد) فقط هنگام کاربرد اوره معنی‌دار شد اما در کم‌آبیاری متوسط و شدید هر سه کود باعث افزایش معنی‌دار این شاخص در مقایسه با شرایط بدون کود شد. درحالی‌که کاربرد کود باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل کل در هر سه سطح کم‌آبیاری گردید. در مجموع بیشترین میزان کلروفیل a (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل کل (۲/۳۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) با کاربرد اوره در شرایط بدون کم‌آبیاری به‌دست آمد. مشابه این نتایج، مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش میزان کلروفیل a، کل و سایر رنگیزه‌های گیاهی می‌شود (عبدالهی و همکاران ۱۴۰۱؛ Wu *et al*., 2008; Chen *et al*., 2016).

بررسی تغییرات نسبت کلروفیل a/b برگ روکولا نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار این نسبت می‌شود (جدول ۵). مشابه این نتایج Yuan و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان دادند که تنش خشکی از طریق کاهش بیشتر میزان کلروفیل a در مقایسه با کلروفیل b باعث کاهش نسبت کلروفیل a/b در گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* cv. Jinfen 2.) می‌شود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

کاربرد ورمی‌کمپوست و کود گاوی در جلوگیری از کاهش نسبت کلروفیل a/b در شرایط کم آبیاری شدید در مقایسه با کود اوره مؤثرتر بودند. به‌طوری‌که عدم کاربرد کود، کاربرد ورمی کمپوست، کود گاوی و اوره در شرایط کم آبیاری شدید، باعث کاهش این نسبت به‌ترتیب به میزان ۱۵/۲، ۱۱/۸، ۱۰/۳ و ۱۵/۶ درصد در مقایسه با شاهد بدون کم آبیاری شد (جدول ۵). افزایش نسبت کلروفیل a/b با تحمل گیاه به شرایط تنش خشکی همبستگی مثبت دارد (Pirnajmedin *et al*., 2015) و این نسبت از عوامل مؤثر در کارایی فتوسنتز هنگام وقوع تنش‌های محیطی بوده و در نتیجه میزان فتوسنتز و تولید مواد پرورده گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به‌طوری‌که افزایش نسبت کلروفیل a/b باعث کاهش اندازه کمپلکس برداشت نور در فتوسیستم II شده و منجر به ایجاد توازن جریان الکترون در فتوسیستم II و تهییج فتوسیستم I توسط انرژی نور خورشید می‌گردد (Guo *et al*., 2016). لذا به‌نظر می‌رسد کاربرد کود به ویژه ورمی‌کمپوست و کود گاوی از طریق جلوگیری از کاهش این شاخص، باعث بهبود تحمل روکولا در شرایط کم آبیاری شده است.

کم آبیاری متوسط و شدید باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در مقایسه با شاهد در مقادیر مختلف کود شد که در اغلب موارد این افزایش معنی‌دار بود (جدول ۵). مشابه این نتایج Rao و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که یکی از راهکارهای مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی در گیاهان، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پراکسیداز است. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی این آنزیم با پاک‌کردن گونه‌های فعال اکسیژن، موجب کاهش اثرات منفی پراکسیداسیون ساختار سلولی به‌ویژه غشاء سلولی می‌شود (Vicuna, 2005). از طرف دیگر کاربرد هر یک از کودها باعث افزایش فعالیت پراکسیداز در هر سه سطح آبیاری شد و بیشترین افزایش مربوط به ورمی‌کمپوست بود. به‌طوری‌که این کود در شرایط بدون کم آبیاری، کم‌آبیاری متوسط و شدید باعث افزایش معنی‌دار فعالیت این آنزیم به‌ترتیب به‌میزان ۳۷/۴، ۲۹/۹ و ۲۳/۳ درصد در مقایسه با شاهد بودن کود گردید (جدول ۵). در تأیید این نتایج، Mirjalili و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند کاربرد کودهای آلی و معدنی از طریق بهبود ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز باعث بهبود تحمل گیاهان به کم‌آبی می‌شود. همچنین گزارش شده است که در حضور ورمی‌کمپوست جذب کلسیم توسط ریشه گیاه افزایش می‌یابد و به دلیل نقشی که این عنصر در بیوسنتز آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان از جمله پراکسیداز دارد، کاربرد این کود در شرایط تنش‌های محیطی موجب افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان مختلف از جمله روکولا می‌شود (Pant *et al*., 2009).

نتایج جدول ۵ نشان داد که کم‌آبیاری موجب افزایش معنی‌دار میزان مالون دآلدهید در تمام منابع نیتروژن در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری شد. این افزایش در شرایط کم‌آبیاری شدید برای شاهد بدون کود، ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به ترتیب ۴۵/۵، ۲۲/۷، ۱۳/۰ و ۲۰/۸ درصد بود. این نتایج نشان داد که در هر سطح کم‌آبیاری کاربرد کود باعث کاهش میزان مالون دآلدهید می‌شود طبق تحقیق احمدی‌پور و همکاران (۱۳۹۶) و عبدالهی و همکاران (۱۴۰۱)، با افزایش شدت کم‌آبیاری میزان مالون دآلدهید برگ افزایش می‌یابد به‌طوری‌که کمترین و بیشترین مقدار مالون دی آلدهید به‌ترتیب در شرایط بدون کم‌آبیاری و کم‌آبیاری شدید به‌دست آمد.

در بین کودهای مورد مطالعه، کودهای آلی در مقایسه با کود اوره در کاهش تولید مالون دآلدهید مؤثرتر بودند به‌طوری‌که میزان مالون دآلدهید برگ روکولا با کاربرد کود اوره به‌طور معنی‌دار بیشتر از ورمی‌کمپوست و کود گاوی بود (جدول ۵). در تأیید این نتایج، Illes و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که بهبود تغذیه از طریق افزایش کارآیی فتوسنتز گیاه، کاهش تولید رادیکال‌های آزاد و گونه‌های فعال اکسیژن، پراکسیداسون چربی غشاء را محدود کرده که این موضوع منجر به کاهش میزان مالون دی‌آلدئید تولید شده در شرایط تنش‌های محیطی می‌گردد. همچنین گزارش شده است که منابع آلی نیتروژن باعث افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و در نتیجه کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود که خود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر عوامل آزمایش بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		ارتفاع بوته	طول ریشه	قطر ریشه	وزن تر ریشه	وزن تر کل بوته
بلوک	۲	۹/۷۱	۰/۷۹	۰/۰۱۷	۰/۱۸۶	۱۲/۲۶
آبیاری	۲	۲۱۰/۲۹**	۳/۲**	۰/۰۱۳**	۰/۱۴۶**	۷۱/۵۹**
خطای اصلی	۴	۰/۹	۰/۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۴۵
کود	۳	۲۸/۸۸^{ns}	۷/۶۵**	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۳۰۹**	۵۶/۹۶**
آبیاری × کود	۶	۷۴/۲*	۱/۰۷**	۰/۰۰۰۵^{ns}	۰/۰۰۸^{ns}	۷۱/۱**
خطای فرعی	۱۸	۲۲/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۰۱	۰/۰۳۱	۶/۴۶
ضریب تغییرات		۱۶/۵۱	۲/۴۵	۱۵/۲۰	۱۴/۶۱	۱۷/۰۱

**، * و $^{n.s}$ به‌ترتیب معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری آماری

ادامه جدول ۶-

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عملکرد اقتصادی تر	نسبت عملکرد اقتصادی تر به وزن تر ریشه	کارایی مصرف نیتروژن	کارایی مصرف آب
بلوک	۲	۰/۲۹	۳/۱۵	۲/۲۱	۱۱/۰۲
آبیاری	۲	۲/۷**	۱۷/۱۹*	۴۱/۳۵**	۵۴/۳۶*
خطای اصلی	۴	۰/۰۲	۱/۲۰	۰/۷۸	۱/۴۱
کود	۳	۱/۰۹*	۲۹/۰۹*	۱۵/۱۵*	۱۲۸/۲۶**
آبیاری × کود	۶	۰/۹۲*	۶/۵۴^{ns}	۶۴/۸۵**	۱۶/۱۴^{ns}
خطای فرعی	۱۸	۰/۳۱	۴/۳۶	۱/۰۱	۸/۲۵
ضریب تغییرات		۲۰/۳۵	۹/۴۱	۱۱/۱۶	۱۴/۳۲

**، * و $^{n.s}$ به‌ترتیب معنی‌داری در سطح آماری ۱ درصد، ۵ درصد و عدم معنی‌داری آماری

باعث کاهش میزان پراکسیداسیون غشا و در نتیجه کاهش میزان مالون دآلدهید برگ می‌گردد (Rahimi *et al*., 2019).

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر کم آبیاری و کود بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا: نتایج جدول ۶ نشان داد که اثر اصلی آبیاری بر کارایی مصرف آب و نسبت عملکرد اقتصادی تر به وزن تر ریشه در سطح پنج درصد و بر سایر صفات رویشی، عملکرد و کارایی روکولا در سطح آماری یک درصد معنی‌دار شد. اثر کود بر ارتفاع بوته و قطر ریشه معنی‌دار نشد درحالی‌که اثر این عامل بر عملکرد اقتصادی تر، نسبت عملکرد اقتصادی تر به وزن تر ریشه و کارایی مصرف نیتروژن در سطح پنج درصد و بقیه صفات در سطح یک درصد معنی‌دار شد. برهمکنش آبیاری با کود بر ارتفاع بوته و عملکرد اقتصادی تر در سطح آماری پنج درصد و بر طول ریشه، وزن‌تر کل بوته و کارایی مصرف نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار شد درحالی‌که بر سایر صفات اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

اثر اصلی کم آبیاری و کود بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و کارایی مصرف آب گیاه روکولا: نتایج این مطالعه نشان داد که کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه در مقایسه با شرایط بدون کم‌آبیاری شد به‌طوری‌که کمترین میزان

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر مقادیر آبیاری و کود بر ویژگی‌های رویشی و عملکرد روکولا

عوامل آزمایشی	وزن تر ریشه گرم در متر مربع	نسبت وزن تر اقتصادی به وزن تر ریشه	کارایی مصرف آب گرم بر لیتر
کم آبیاری			
شاهد (آبیاری کامل)	۰/۲۱^{a}	۱۲/۸^{b}	۲۵/۴^{b}
متوسط	۰/۱۹^{b}	۱۴/۸^{a}	۲۸/۷^{a}
شدید	۰/۱۸^{b}	۱۴/۵^{a}	۲۸/۲^{a}
کود			
شاهد (بدون کود)	۰/۱۵^{b}	۱۲/۹^{b}	۲۴/۸^{b}
ورمی‌کمپوست	۰/۲۰^{a}	۱۳/۷^{b}	۲۸/۵^{a}
کود گاوی	۰/۲۲^{a}	۱۴/۹^{a}	۳۱/۷^{a}
اوره	۰/۲۰^{a}	۱۴/۷^{a}	۲۶/۸^{b}

در هر عامل میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار با هم ندارند.

این صفت در کم‌آبیاری شدید به‌دست آمد (جدول ۷). کم‌آبیاری متوسط و شدید از نظر آماری به‌طور یکسان باعث کاهش معنی‌دار وزن‌تر ریشه شد. از طرف دیگر با افزایش شدت کم آبیاری، نسبت وزن تر اقتصادی به وزن تر ریشه به‌طور معنی‌دار افزایش یافت (جدول ۷). مشابه این نتایج Stagnari و همکاران (۲۰۱۷) و عبدالهی و همکارن (۱۴۰۱) نیز گزارش کردند که کاهش میزان آبیاری باعث کاهش معنی‌دار وزن ریشه ترب سفید می‌گردد. در شرایط تنش خشکی به دلیل تغییر الگوی توزیع هیدرات کربن از ریشه به اندام هوایی، سهم ریشه (به عنوان مقصد فیزیولوژیک) از مواد پرورده کاهش و در نتیجه عملکرد ریشه کاهش می‌یابد (Stagnari *et al*., 2017). در تأیید این نتایج Jesus و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار وزن ریشه روکولا می‌شود و دلیل این موضوع را برتری انتقال مواد پرورده به اندام هوایی گیاه روکولا در شرایط کم‌آبیاری دانستند که این موضوع باعث محاسبه نسبت‌های وزن اندام هوایی به ریشه بزرگتر از یک در شرایط کم‌آبیاری در این گیاه شد.

کم آبیاری متوسط و شدید باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب روکولا در مقایسه با آبیاری کامل شد. این موضوع به دلیل کاهش میزان آب مصرفی به ازای تولید محصول اقتصادی در شرایط کم آبیاری است. در این مطالعه میزان آب مصرفی به ازای تولید هر گرم محصول اقتصادی در مقادیر آبیاری شاهد، کم آبیاری متوسط و شدید به ترتیب ۰/۰۳۹، ۰/۰۳۴ و ۰/۰۳۵ لیتر محاسبه شد (جدول ۷). مشابه این نتایج نیز گزارش شده است که اعمال کم‌آبیاری باعث از طریق کاهش آب مصرفی به ازای تولید هر واحد عملکرد اقتصادی، باعث افزایش کارایی مصرف آب سبزیجات برگی در شرایط گلخانه می‌شود (Schiattone *et al*., 2018).

کاربرد کود در اغلب موارد باعث افزایش معنی‌دار وزن تر ریشه و نسبت وزن تر اقتصادی به وزن تر ریشه در مقایسه با شاهد شد. بیشترین میزان این صفات به‌ترتیب با مقادیر ۰/۲۲ تن در هکتار و ۱۴/۹ با کاربرد کود گاوی به‌دست آمد. که بیانگر افزایش این صفات در مقایسه با شاهد به‌ترتیب به میزان ۴۶/۷ و ۱۵/۵ درصد بود (جدول ۷). مشابه این نتایج Salles و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که در بین کودهای آلی، کود گاوی نقش بیشتری در افزایش زیست توده و عملکرد برگ روکولا دارد. همچنین در تأیید این نتایج بیان شده است که کاربرد کود گاوی از طریق حفظ یا افزایش ماده آلی خاک،

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

کاهش میزان اسیدی بودن خاک و افزایش جذب عناصر غذایی خاک به‌ویژه فسفر، پتاسیم و روی باعث افزایش عملکرد سبزیجات برگی از جمله روکولا می‌گردد (Mantovani *et al*., 2017). هر چند برخلاف این نتایج دشتی و همکاران (۱۳۹۸) نشان دادند که ورمی کمپوست در مقایسه با کود گاوی باعث افزایش بیشتر وزن تر ساقه گیاه باران طلایی (*Koelreutria paniculata*) شد. از طرف دیگر مشابه این نتایج، گزارش شده که کاربرد کودهای آلی از طریق افزایش ماده آلی خاک، بهبود ساختمان خاک و در نتیجه افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت خاک باعث کاهش میزان آب آبیاری و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آب می‌گردد (Ye *et al*., 2020; Wang *et al*., 2020).

اثر برهمکنش کود و کم آبیاری بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن گیاه روکولا: کم آبیاری شدید باعث کاهش معنی‌دار ویژگی‌های رویشی و عملکرد روکولا در مقادیر مختلف کودی شد. از طرف دیگر در حضور کود اثرات منفی کم‌آبیاری تعدیل این صفات شد به‌طوری‌که در هر سطح کم آبیاری، کاربرد کود باعث بهبود ویژگی‌های رویشی و عملکرد گردید (جدول ۸).

نتایج جدول ۸ نشان داد که کم آبیاری متوسط باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته در شرایط بدون کاربرد کود و ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری شد. در حالی‌که کم‌آبیاری شدید باعث کاهش ارتفاع بوته در شرایط بدون کود، ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به‌ترتیب به میزان ۲۴/۲، ۳۰/۲، ۲۱/۱ و ۲۶/۳ درصد در مقایسه با شاهد بدون کم آبیاری شدند. مشابه این نتایج Jesus و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که کم آبیاری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته روکولا می‌شود و بیشترین ارتفاع بوته در شرایط آبیاری کامل بدست می‌آید. به نظر می‌رسد ارتفاع بوته که شاخصی از میزان رشد رویشی است به شکل قابل ملاحظه‌ای در اثر کم آبی کاهش می‌یابد (Pekcan *et al*., 2015). همچنین مشابه این نتایج Mangarotti و همکاران (۲۰۲۰) و Vasco و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که روکولا به محدودیت آب بسیار حساس بوده و کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار رشد اندام هوایی در آن می‌شود.

کاربرد کود در هر سه سطح کم‌آبیاری باعث افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با شرایط بدون کود شد هر چند این افزایش در کم‌آبیاری شدید معنی‌دار نبود. در بین کودهای مورد مطالعه، کاربرد کود گاوی در شرایط کم آبیاری متوسط و شدید تأثیر بیشتری در افزایش ارتفاع بوته داشت درحالی‌که در شرایط بدون کم‌آبیاری بیشترین ارتفاع بوته (۳۴/۴ سانتی‌متر) با کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۸). مشابه این نتایج Ali و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کودهای آلی در مقایسه با کودهای معدنی در افزایش ارتفاع بوته مؤثرترند هر چند در نتایج آن‌ها کمپوست در مقایسه با سایر کودها تأثیر بیشتری در افزایش ارتفاع روکولا داشت. در مطالعه دیگر که توسط Mantovani و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد رابطه مستقیم بین کاربرد کود گاوی با افزایش ارتفاع بوته روکولا مشاهده شد.

کم‌آبیاری باعث افزایش طول ریشه در تمام مقادیر کود در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری شد که این افزایش در شرایط کم‌آبیاری شدید معنی‌دار بود. کم‌آبیاری شدید در شرایط بدون کاربرد کود، کاربرد ورمی‌کمپوست، کودگاوی و اوره باعث افزایش طول ریشه به‌ترتیب به‌میزان ۶/۵، ۶/۸، ۴/۷ و ۸/۸ درصد شد. رفتار ریشه گیاه تحت تأثیر تنش رطوبتی خاک بوده و با افزایش شدت تنش خشکی، ریشه‌ها جهت جذب آب از اعماق خاک که رطوبت بیشتری دارد، توسعه می‌یابند (Hanaka *et al*., 2021) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

کاربرد کود باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه در هر سه سطح کم‌آبیاری در مقایسه با شرایط بدون کاربرد کود شد و در بین کودهای بکار رفته، اوره بیشترین تأثیر را بر این صفت داشت به‌طوری‌که طول ریشه در حضور اوره به‌طور معنی‌دار بیشتر از کود گاوی و ورمی‌کمپوست بود. در مجموع اوره باعث افزایش طول ریشه در شرایط بدون کم‌آبیاری، کم‌آبیاری متوسط و شدید به‌ترتیب به‌میزان ۱۴/۴، ۱۴/۶ و ۱۶/۹ درصد در مقایسه با شاهد بدون کود شد. بیشترین طول ریشه (۱۷/۳

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۸- اثر برهمکنش کود و کم آبیاری بر ویژگی‌های رویشی، عملکرد و کارایی مصرف نیتروژن گیاه روکولا

کم آبیاری	کود	ارتفاع بوته	طول ریشه	وزن‌تر کل بوته	عملکرد اقتصادی تر	کارایی مصرف نیتروژن
		سانتی‌متر		گرم در بوته	تن در هکتار	کیلوگرم بر کیلوگرم
شاهد (آبیاری کامل)	بدون کود	۲۹/۷^{c}	۱۳/۹^{g}	۱۷/۲$^{d-g}$	۲/۵۹^{cde}	۱۷/۳^{ef}
	ورمی‌کمپوست	۳۴/۴^{a}	۱۴/۸^{ef}	۲۰/۱$^{a-d}$	۲/۹۹^{bcd}	۱۹/۹$^{b-e}$
	کود گاوی	۳۲/۳^{abc}	۱۴/۸^{ef}	۲۱/۷^{ab}	۳/۲۳^{ab}	۲۱/۵^{ab}
	اوره	۳۳/۸^{ab}	۱۵/۹^{bc}	۲۲/۵^{a}	۳/۳۸^{a}	۲۲/۵^{a}
متوسط	بدون کود	۲۵/۳^{d}	۱۴/۴^{fg}	۱۴/۵^{gh}	۲/۳۴^{e}	۱۵/۶^{f}
	ورمی‌کمپوست	۲۹/۹^{bc}	۱۵/۴^{cde}	۱۹/۰$^{b-f}$	۲/۸۳^{bcd}	۱۸/۹^{cde}
	کود گاوی	۳۰/۱^{abc}	۱۵/۱^{de}	۲۰/۴^{abc}	۳/۰۵^{abc}	۲۰/۳^{abc}
	اوره	۲۹/۸^{bc}	۱۶/۵^{b}	۲۰/۱$^{a-d}$	۳/۰۲^{abc}	۲۰/۱$^{a-d}$
شدید	بدون کود	۲۲/۵^{d}	۱۴/۸^{ef}	۱۱/۸^{h}	۱/۷۵^{f}	۱۱/۷^{g}
	ورمی‌کمپوست	۲۴/۰^{d}	۱۵/۸^{c}	۱۶/۰^{fg}	۲/۳۸^{e}	۱۵/۹^{f}
	کود گاوی	۲۵/۵^{d}	۱۵/۵^{cde}	۱۷/۹$^{c-f}$	۲/۶۶^{cde}	۱۷/۷^{def}
	اوره	۲۴/۹^{d}	۱۷/۳^{a}	۱۶/۳^{efg}	۲/۴۴^{de}	۱۶/۳^{f}

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف مشترک از نظر آماری در سطح ۵ درصد با هم تفاوت معنی‌دار ندارند.

سانتی‌متر) در کم‌آبیاری شدید و کاربرد اوره مشاهده شد که با تمام تیمارها اختلاف معنی‌دار داشت (جدول ۸).

مشابه این نتایج گزارش شده است که در شرایط تنش خشکی، کاربرد کود باعث تحریک رشد ریشه می‌شود (Guo *et al*., 2021; Liu *et al*., 2017). همچنین در این شرایط، از کارآیی استفاده و جذب عناصرغذایی به ویژه نیتروژن کاسته شده که این موضوع کاهش رشد اندام‌های مختلف گیاه را به دنبال خواهد داشت و بنابراین در این شرایط تغذیه گیاه می‌تواند نقش مهمی در جبران این محدودیت داشته باشد (Guo *et al*., 2021). از طرفی برخی مطالعات نشان داده‌اند که کاربرد کود معدنی از جمله اوره که عناصر غذایی را با سرعت بیشتر در اختیار گیاه قرار می‌دهند، برای جبران بهبود جذب نیتروژن در شرایط کم‌آبیاری مناسب‌ترند (Plett *et al*., 2020) و به نظر می‌رسد این موضوع باعث افزایش رشد طولی ریشه در شرایط کم‌آبیاری توسط کود اوره شده باشد.

در هر سطح کودی، کم‌آبیاری شدید باعث کاهش معنی‌دار وزن تر کل بوته در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری شد این کاهش برای شاهد بدون کود، ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به‌ترتیب برابر با ۳۱/۴، ۲۰/۴، ۱۷/۵ و ۲۷/۶ درصد بود. کم‌آبیاری متوسط نتوانست وزن تر کل بوته را در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری به‌طور معنی‌دار کاهش دهد از طرف دیگر کم‌آبیاری شدید فقط در حضور کود اوره باعث کاهش این صفت در مقایسه با کم‌آبیاری متوسط شد (جدول ۸). به نظر می‌رسد با توجه به نتایج جدول‌های ۳ و ۴، کم‌آبیاری از طریق تأثیر منفی بر سنتز رنگیزه‌های گیاهی باعث کاهش کارایی فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید زیست‌توده گیاهی در روکولا شده است. بطوری‌که بین وزن تر کل بوته و میزان کلروفیل کل، a و b همبستگی مثبت معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۹). اگر چه با افزایش شدت کم‌آبیاری فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت اما این افزایش برای بهبود تحمل گیاه و پاک‌کردن گونه‌های فعال اکسیژن در

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جدول ۹- همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در روکولا*

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18
X1	۱																	
X2	۰/۷۳**	۱																
X3	۰/۸۵**	۰/۶۷**	۱															
X4	۰/۵۶**	۰/۶۹**	۰/۳۹*	۱														
X5	۰/۷۷**	۰/۸۱**	۰/۸۰**	۰/۵۵**	۱													
X6	۰/۱۳	-۰/۲۸	۰/۱۶	-۰/۲۵	-۰/۴۱*	۱												
X7	-۰/۱۰	۰/۱	-۰/۰۱	۰/۲۲	-۰/۱۷	۰/۱۲	۱											
X8	-۰/۳	-۰/۱	-۰/۳۷	۰/۴۳*	-۰/۳۹*	۰/۱۲	۰/۴۴**	۱										
X9	۰/۱۸	۰/۱۳	-/۲۱*	-۰/۳۱*	-۰/۳۶*	۰/۱۰	-۰/۴۱*	-۰/۲۳*	۱									
X10	۰/۴۳**	۰/۵۹**	۰/۶۶**	۰/۳۹*	۰/۶۶**	-۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۳۹*	-۰/۱۲	۱								
X11	۰/۱۷	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۳۱*	-۰/۱۳	۱							
X12	۰/۳۲	۰/۵۳*	۰/۴۱*	۰/۳۴*	۰/۳۸*	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۳۵*	۰/۶۸**	۰/۰۱	۱						
X13	۰/۶۵*	۰/۵۹*	۰/۶۷**	۰/۲۷	۰/۵۶**	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۳۷*	-۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲*	-۰/۲۱	۱					
X14	۰/۷۹**	۰/۶۷**	۰/۷۲**	۰/۵۳**	۰/۵۵**	۰/۱۵	۰/۶۱**	۰/۵۵**	-۰/۵۶	۰/۴۶**	۰/۱۶	۰/۳۴*	۰/۲۰	۱				
X15	۰/۶۸**	۰/۵۷**	۰/۶۱**	۰/۶۶**	۰/۳۷*	۰/۲۱	۰/۷۲**	۰/۶۱*	-۰/۳۳	۰/۳۸*	۰/۲۰	۰/۲۹*	۰/۶۱**	۰/۹۸**	۱			
X16	۰/۱۰	-۰/۲۲	-۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۱۷	۰/۴۴*	۰/۱۷	-۰/۳۲	-۰/۱۱	-۰/۱۵	-۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۳۷*	۰/۷۱**	۱		
X17	۰/۶۹**	۰/۵۸**	۰/۶۱**	۰/۴۷**	۰/۳۸*	۰/۱۹*	۰/۲۲	۰/۳۱	-/۱۷	۰/۳۷*	۰/۱۰	۰/۲۸	۰/۶۲**	۰/۹۷**	۰/۹۹**	۰/۵۱**	۱	
X18	۰/۷۸**	۰/۴۷*	۰/۵۸**	۰/۶۲**	۰/۳۲*	۰/۲۱	۰/۳۵*	۰/۱۹*	-۰/۲۳*	۰/۴۱**	۰/۶۵**	۰/۳۳	۰/۷۹**	۰/۹۱**	۰/۸۸**	۰/۷۵**	۰/۵۵*	۱

*** کلروفیل a= X1، کلروفیل b = X2، کلروفیل کل = X3، نسبت کلروفیل a/b=X4، کاروتنوئید = X5، نسبت کلروفیل کل به کاروتنوئید = X6، کاتالاز = X7، پراکسیداز = X8، مالون دآلدهید = X9، ارتفاع بوته = X10، طول ریشه = X11، قطر ریشه = X12، وزن تر ریشه = X13، وزن تر کل بوته = X14، عملکرد اقتصادی تر = X15، نسبت عملکرد اقتصادی تر به وزن تر ریشه = X16، کارایی مصرف نیتروژن = X17 و کارایی مصرف آب = X18. * و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح آماری ۵ و ۱ درصد.**

روکولا کافی نبوده و منجر به پراکسیداسیون غشا و افزایش تولید مالون دآلدهید در این گیاه شده است (جدول‌های ۳ و ۴). در تأیید این نتایج گزارش شده است که کم‌آبیاری شدید از طریق کاهش فتوسنتز خالص، تعداد برگ و ارتفاع بوته موجب کاهش معنی‌دار زیست‌توده اندام هوایی روکولا می‌شود (Jesus *et al.*, 2018). عبدالهی و همکاران (۱۴۰۱) نیز نتایج مشابه‌ای را در گیاه ترب سفید گزارش کردند.

در هر سطح کم‌آبیاری در اغلب موارد (به استثناء ورمی‌کمپوست در شرایط بدون کم‌آبیاری) هر سه کود بکار رفته باعث افزایش معنی‌دار وزن تر کل بوته در مقایسه با شاهد بدون کود شد و بین کودها تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در شرایط بدون کم‌آبیاری بیشترین وزن تر کل بوته (۲۲/۵ گرم در متر مربع) در حضور اوره و در شرایط کم‌آبیاری متوسط و شدید با کاربرد کود گاوی و به‌ترتیب به‌میزان ۲۰/۴ و ۱۷/۹ گرم در متر مربع به‌دست آمد. در مجموع کاربرد ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره در شرایط کم‌آبیاری شدید باعث افزایش وزن تر کل بوته به‌ترتیب به‌میزان ۳۵/۶، ۵۱/۷، ۳۸/۱ درصد در مقایسه با شاهد بدون کود شد (جدول ۸). با توجه به نتایج این مطالعه به‌نظر می‌رسد کاربرد کود در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش میزان کلروفیل a، کل و نسبت کلروفیل a/b و همچنین بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی (جدول ۵) موجب بهبود کارایی ظرفیت فتوسنتزی روکولا و در نتیجه افزایش وزن‌تر کل بوته شد (جدول ۷). در تأیید این نتایج بین وزن تر کل بوته و صفات کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نسبت کلروفیل a/b، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز همبستگی مثبت و معنی‌دار به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۹، ۰/۶۷، ۰/۷۲، ۰/۵۳، ۰/۶۲ و ۰/۵۵ بدست آمد (جدول ۹). تنش خشکی باعث جذب کمتر عناصر غذایی و در نتیجه کاهش تولید مواد پرورده از طریق کم شدن کارایی فتوسنتز می‌شود. این موضوع عملکرد گیاهان را محدود ساخته که برای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

جبران این کاهش، کاربردهای کودهای آلی و دامی ضروری به‌نظر می‌رسد (Arbona *et al*., 2017). همچنین به‌نظر می‌رسد کاربرد کود گاوی از طریق افزایش ماده آلی و فعالیت میکروبی خاک و بهبود محتوای رطوبتی خاک باعث افزایش جذب عناصر غذایی توسط روکولا در شرایط کم‌آبیاری شده باشد (حیدرزاده و همکاران، ۱۴۰۱).

در تمام کودهای مورد مطالعه عملکرد اقتصادی‌تر روکولا که به صورت عملکرد برگ‌تر محاسبه شد، توسط کم‌آبیاری متوسط و شدید در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری کاهش یافت و این کاهش برای کم‌آبیاری شدید، معنی‌دار بود. در شرایط بدون کاربرد کود، کاربرد ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره، اعمال کم‌آبیاری شدید باعث کاهش عملکرد اقتصادی تر به‌ترتیب ۳۲/۴، ۲۰/۴، ۱۷/۳ و ۲۷/۸ درصد در مقایسه با شاهد بدون کم‌آبیاری شد. این نتایج بیانگر آن است که در کم‌آبیاری شدید و در حضور کودهای آلی، میزان عملکرد اقتصادی تر در مقایسه با کود اوره به میزان کمتری کاهش می‌یابد (جدول ۸). در تأیید این نتایج نیز گزارش شده است که در شرایط محدودیت منابع آبی عملکرد برگ و اندام هوایی روکولا به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Mangarotti *et al*., 2020; Jesus *et al*., 2018). برخی مطالعات نشان داده است که عملکرد برگ روکولا در شرایط تنش خشکی، به‌دلیل کاهش ظرفیت فتوسنتزی، تعداد برگ و ارتفاع بوته کاهش می‌یابد (Jesus *et al*., 2018). در تأیید این نتایج، در مطالعه حاضر کم‌آبیاری از طریق کاهش میزان رنگیزه‌های گیاهی برگ موجب محدود شدن ظرفیت فتوسنتزی و کاهش ارتفاع بوته و عملکرد اقتصادی شده است (جداول ۳ و ۴). در اثر کمبود آب، تورژسانس سلولی و در نتیجه رشد و توسعه سلول بخصوص در ساقه و برگ‌های سبزی‌ها کاهش می‌یابد. به همین دلیل اولین تأثیر کم آبی اندازه کوچکتر برگ‌ها و کاهش ارتفاع است (Parkash and Singh, 2020).

از طرف دیگر کاربرد کود در مقادیر مختلف کم‌آبیاری (باستثناء ورمی‌کمپوست در شرایط بدون کم‌آبیاری) باعث افزایش معنی‌دار عملکرد اقتصادی تر در مقایسه با عدم کاربرد کود شد. (جدول ۸). بیشترین عملکرد اقتصادی تر در کم‌آبیاری متوسط و شدید با کاربرد کود گاوی بدست آمد هر چند که با کود اوره و ورمی‌کمپوست تفاوت معنی‌داری نداشت. در مجموع بیشترین عملکرد اقتصادی تر (۳/۳۸ تن در هکتار) در شاهد بدون کم آبیاری و کاربرد کود اوره به‌دست آمد. کاربرد ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره در شرایط بدون کم‌آبیاری باعث افزایش عملکرد اقتصادی تر در مقایسه با شاهد بدون کود به‌ترتیب به‌میزان ۱۵/۴، ۲۴/۷ و ۳۰/۵ درصد شد درحالی‌که این افزایش در شرایط کم آبیاری متوسط به‌ترتیب ۲۰/۹، ۳۰/۳ و ۲۹/۱ درصد و در شرایط کم‌آبیاری شدید به‌ترتیب ۳۶/۰، ۵۲/۰ و ۳۹/۴ درصد بود (جدول ۸). این نتایج نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری کاربرد منابع مختلف کود به‌ویژه منابع آلی از طریق افزایش رنگیزه گیاهی و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز در مقایسه با شرایط بدون کم‌آبیاری نقش بیشتری در افزایش عملکرد اقتصادی تر روکولا ایفا می‌کنند. در رابطه با تأثیر کودهای مختلف بر عملکرد روکولا در شرایط محدودیت آب مطالعه‌ای انجام نشده است اما در تأیید پژوهش حاضر Mantovani و همکاران (۲۰۱۷) حداکثر عملکرد روکولا را با کاربرد کود گاوی گزارش کردند. در پژوهشی که توسط Matos و همکاران (۲۰۱۹) انجام شد اگر چه با کاربرد ورمی‌کمپوست بیشترین رشد رویشی روکولا به‌دست آمد ولی با در نظر گرفتن تمام صفات ارزیابی شده کود گاوی جهت تولید روکولا توصیه شد. Ali و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند که کاربرد کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی نقش بیشتری در افزایش عملکرد روکولا دارند. در این مطالعه بیشترین عملکرد اقتصادی برگ با کاربرد کمپوست بدست آمد. در پژوهشی دیگر نشان داده شد که افزایش کود نیتروژن باعث بهبود رشد و عملکرد روکولا می‌شود درحالی‌که این صفات تحت تأثیر نوع منبع نیتروژن (اوره یا اوره پوشش‌دار) قرار نگرفت (Benett *et al*., 2019). به نظر می‌رسد کود گاوی از طریق بهبود فعالیت میکروبی و افزایش فراهمی عناصر غذایی (Zhang *et al*., 2020)، بهبود ساختمان و میزان ماده آلی خاک و افزایش رطوبت خاک (Mantovani *et al*., 2017) باعث

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی و رویشی و در نتیجه افزایش عملکرد اقتصادی روکولا شده است.

در هر سطح کود، کم آبیاری شدید باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه با آبیاری کامل و کم آبیاری متوسط شد بطوری‌که کم‌آبیاری شدید باعث کاهش این شاخص در شرایط بدون کود، ورمی‌کمپوست، کود گاوی و اوره به ترتیب به میزان ۳۲/۴، ۲۰/۱، ۱۷/۷ و ۲۷/۶ درصد در مقایسه با آبیاری کامل شد. (جدول ۸). مشابه این نتایج Ansari و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش کردند که کم آبیاری شدید باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در کاهو می‌شود. به نظر می‌رسد کاهش رطوبت خاک از طریق محدود کردن جذب نیتروژن و در نتیجه عملکرد گیاهان باعث کاهش کارایی مصرف نیتروژن می‌شود (Du *et al*., 2017).

کاربرد کود اغلب باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر مختلف آبیاری در مقایسه با شاهد بدون کود شد. بیشترین افزایش این صفت مربوط به کودهای گاوی و اوره بود و در هر سه سطح آبیاری بین این دو کود تفاوت معنی‌دار وجود نداشت. در کم آبیاری متوسط و شدید، کود گاوی در مقایسه با اوره تأثیر بیشتری در افزایش این شاخص داشت بطوری‌که در این مقادیر آبیاری، کود گاوی باعث افزایش کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب به میزان ۳۰/۱ و ۵۱/۳ درصد در مقایسه با شرایط بدون کود شد (جدول ۸). در تأیید این نتایج Wang و همکاران (۲۰۲۰) نیز گزارش کردند که بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در ذرت (*Zea mays* L.) در حضور کود دامی بدست می‌آید. از طرف دیگر ثابت شده که در شرایط محدودیت رطوبت خاک، کودهای دامی از طریق افزایش رطوبت خاک باعث بهبود جذب عناصر غذایی و در نتیجه افزایش کارایی مصرف آنها می‌شوند (Jehan *et al*., 2022). با توجه به نتایج جدول ۹، کارایی مصرف نیتروژن در سطح یک درصد با عملکرد اقتصادی (۰/۹۹)، وزن تر کل بوته (۰/۹۷) و کلروفیل a (۰/۶۹) بیشترین همبستگی را داشت.

نتیجه‌گیری

افزایش حاصلخیزی خاک در شرایط تنش‌های محیطی از جمله کم آبیاری از طریق بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک بیوشیمیایی و رویشی باعث عملکرد گیاهان زراعی و باغی می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که اگر چه در شرایط کم‌آبیاری فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گیاه روکولا افزایش یافت ولی این افزایش قادر به جبران اثرات منفی کم آبیاری شدید نشد به‌طوری‌که در این شرایط میزان مالون دی‌آلدهید به عنوان معیاری از پراکسیداسیون چربی غشا افزایش یافت و در نتیجه در شرایط کم‌آبیاری شدید میزان کلروفیل، کاروتنوئید، ارتفاع بوته و عملکرد گیاه به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. کاربرد کود باعث بهبود ویژگی‌های بیوشیمیایی، رویشی، عملکرد و شاخص‌های کارایی روکولا در شرایط کم‌آبیاری شد. در اغلب موارد کارایی کودهای گاوی و ورمی‌کمپوست در مقایسه با کود اوره در تعدیل اثرات منفی کم‌آبیاری در گیاه روکولا بیشتر بود. به‌طوری‌که بیشترین عملکرد اقتصادی تر روکولا در شرایط کم‌آبیاری شدید و متوسط با کاربرد کود گاوی به‌دست آمد هر چند با ورمی‌کمپوست و کود اوره تفاوت معنی‌داری نداشت. درحالی‌که این برتری در شرایط آبیاری کامل با کاربرد کود اوره مشاهده شد. همچنین کاربرد کود گاوی باعث افزایش کارایی مصرف آب و نیتروژن شد. در مجموع نتایج این مطالعه نشان داد که کودهای آلی به‌ویژه کود گاوی می‌تواند جایگزین مناسبی برای تولید روکولا در شرایط کم‌آبیاری در استان هرمزگان باشد.

منابع

احمدی‌پور، ص.، ارجی، ع.، عبادی، ع. و عبدوسی، و. (۱۳۹۸) تغییرات موفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در گیاهان جوان سه رقم زیتون در شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران دوره ۵۰: ۲۸۶-۲۷۵.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

حیدرزاده، س.، رحیمی، الف.، حسن‌زاده قورت تپه، ع.، امیرنیا، ر. و واحدی، ر. (۱۴۰۱) تأثیر کود دامی و تنش کم آبی بر جذب عناصر غذایی و برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی در گیاه کاسنی (*Cichorium intybus* L.). مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۵۳: ۳۱۵-۳۰۶.

دشتی، م.، دهستانی اردکانی، م.، شیرمردی، م. و مؤمن‌پور، ع. (۱۳۹۸) اثر کود دامی و ورمی‌کمپوست بر افزایش تحمل شوری گیاه باران طلایی. فصلنامه پژوهش و توسعه جنگل ۵: ۵۵۶-۵۴۱.

رضایی چیانه، الف.، زهتاب سلماسی، س.، قاسمی گلعذانی، ک. و دل‌آذر، عباس. (۱۳۹۱) واکنش‌های فیزیولوژیکی رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) به محدودیت آب نشریه بوم‌شناسی کشاورزی ۴: ۳۵۴-۳۴۶.

عبدالهی، ف.، جعفری، ل. و رحیمی، ا. (۱۴۰۱) اثر کاربرد کودهای آلی بر برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی، کمی و کیفی ترب سفید (*Raphanus sativus*) رقم لانگیپیناتوس در شرایط تنش خشکی. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی ۴۸: ۱-۱۷.

Abdelkhalik, A., Pascual, B., Najera, I., Baixauli, C. and Pascual-Seva, N. (2019) Deficit irrigation as a sustainable practice in improving irrigation water use efficiency in cauliflower under Mediterranean conditions. Agronomy 9: 732.

Ajithkumar, I. P. and Panneerselvam, R. (2014) ROS scavenging system, osmotic maintenance, pigment and growth status of *Panicum sumatrense* Roth. under drought stress. Cell Biochemistry and Biophysics 68: 587-595.

Ali, K. A., Hamad, H. H. and Qadir, S. K. (2020) Effect of Bio and chemical fertilizers on some physiological traits and yield of Arugula. Journal of Zankoy Sulaimani Part-A- (Pure and Applied Sciences) 22: 99-108.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop Evapotranspiration; Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome, Italy.

Ansari, M., Chaichi, M. R., Bhandari, S. and Raheja, A. (2019) Water and nitrogen use efficiency of lettuce under water stressed growing conditions. Canadian Journal of Agriculture and Crops 4: 111-120.

Arbona, V., Manzi, M., Zandalinas, S., VivesPeris, V., Perez-Clemente R. M. and Gomez Cadenas, A. (2017) Physiological, metabolic, and molecular responses of plants to abiotic stress. In: Stress Signaling in Plants: Genomics and Proteomics Perspective (eds. Sarwat, M., Ahmad, A., Abdin, M. Z. and Ibrahim, M. M.) Pp. 1-35. Springer International Publishing.

Arnon, A. N. (1967) Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.

Ashrafi, M., Azimi-Moqadam, M. R., Moradi, P., Mohseni-Fard, E., Shekari, F. and Kompany-Zareh, M. (2018) Effect of drought stress on metabolite adjustments in drought tolerant and sensitive thyme. Plant Physiology and Biochemistry 132: 391-399.

Benett, K. S. S., Xavier, R. C., Benett, C. G. S., Salomao, L. C., Seleguini, A., de Cantuario, F. S. and Martins, A. S. (2019) Nitrogen application in arugula culture. Journal of Agricultural Science 11: 385-391.

Campos Junior, J. E., Santos Junior, J. A., Silva, E. F. D. F., Martins, J. B. and Rolim, M. M. (2018) Consumption, efficiency and water content of arugula under different management of brackish nutritional solutions. Engenharia Agricola 38: 885-892.

Chen, Y., Liu, L., Guo, Q., Zhu, Z. and Zhang, L. (2016) Effects of different water management options and fertilizer supply on photosynthesis, fluorescence parameters and water use efficiency of *Prunella vulgaris* seedlings. Biological Research 49: 12.

Dalal, V. K. and Tripathy, B. C. (2018) Water-stress induced downsizing of light harvesting antenna complex protects developing rice seedlings from photooxidative damage. Scientific Reports 8: 5955.

Deng, B., Li, Y., Xu, D., Ye, Q. and Liu, G. (2019) Nitrogen availability alters flavonoid accumulation in *Cyclocarya paliurus* via the effects on the internal carbon/nitrogen balance. Scientific Reports 9: 2370.

Du, Y., Cao, H., Liu, S., Gu, X. and Cao, Y. (2017) Response of yield, quality, water and nitrogen use efficiency of tomato to different levels of water and nitrogen under drip irrigation in Northwestern China. Journal of Integrative Agriculture 16: 1153-1161.

Freitas, E. M., de, Giovanelli, L. B., Delazari, F. T., Santos, M. L., dos, Pereira, S. B. and Silva, D. J. H. (2017) Arugula production as a function of irrigation depths and potassium fertilization. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental 21: 197-202.

Fungo, B., Lehmann, J., Kalbitz, K., Thiongo, M., Tenywa, M., Okeyo, I. and Neufeldt, H. (2019) Ammonia and nitrous oxide emissions from a field Ultisol amended with tithonia green manure, urea, and biochar. Biology and Fertility of Soils 55: 135-148.

Guo, Y. Y., Yu, H. Y., Kong, D. S., Yan, F. and Zhang, Y. J. (2016) Effects of drought stress on growth and chlorophyll fluorescence of *Lycium ruthenicum* Murr. seedlings. Photosynthetica 54: 524-531.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

Guo, X., Li, S., Wang, D., Huang, Z., Sarwar, N., Mubeen, K., Shakeel, M. and Hussain, M. (2021) Effects of water and fertilizer coupling on the physiological characteristics and growth of rabbit eye blueberry. PLoS ONE 16: e0254013.

Hanaka, A., Ozimek, E., Reszczy´nska, E., Jaroszuk-Scisel, J. and Stolarz, M. (2021) Plant tolerance to drought stress in the presence of supporting bacteria and fungi: An efficient strategy in horticulture. Horticulturae 7: 390.

Illes, A., Bojtor, Cs., Szeles, A., Mousavi, S. M. N., Toth, B. and Nagy, J. (2021) Effect of nitrogen fertiliser on the rate of lipid peroxidation of different maize hybrids in a long-term multifactorial experiment. Acta Alimentaria 50: 162-169.

Jambunathan, N. (2010) Determination and detection of reactive oxygen species (ros), lipid peroxidation, and electrolyte leakage in plants. Methods in Molecular Biology 639: 291-297.

Jehan, S., Iqbal, M., Samreen, T., Liaquat, M., Kanwal, S. and Naseem, M. (2022) Effect of deficit irrigation practice on nitrogen mineralization and nitrate nitrogen leaching under semi-arid conditions. Journal of Water Resource and Protection 14: 385-394.

Jesus, E. G., Fatima, R. T., de Guerrero, A. C., Araujo, J. L. and de Brito, M. E. B. (2018) Growth and gas exchanges of arugula plants under silicon fertilization and water restriction. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental 22: 119-124.

Katroschan, K. U., Uptmoor, R. and Stützel, H. (2014) Nitrogen use efficiency of organically fertilized white cabbage and residual effects on subsequent beetroot. Plant and Soil 382: 237-251.

Liu, H. G., He, X. L., Li, J., Li, F. D., Gong, P., Zhang, J. and Yang, G. (2017) Effects of water-fertilizer coupling on root distribution and yield of Chinese Jujube trees in Xinjiang. International Journal of Agricultural and Biological Engineering 10: 103-114.

Mangarotti, D. P. D. O., Rezende, R., Saath, R., Hachmann, T. L., Matumoto-Pintro, P. T. and Anjo, F. A. (2020) Use of selenium to increase antioxidant activity and water use efficiency in arugula (*Eruca vesicaria* ssp. Sativa) exposed to drought stress. Research, Society and Development 9.

Matos, E., Costa, A. R., Silva, P. C., Silva, F., Da Costa, A. M. and Vidal, V. M. (2019) Agro industrial waste as source of n for the production of *Eruca sativa*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 13: 17-22.

Mirjalili, A., Lebaschi, M., Ardakania, M., Heidari Sharifabad, H. and Mirza, M. (2021) Antioxidant enzymes response to medicinal plant of Bakhtiari savory (*Satureja bachtiarica* Bunge.) affected by density and organic fertilizers in dryland farming conditions. Iranian Journal of Plant Physiology 11: 3819-3828.

Mantovani, J. R., Carrera, M., Moreira, J. L. A., Jose Marques, D. and Silva, A. B. (2017) Fertility properties and leafy vegetable production in soils fertilized with cattle manure. Revista Caatinga 30: 825-836.

Musyoka, M. W., Adamtey, N., Muriuki, A. W. and Cadisch, G. (2017) Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the central highlands of Kenya. European Journal of Agronomy 86: 24-36.

Pant, A. P., Radovich, T. J. K., Hue, N. V., Talcott, S. T. and Krenek, K. A. (2009) Vermicompost extracts influence growth, mineral nutrients, phytonutrients and antioxidant activity in pak choi (*Brassica rapa* cv. Bonsai, Chinensis group) grown under vermicompost and chemical fertiliser. Journal of the Science of Food and Agriculture 89: 2383-2392.

Parkash, V. and Singh, S. (2020) A review on potential plant-based water stress indicators for vegetable crops. Sustainability 12: 3945.

Pekcan, V., Evci, G., Yilmaz, M. I., Nalcaiyi, A. S. B., Erdal, S. C., Cicek, N., Ekmekci, Y. and Kaya, Y. (2015) Drought effects on yield traits of some sunflower inbred. Agriculture and Forestry 61: 101-107.

Pirnajmedin, F., Majidi, M. M. and Gheysari, M. (2015) Root and physiological characteristics associated with drought tolerance in Iranian tall fescue. Euphytica 202: 141-155.

Plett, D. C., Ranathunge, K., Melino, V. J., Kuya, N., Uga, Y. and Kronzucker, H. J. (2020) The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: New paths toward improved crop productivity. Journal of Experimental Botany 71: 4452-4468.

Rahimi, A., Siavash Moghaddam, S., Ghiyasi, M., Heydarzadeh, S., Ghazizadeh, K. and Popovic-Djordjevic, J. (2019) The influence of chemical, organic and biological fertilizers on agrobiological and antioxidant properties of Syrian cephalaria (*Cephalaria syriaca* L.). Agriculture 9: 122.

Rao, N. K., Hunashikatti, L. and Shivashankara, K. (2016) Physiological and morphological responses of horticultural crops to abiotic stresses. In: Abiotic Stress Physiology of Horticultural Crops (eds. Rao, N., Shivashankara, K. and Laxman, R.) Springer, New Delhi.

Rios-Gonzalez, K., Erdei, L. and Lips, S. H. (2002) The activity of antioxidant enzymes in maize and sunflower seedlings as affected by salinity and different nitrogen sources. Plant Science 162: 923-930.

Salles, J. S., Steiner, F., Abaker, J. E. P., Ferreira, T. S. and Martins, G. L. M. (2017) Resposta da rucula a adubacao organica com diferentes compostos organicos. Revista De Agricultura Neotropical 4: 35-40.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

Schiattone, M. I., Viggiani, R., Di Venere, D., Sergio, L., Cantore, V., Todorovic, M., Perniola, M. and Candido, V. (2018) Impact of irrigation regime and nitrogen rate on yield, quality and water use efficiency of wild rocket under greenhouse conditions. Scientia Horticulturae 229: 182-192.

Stagnari, F., Galieni, A., D'Egidio, S., Pagnani, G. and Pisante, M. (2017) Responses of radish (*Raphanus sativus* L.) to drought stress. Annals of Applied Biology 172: 170-186.

Sun, Y., Wang, C., Chen, H. Y. H. and Ruan, H. (2020) Response of plants to water stress: A meta-analysis. Frontiers in Plant Science 11: 978.

Vasco, A. N., Aguiarnetto, A. O., Mann, R. S. and Bastos, E. A. (2011) Irrigation management in real time for arugula crop in Sergipe. Journal of Agricultural Science and Technology 13: 1161-1167.

Vicuna, D. (2005) The role of peroxidases in the development of plants and their responses to abiotic stresses. PhD thesis. Technological University Dublin.

Wang, X., Yan, J., Zhang, X., Zhang, S. and Chen, Y. (2020) Organic manure input improves soil water and nutrients use for sustainable maize (*Zea mays*. L) productivity on the Loess Plateau. PLoS ONE 15: e0238042.

Wang, Z. B., Wang, Y. F., Zhao, J. J., Ma, L., Wang, Y. J., Zhang, X., Nie, Y. T., Guo, L. X., Mei, L. X. and Zao, Z. Y. (2018) Effects of GeO_2 on chlorophyll fluorescence and antioxidant enzymes in apple leaves under strong light. Photosynthetica 56: 1081-1092.

Wu, F. Z., Bao, W. K., Li, F. L. and Wu, N. (2008) Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. Photosynthetica 46: 40-48.

Yang, W., Li, Y., Liu, W., Wang, S., Yin, L. and Deng, X. (2021) Sustainable high yields can be achieved in drylands on the Loess Plateau by changing water use patterns through integrated agronomic management. Agricultural and Forest Meteorology 296: 108210.

Ye, S., Liu, T. and Niu, Y. (2020) Effects of organic fertilizer on water use, photosynthetic characteristics, and fruit quality of pear jujube in northern Shaanxi. Open Chemistry 18: 537-545.

Yuan, X. K., Yang, Z. Q., Li, Y. X., Liu, Q. and Han, W. (2016) Effects of different levels of water stress on leaf photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities of greenhouse tomato. Photosynthetica 54: 28-39

Zhang, S., Sun, L., Wang, Y., Fan, K., Xu, Q., Li, Y., Ma, Q., Wang, J., Ren, W. and Ding, Z. (2020) Cow manure application effectively regulates the soil bacterial community in tea plantation. BMC Microbiology 20.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]

Investigation the biochemical, vegetative, yield and efficiency indices response of arugula to fertilizer sources under deficit irrigation conditions

Afsaneh Rahimi[1], Leila Jafari[*2] and Farzin Abdollahi[2]

[1] Horticulture Science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran

[2] Horticulture Science Department, and Member of Research Group of Management of plant breeding and production under environmental stress conditions, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Iran

(Received: 30/11/2022, Accepted: 15/04/2023)

Abstract

One of the strategies to increase the tolerance of plants to environmental stress conditions, including drought stress, is to improve the process of receiving nutrients by plants .Arugula (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa* Mill.) is cultivated as a leafy vegetable in Hormozgan province. Considering the limitation of water resources in this province and the role of fertilizers in increasing the tolerance of vegetables to drought stress, this research was conducted to investigate the biochemical, vegetative, yield and efficiency indicators responses of arugula to fertilizer sources under deficit irrigation conditions, a split plots experiment as a completely randomized design with 12 treatments and three replications in the greenhouse of University of Hormozgan. The experimental treatments included irrigation as the main plot (full irrigation as control, moderate and severe deficit irrigation) and the use of different fertilizers as sub-plot (control, urea, vermicompost and cow manure). The results showed that all the biochemical traits including the chlorophyll and carotenoids contents, catalase and peroxidase activities and the amount of malondialdehyde, vegetative and yield traits including plant height, root length and diameter, root and shoot fresh weight, fresh economical yield and nitrogen and water use efficiency of Arugula was significantly affected by the main effect of irrigation. While the main effect of fertilizer sources on peroxidase activity, plant height and root diameter were not significant. The use of different fertilizers improved the under-study traits under deficit irrigation conditions, and in most cases the efficiency of organic fertilizers was higher than urea. So that the use of vermicompost increased the catalase activity in severe and moderate deficit irrigation conditions by 23.3 and 29.9 %, respectively. Moderate and severe deficit irrigation, as well as the use of fertilizer, increased the water use efficiency in arugula. At each fertilizer level, severe deficit irrigation caused a significant decrease in nitrogen use efficiency compared to full irrigation and moderate deficit irrigation. The results of this research showed that in severe deficit irrigation conditions, the use of cow manure increased the economic yield of arugula by 52.0% compared to the control. In total, the highest economic yield was obtained in the full irrigation and the use of urea or cow manure. Therefore, according to the limitation of water resources in Hormozgan province, the application of fertilizer can improve the yield of arugula under deficit irrigation conditions.

Keywords: Arugula, Drought stress, Urea, Organic fertilizer

Corresponding author, Email: jafari.leila@hormozgan.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-06-21]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1402.12.54.1.1]