19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

تأثیر آبیاری تکمیلی و تیمارهای کودی بر عملکرد و غلظت عناصر پرمصرف گیاه کاملینا در شرایط دیم

علی امین بیگی[۱]، جلال جلیلیان[۲]، حمیدرضا چقازردی[۳*]، دانیال کهریزی[۴]، راضیه خلیل زاده[۵]

۱- دکتری رشته زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۳- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله (**h.chaghazardi@razi.ac.ir**)
۴- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۵- استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی و تیمارهای کودی شیمیایی و بیوارگانیک بر عملکرد علوفه خشک و غلظت عناصر پرمصرف گیاه کاملینا (*Camelina sativa* L.) در شرایط دیم انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار در دو سال زراعی اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل شرایط دیم، یکبار آبیاری و دو بار آبیاری بودند. تیمارهای کودی شامل کود شیمیایی، کود آلی-زیستی و شاهد (بدون کود) بودند. نتایج نشان داد که استفاده از آبیاری تکمیلی و کودهای شیمیایی و بیوارگانیک باعث افزایش معنی‌دار عملکرد علوفه خشک و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم در علوفه کاملینا شد. در مجموع، استفاده از ترکیب‌های کودی به‌ویژه در شرایط دو بار آبیاری موجب افزایش کمیت و کیفیت علوفه گیاه کاملینا شد. این نتایج می‌تواند راهنمایی برای بهبود تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک باشد.

واژگان کلیدی: تنش خشکی، دانه روغنی، دیم، کود آلی، کود زیستی.

مقدمه

کاملینا (*Camelina sativa* L.) یکی از گونه‌های مهم گیاهی از خانواده *Brassicaceae* است که به دلیل ویژگی‌های خاص مورفولوژیک و فیزیولوژیک، به عنوان یک محصول زراعی با پتانسیل بالا در کشاورزی پایدار در مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود. این گیاه در سال‌های اخیر به دلیل خواص روغنی دانه‌هایش و همچنین سازگاری بالا با شرایط نامساعد محیطی، به‌ویژه کمبود آب و خاک‌های فقیر از نظر عناصر غذایی، توجه زیادی را در حوزه کشاورزی و زیست‌محیطی جلب کرده است (Obour et al., 2015). خصوصیات رشد و عملکرد این گیاه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط آب و هوایی، دفعات و میزان آبیاری، و نوع و مقدار کودهای مصرفی قرار می‌گیرد.

آبیاری یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمیقی بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیک گیاهان دارد. در گیاهان زراعی به ویژه در مناطق خشک، نحوه توزیع آب در خاک و مدیریت آبیاری می‌تواند باعث تغییرات قابل توجهی در شاخص‌های رشد نظیر ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها، مساحت برگ و عملکرد دانه شود (Ahmed et al., 2020). مطالعات متعدد نشان داده‌اند که آبیاری کم یا بی‌رویه می‌تواند منجر به کاهش رشد گیاهان و در نتیجه کاهش عملکرد دانه گردد، در حالی که استفاده بهینه از منابع آبی می‌تواند باعث بهبود ویژگی‌های فیزیولوژیک و افزایش بهره‌وری گیاه شود (Neupane et al., 2020).

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که آبیاری کم می‌تواند منجر به کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیک مانند تنفس سلولی و فتوسنتز شده و تأثیر منفی بر میزان تولید دانه داشته باشد در مقابل، آبیاری بیش از حد نیز می‌تواند به کمبود اکسیژن در خاک و کاهش رشد ریشه‌ها منجر شود (Waraich et al., 2015).

کاملینا (*Camelina sativa* L.) گیاهی با مقاومت بالا به خشکی است که می‌تواند در شرایط دیم نیز به رشد و تولید دانه ادامه دهد. با این حال، نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تأمین آب کافی نقش مهمی در بهبود صفات مورفولوژیک و افزایش عملکرد آن دارد. آبیاری تکمیلی موجب افزایش ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها و عملکرد دانه می‌شود، در حالی که در شرایط محدودیت آبی، رشد ریشه‌ها کاهش یافته و کارایی جذب عناصر غذایی از خاک محدود می‌گردد (Ahmed et al., 2020; Alberghini et al., 2025).

مطالعات نشان داده‌اند که اعمال آبیاری تکمیلی تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد و کیفیت کاملینا دارد. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای در الجزایر، آبیاری تکمیلی به میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه منجر به بیشترین عملکرد دانه شد و کارایی مصرف آب و کیفیت دانه‌ها را بهبود بخشید (Khemmouli et al., 2023). به طور کلی، استفاده از آبیاری تکمیلی در شرایط دیم می‌تواند به بهبود ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها، عملکرد دانه و کیفیت روغن کمک کند، در حالی که بدون تأمین آب کافی، گیاه عملکرد پایین‌تری خواهد داشت (Hazrati et al., 2024; Khemmouli et al., 2023).

کودهای شیمیایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم، عناصر غذایی اصلی برای گیاهان هستند که در فرآیندهای متابولیک و فیزیولوژیک نظیر فتوسنتز، جذب آب و تولید انرژی نقش کلیدی دارند. نیتروژن به‌عنوان عنصر اصلی در سنتز پروتئین‌ها و مواد سازنده سلول‌ها، باعث رشد سریع‌تر و افزایش بیوماس گیاه می‌شود. فسفر نیز به‌ویژه در فرآیندهای ریشه‌زایی و تولید انرژی گیاهی تأثیر دارد، در حالی که پتاسیم در تقویت سیستم‌های دفاعی گیاه و تنظیم تعادل آبی آن مؤثر است (Marschner, 2012).

تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از کودهای شیمیایی به‌ویژه در ترکیب با سیستم‌های آبیاری تکمیلی می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد. این کودها همچنین موجب بهبود کیفیت دانه‌ها از نظر محتوی روغن، پروتئین و دیگر ترکیبات شیمیایی می‌شوند (Dobre et al., 2014). گرچه استفاده از کودهای شیمیایی می‌تواند نتایج خوبی در کوتاه‌مدت به همراه داشته باشد، اما در درازمدت ممکن است به کاهش کیفیت خاک، آلودگی منابع آب و اختلال در اکوسیستم‌های خاکی منجر شود. علاوه بر این، استفاده زیاد از کودهای شیمیایی می‌تواند به افزایش تنش‌های محیطی برای گیاهان و ایجاد مقاومت‌های زیستی منجر گردد (Wang et al., 2019).

کودهای بیوارگانیک که ترکیبی از مواد آلی و میکروارگانیسم‌های مفید هستند، با بهبود ساختار خاک و افزایش فعالیت میکروبی، موجب توسعه بهتر ریشه‌ها، افزایش تهویه خاک، دسترسی بیشتر گیاه به آب و عناصر غذایی، حفظ رطوبت خاک و کاهش خطر خشکی می‌شوند (Ali et al., 2025). این کودها همچنین می‌توانند درصد روغن دانه‌های کاملینا را افزایش دهند و

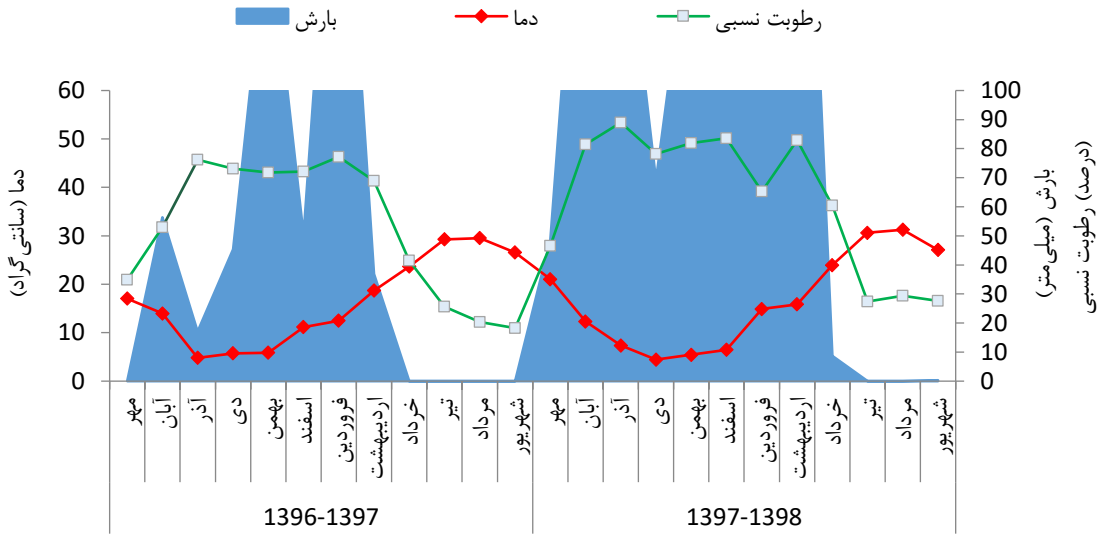
در نتیجه کیفیت محصول بهبود یابد (Haghaninia et al., 2024). این مطالعه با هدف بررسی اثر منابع مختلف کود بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف کاملینا در شرایط تنش کمبود آب انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. کرمانشاه دارای اقلیم سرد و معتدل و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا است. متوسط دما و بارندگی در دو سال کشت نشان داده شده است (شکل ۱). قبل از آزمایش، نمونه‌برداری از خاک انجام شد و تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی انجام گرفت. نتایج خاک در جدول ۱ ذکر شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

شن (درصد)	۲۴
سیلت (درصد)	۵۵
رس (درصد)	۲۱
بافت خاک	لوم رسی
کربن آلی (درصد)	۱/۰۴
ماده آلی (درصد)	۱/۸
نیتروژن (درصد)	۰/۶۹
فسفر (میلی‌گرم/کیلوگرم)	۷/۸
پتاسیم (میلی‌گرم/کیلوگرم)	۳۲۹
رطوبت ظرفیت زراعی (درصد)	۳۰/۹
نقطه پژمردگی دائم (درصد)	۱۳/۸



شکل ۱. متوسط درجه حرارت ماهیانه بارندگی و رطوبت نسبی در سال‌های زراعی ۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷.

آزمایش به‌صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح آبیاری: بدون آبیاری (شرایط دیم)، یکبار آبیاری در مرحله گلدهی، و دو بار آبیاری در مرحله گلدهی و ۱۵ روز پس از آن بودند. کرت‌های فرعی شامل سه تیمار کودی: کود شیمیایی (استفاده از ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و ۷۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار)، کود آلی-زیستی (۳۰ تن کود گاوی در هکتار و استفاده از کودهای بیولوژیک فسفو نیترو کارا و پتابارور-۲)، و شاهد (بدون کود) بودند. بذرهای کاملینا با تراکم ۲۰۰ بوته در مترمربع و در عمق ۲-۳ سانتی‌متر به‌صورت دستی کشت شدند. در

تیمار کودی آلی-زیستی، کود گاوی (pH برابر ۷/۴، ماده آلی ۵۰/۸ درصد، نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب ۱/۱۲، ۰/۴ و ۱/۱ درصد، میزان آهن و روی نیز به‌ترتیب ۱۵۰ و ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) به عنوان منبع کربن و عناصر غذایی استفاده شد.

کود بیولوژیک فسفونیترو کارا حاوی باکتری *Bacillus coagulans* (باکتری حل کننده فسفات)، *Azotobacter chroococcum* و *Azospirillum lipoferum* (باکتری تثبیت کننده نیتروژن) است که توسط شرکت صنایع زیست فناوری کارا تهیه شده بود. پتابارور-۲ حاوی دو نوع باکتری حل‌کننده پتاسیم (*Pseudomonas koreensis* strain S14 و *Pseudomonas vancouverensis* strain S19) می‌باشد که توسط شرکت زیست فناور سبز تهیه شده است. استفاده از کودهای زیستی فسفو نیترو کارا و بیوپتاس به‌صورت تلقیح بذری و محلول‌پاشی در مراحل رویشی، طویل شدن ساقه و قبل از گلدهی انجام شد. برای تلقیح بذر میزان ۷ گرم مایه تلقیح که هر گرم آن حاوی ۱۰۷ عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم بود، استفاده گردید. همچنین از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد (Khalilzadeh et al., 2016). به‌منظور جلوگیری از تداخل اثرات کودهای شیمیایی و بیوارگانیک، فاصله ۵۰ سانتی‌متر بین کرت‌ها و ۱ متر بین تیمارها رعایت شد. در این آزمایش از کاملینا رقم سهیل، با درصد جوانه‌زنی ۹۸ درصد و خلوص ۹۹ درصد استفاده گردید. بذرها در دو تاریخ کاشت (۱۵ آبان در سال اول و ۲۵ آبان در سال دوم) کشت شدند. عملیات تنک در مرحله ۴ تا ۶ برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب انجام شد. آبیاری بر اساس محاسبه درصد رطوبت خاک و رساندن آن به ظرفیت زراعی انجام شد.

پس از رسیدگی کامل (دهه اول تیرماه)، برداشت محصول تمامی تیمارهای آزمایشی بطور جداگانه انجام شد. سپس نمونه‌های گیاهی به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام هوایی (علوفه کاملینا) با روش‌های دقیق اندازه گیری شدند (Estefan et al., 2013). تجزیه مرکب داده‌ها، پس از اطمینان از نرمال بودن آنها، با استفاده از نرم افزار SAS 9.1 انجام گرفت، همچنین برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

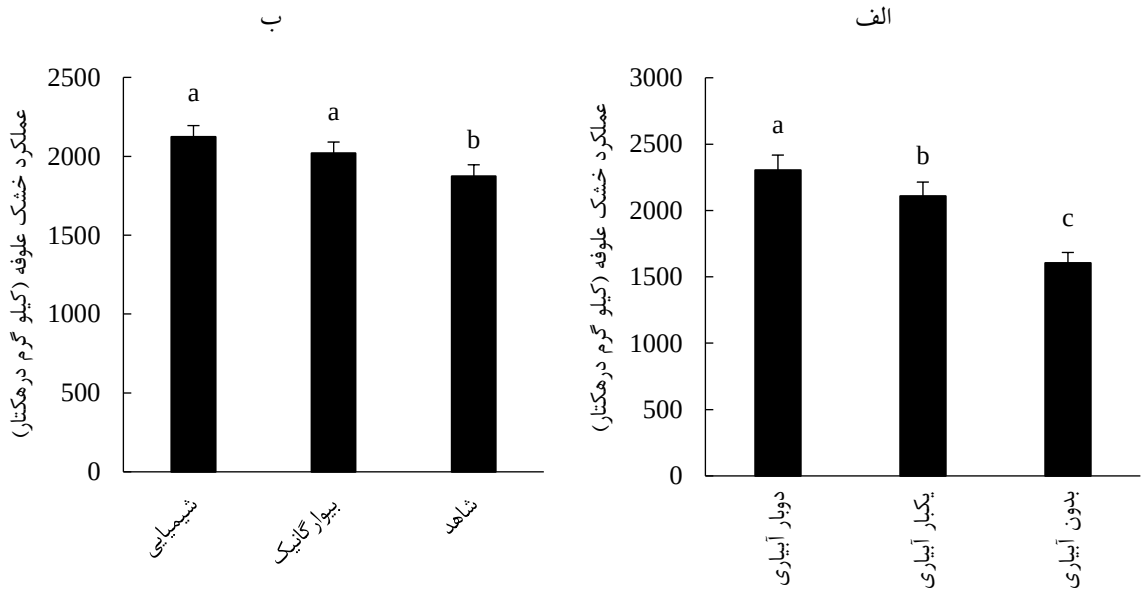
نتایج تجزیه مرکب تیمارهای آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق نتایج سطوح آبیاری، بیشترین عملکرد خشک علوفه کاملینا (۲۳۰۲/۶۱ کیلوگرم در هکتار) در گیاهان دو بار آبیاری شده به‌دست آمد که با شرایط یک‌بارآبیاری (۲۱۰۸/۸۵ کیلوگرم در هکتار) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند، در حالی که کمترین مقدار آن با ۱۶۰۳/۴۳ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون آبیاری مشاهده گردید (شکل ۲ الف). در مقایسه با تیمار شاهد (بدون مصرف کود)، تیمارهای کودی شیمیایی و بیوارگانیک منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد خشک علوفه شدند، مقادیر عملکرد خشک علوفه به ترتیب با ۲۱۲۲/۴۹، ۲۰۱۸/۵۱ و ۱۸۷۳/۹۰ کیلوگرم در هکتار تحت تیمارهای کودی شیمیایی، بیوارگانیک و شاهد به‌دست آمد (شکل ۲ ب).

جدول ۲. تجزیه مرکب عملکرد علوفه خشک، نیتروژن، فسفر و پتاسیم علوفه کاملینا تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای مختلف کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد علوفه خشک	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
سال	۱	۲۲۱۷۱/۶۱^{ns}	۰/۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۰۶^{ns}	۰/۰۱^{ns}
سال (بلوک)	۶	۲۷۱۷۱/۱۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱	۰/۰۰۳
سطوح آبیاری	۲	۳۱۲۷۳۵۸/۳۵**	۰/۷۵**	۰/۱۹**	۱/۹۵**
سال × آبیاری	۲	۱۰۲۰۳/۵۱^{ns}	۰/۰۰۴^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}
اشتباه کرت اصلی	۱۲	۴۲۴۴۰/۵۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸
تیمارهای کودی	۲	۳۷۴۰۷۲/۴۰**	۰/۳۳**	۰/۲۶**	۲/۳۹**
سال × کود	۲	۱۴۱۸۴/۴۵^{ns}	۰/۰۲^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۱^{ns}
آبیاری × کود	۴	۱۱۶۴۹/۰۵^{ns}	۰/۰۸**	۰/۰۸**	۰/۳۹**
سال × آبیاری × کود	۴	۱۱۶۴۹/۰۵^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۷^{ns}	۰/۰۰۳^{ns}
اشتباه آزمایشی	۳۶	۳۴۷۳۶/۸۹	۰/۰۰۹	۰/۰۱	۰/۰۰۴
درصد ضریب تغییرات		۹/۲۹	۷/۲۲	۱۸/۸۵	۵/۵۹

*و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns غیرمعنی‌دار بر اساس آزمون دانکن.

به نظر می‌رسد فراهمی رطوبت سبب ماندگاری بیشتر گیاه و ثبات عملکرد می‌شود. در حالی که در شرایط تنش رطوبتی تلفات گیاهی افزایش یافته و منجر به کاهش شاخه‌های غلاف‌دار و در نهایت عملکرد علوفه می‌شود (Mahfouz et al., 2020). کاهش عملکرد گیاه در اثر شرایط کم‌آبی می‌تواند به طور مستقیم در اثر بسته شدن روزنه‌ها و یا به طور غیر مستقیم در اثر افزایش آنزیم‌های تجزیه کننده پروتئین‌ها و کلروفیل‌ها باشد که در نهایت باعث کاهش سرعت و میزان فتوسنتز و به تبع آن، کاهش مقدار مواد فتوسنتزی و در نهایت عملکرد علوفه گیاه گردد (Gill & Tiwana, 2018). همچنین کمبود آب سبب کوتاه شدن دورهٔ رشد گیاه، کاهش فتوسنتز برگ‌ها، کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه کاهش اندام‌های رویشی و زایشی می‌شود که در نهایت می‌تواند به کاهش عملکرد علوفه گیاه گردد (Oberoi et al., 2021). سامانه کودی شیمیایی نسبت به بیوارگانیک با حفظ رطوبت و فراهمی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه سبب بهبود فتوسنتز و رشد رویشی گیاه شده کـه ایـن امر موجب افزایش عملکرد علوفه گیاه کاملینا می‌شود (Martinez et al., 2021). به طوری که دلیل تأثیر مثبت تیمارهای کودی شیمیایی و بیوارگانیک بر روابط آبی گیاه میزبان، چرخه مواد غذایی و در دسترس قرار دادن و افزایش جذب عناصر غذایی سبب افزایش رشد، و در نهایت، افزایش عملکرد علوفه شده باشد. با توجه به نتـایج بـه دسـت آمـده در ایـن بررسی، استفاده از سامانه کودی شیمیایی نسبت به بیوارگانیک منجر به افزایش علوفه کاملینا با حفظ و فراهمی رطوبت لازم گردید که از نظـر اقتصادی برای کشاورز مقرون به صرفه می‌باشد.



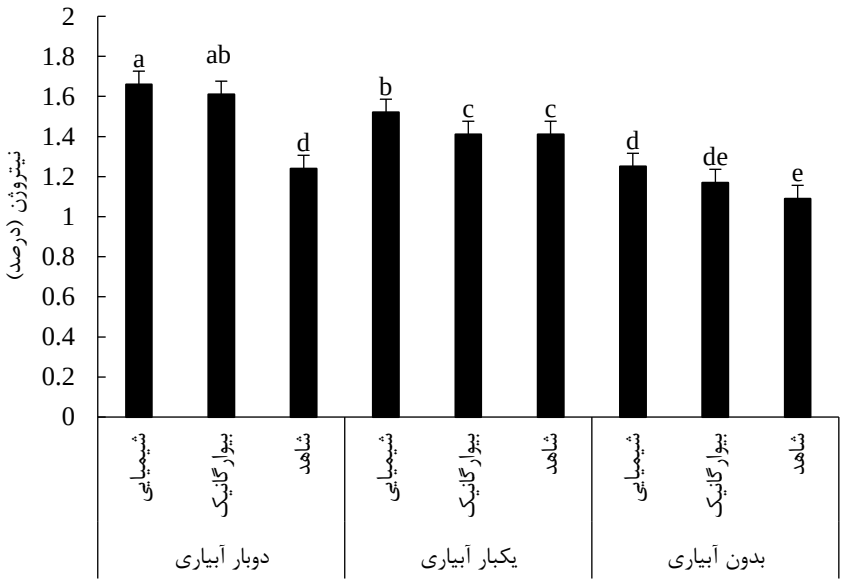
شکل ۲. (الف) تأثیر تیمارهای سطوح آبیاری بر عملکرد خشک علوفه کاملینا و (ب) تأثیر تیمارهای تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد خشک علوفه کاملینا.

طبق آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج تجزیه مرکب تیمارهای آزمایشی در جدول ۲ نشان داده شده است. طبق نتایج به‌دست آمد، علوفه کاملینا (اندام هوایی) تحت شرایط دو بار آبیاری و تیمار کودی شیمیایی بیشترین میزان (۱/۶۶ درصد) نیتروژن را داشت. اما، کمترین میزان (۱/۰۹ درصد) این صفت در گیاهان بدون مصرف کود و آب به‌دست آمد. به طوری که میزان نیتروژن علوفه کاملینا در شرایط دو بار و یک بار آبیاری به طور معنی‌دار بیشتر از مقادیر به‌دست آمده از این صفت در شرایط بدون آبیاری بود (شکل ۳).

نتایج نشان می‌دهند که استفاده از کودهای شیمیایی و بیوارگانیک می‌تواند تأثیر مثبت زیادی بر جذب نیتروژن در گیاه کاملینا بگذارد. به طور خاص، کودهای شیمیایی به دلیل آزادسازی سریع نیتروژن در مراحل اولیه رشد گیاه، منجر به بهبود جذب این عنصر و افزایش سرعت رشد رویشی می‌شوند. این امر موجب بهبود فتوسنتز و افزایش عملکرد علوفه گیاه می‌گردد (Marschner, 2012). علاوه بر این، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در کودهای زیستی نیز به تثبیت نیتروژن هوا و افزایش

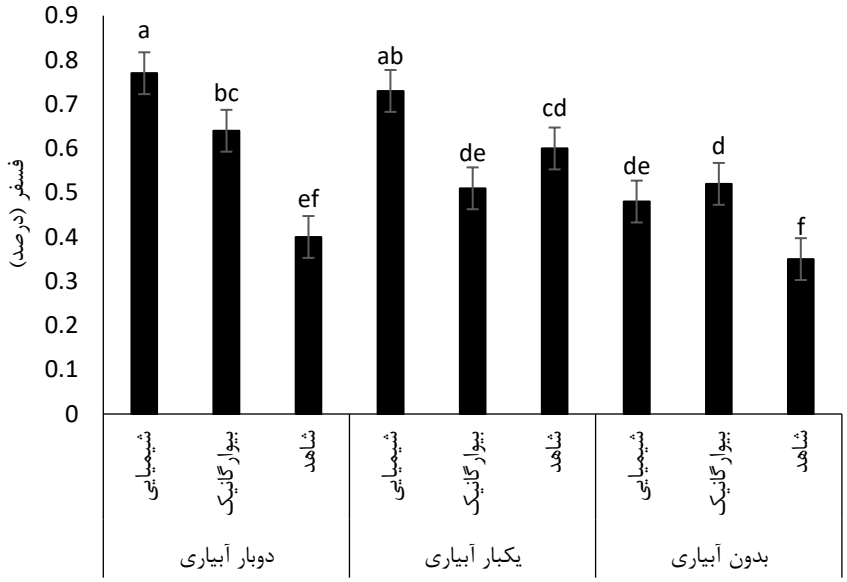
شکل محلول قابل جذب آن در محیط ریشه کمک کرده و از این طریق به افزایش عملکرد ماده خشک گیاهی کمک می‌کنند (Youssef et al., 2004).



شکل ۳. تأثیر تیمارهای مختلف کودی و سطوح آبیاری بر میزان نیتروژن علوفه کاملینا.
طبق آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

میزان فسفر علوفه کاملینا در شرایط دو بار آبیاری به طور معنی‌دار بیشتر از مقادیر به‌دست آمده از این صفت در شرایط یک بار آبیاری و بدون آبیاری بود (شکل ۴). نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کودی به وضوح نشان داد مصرف این کودها در مقایسه با تیمار شاهد منجر به افزایش معنی‌دار میزان فسفر علوفه در هر یک از سطوح آبیاری شد. در گیاهان تیمارشده با تیمار کودی شیمیایی تحت شرایط دو بار آبیاری، بیشترین میزان (۰/۷۷ درصد) فسفر علوفه به‌دست آمد. اما، کمترین میزان این صفت در شرایط بدون آبیاری و بدون مصرف کود با میزان ۰/۳۵ درصد برآورد شد (شکل ۴).

کمبود فسفر در خاک می‌تواند موجب کاهش کیفیت و قابلیت هضم علوفه گیاهان شود (Wróbel et al., 2025). در شرایط کمبود فسفر، دیواره سلولی گیاه تحریک به افزایش ساخت فیبر شده و این امر منجر به کاهش قابلیت هضم و تولید پروتئین در گیاه می‌شود (Coombs et al., 2017). استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌تواند با آزادسازی تدریجی فسفر و دیگر عناصر غذایی، رشد رویشی و جذب عناصر غذایی را بهبود بخشد و در نتیجه کیفیت علوفه را افزایش دهد. همچنین، این کودها به بهبود فعالیت‌های میکروبی در اطراف ریشه کمک کرده و جذب فسفر و عناصر کم‌مصرف را تسهیل می‌کنند (Hassani et al., 2021).

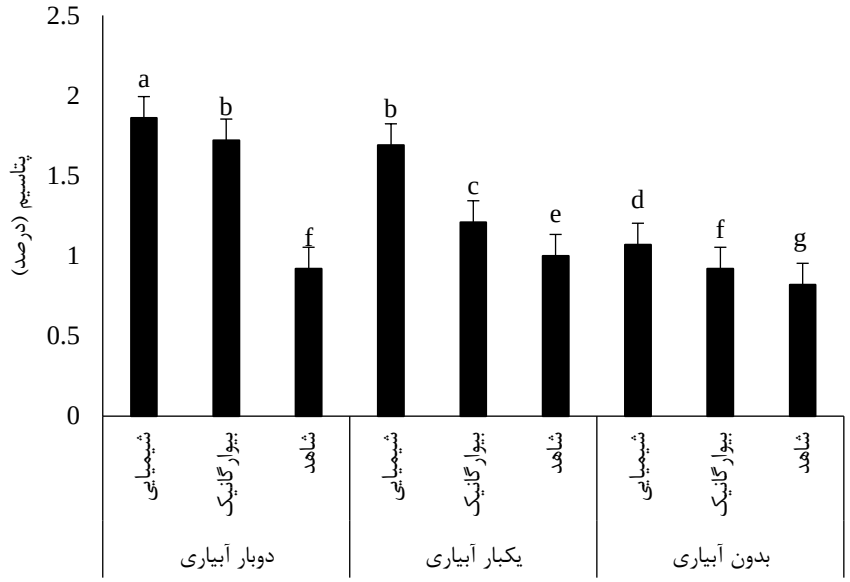


شکل ۴. تأثیر تیمارهای مختلف کودی و سطوح آبیاری بر میزان فسفر علوفه کاملینا.

طبق آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تیمارهای مختلف کودی نشان داد که گیاهان تحت تیمار کودی شیمیایی و بیوارگانیک در مقایسه با تیمار بدون مصرف کود منجر به افزایش معنی‌دار درصد پتاسیم علوفه در هر یک از سطوح آبیاری شد. بیشترین میزان (۱/۸۶ درصد) پتاسیم علوفه تحت شرایط دو بار آبیاری و تیمار کودی شیمیایی مشاهده شد. در حالی که، کمترین میزان آن در گیاهان بدون آبیاری و بدون مصرف کود با ۰/۸۲ درصد به‌دست آمد (شکل ۵). گیاهان تحت تیمار با کاربرد کودی بیوارگانیک در شرایط دو بار آبیاری با گیاهان تحت تیمار با کود شیمیایی در شرایط یک‌بار آبیاری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری در میزان پتاسیم علوفه نشان ندادند (شکل ۵). همچنین، میزان پتاسیم علوفه کاملینا در گیاهان بدون مصرف کود در شرایط دو بار آبیاری با گیاهان تحت تیمار با کود بیوارگانیک در شرایط بدون آبیاری اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۵).

پتاسیم یکی از عناصر حیاتی در فرآیندهای متابولیکی گیاه است که تأثیر زیادی بر رشد گیاهان و به ویژه در تحمل به تنش‌های محیطی مانند خشکی دارد. در شرایط تنش کم‌آبی، جذب پتاسیم کاهش می‌یابد و این امر می‌تواند منجر به کاهش عملکرد و کیفیت علوفه گیاه شود (Amirnia et al., 2019). استفاده از کودهای شیمیایی و بیوارگانیک می‌تواند به بهبود جذب پتاسیم کمک کرده و از طریق بهبود رشد ریشه و توسعه سیستم ریشه‌ای، پایداری گیاه در برابر تنش‌های محیطی را افزایش دهد. به طور کلی، پتاسیم به تنظیم تعادل آبی گیاه کمک کرده و در نتیجه بر بهبود عملکرد علوفه و خوش خوراکی آن تأثیر مثبت می‌گذارد (Alagudurai, 2019).



شکل ۵. تأثیر تیمارهای مختلف کودی و سطوح آبیاری بر میزان پتاسیم علوفه کاملینا.

طبق آزمون دانکن میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری تکمیلی همراه با مصرف کودهای شیمیایی و بیوارگانیک تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد علوفه خشک و افزایش غلظت عناصر پرمصرف کاملینا دارد. بیشترین عملکرد و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در تیمار دو بار آبیاری همراه با مصرف کود شیمیایی (۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار و ۷۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار) به دست آمد. همچنین، استفاده از کود بیوارگانیک شامل ۳۰ تن کود گاوی در هکتار به همراه تلقیح بذر با کودهای زیستی فسفو نیترو کارا و پتابارور۲ ضمن افزایش عملکرد علوفه خشک نسبت به شاهد، سبب بهبود کیفیت علوفه نیز شد که این موضوع در جیره دام در تولید شیر و گوشت، از نظراقتصادی موثر خواهد بود. بنابراین، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، استفاده از دو بار آبیاری تکمیلی همراه با مصرف کود شیمیایی برای حداکثر عملکرد، و یا ترکیب کود بیوارگانیک برای تولید پایدار توصیه می‌شود.

فهرست منابع

Ahmed, Z., Liu, J., Waraich, E. A., Yan, Y., Qi, Z., Gui, D., Zeng, F., Tariq, A., Shareef, M., & Iqbal, H. (2020). Differential physio-biochemical and yield responses of *Camelina sativa* L. under varying irrigation water regimes in semi-arid climatic conditions. *PLoS One*, *15*(12), e0242441. https://doi.org/https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242441

Alagudurai, S. (2019). Water use Efficiency of Pearl Millet and Napier Hybrid Grass Under Irrigation Regimes and Nitrogen Fertigation. In *Management Strategies for Water Use Efficiency and Micro Irrigated Crops* (pp. 71–80). Apple Academic Press .

Alberghini, B., Vicino, M., Zanetti, F., Silvestre, S., Haslam, R., Zegada-Lizarazu, W., & Monti, A. (2025). Assessing different physiological, seed yield and quality responses of camelina lines to drought. *Industrial Crops and Products*, *234*, 121528. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2025.121528

Ali, A., Jabeen, N., Chachar, Z., Chachar, S., Ahmed, S., Ahmed, N., Laghari, A. A., Sahito, Z. A., Farruhbek, R., & Yang, Z. (2025). The role of biochar in enhancing soil health & interactions with rhizosphere properties and enzyme activities in organic fertilizer substitution. *Frontiers in Plant Science*, *16*, 1595208. https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1595208

Amirnia, R., Ghiyasi, M., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Damalas, C. A., & Heydarzadeh, S. (2019). Nitrogen-fixing soil bacteria plus mycorrhizal fungi improve seed yield and quality traits of lentil (Lens culinaris Medik). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *19*(3), 592–602. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s42729-019-00058-3

Coombs, C., Lauzon, J. D., Deen, B., & Van Eerd, L. L. (2017). Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field crops research*, *201*, 75–85. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.001

Dobre, P., Jurcoane, Ș., Cristea, S., Matel, F., Moraru, A. C., & Dinca, L. (2014). Influence of N, P chemical fertilizers, row distance and seeding rate on camelina crop. *AgroLife Scientific Journal*, *3* .(۱)

Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of soil, plant, and water analysis: a manual for the West Asia and North Africa region*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas .

Gill, P., & Tiwana, U. (2018). Growth, NPK uptake and forage quality of napier bajra hybrid as influenced by mulch and irrigation schedules. *Range Management and Agroforestry*, *39*(1), 52–58 .

Haghaninia, M., Javanmard, A., Kahrizi, D., Bahadori, M. B & ,.Machiani, M. A. (2024). Optimizing oil quantity and quality of camelina (*Camelina sativa* L.) with integrative application of chemical, nano and bio-fertilizers under supplementary irrigation and rainfed condition. *Plant Stress*, *11*, 100374. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100374

Hassani, M., Tadayon, M. R., & Fadaei Tehrani, A. A. (2021). The effect of chemical and biological fertilizers on leaf characteristics, yield and nutrient uptake and consumption efficiency, phosphorus and sulfur in Camelina sativa L. *Journal of Plant Process and Function*, *10*(45), 123–140 .

Hazrati, S., Rostami, N., Mohammadi, H., & Ebadi, M.-T. (2024). Improving the growth parameters, yield, and oil quality of camelina in rainfed farming due to the combined use of biochar and supplementary irrigation. *Journal of Agriculture and Food Research*, *16*, 101160 .

Khemmouli, A., Houria, C., Abderrahmane, H., Samir, M., Azzdine, C., & Fouad, R. (2023). Monitoring of limited water supply on oilseed crop (Camelina sativa L. Crantz) under semi-arid environment in the Algerian aures region. *Sustainable Development*, *13*(2), 389–406 .

Khalilzadeh, R., Sharifi, R. S., Jalilian, J. (2016). Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum L.*) *Journal of Plant Interactions,11(1), 130-137*

to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition, 13(2), 389–406.

Mahfouz, H., Megawer, E. A., Maher, A., & Shaaban, A. (2020). Integrated effect of planting dates and irrigation regimes on morpho-physiological response, forage yield and quality, and water use efficiency of clitoria (Clitoria ternatea L.) in arid region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *66*(2), 152–167. https://doi.org/https://doi.org/10.1080/03650340.2019.1605165

Marschner, H. (2012). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press .

Martinez, S., Gabriel, J. L., Alvarez, S., Capuano, A., & Delgado, M. d. M. (2021). Integral assessment of organic fertilization on a camelina sativa rotation under mediterranean conditions .*Agriculture*, *11*(4), 355. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture11040355

Neupane, D., Solomon, J. K., Mclennon, E., Davison, J., & Lawry, T. (2020). Camelina production parameters response to different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, *148*, 112286. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112286

Oberoi, H. K., Singh, J., Tiwana, U. S., & Goyal, M. (2021). Interactive effect of irrigation regimes and sowing dates on morphophysiological response, fodder yield and quality and antinutrient HCN of multi-cut Sorghum in the semi-arid region .

Obour, A. K., Sintim, H. Y., Obeng, E., & Jeliazkov, D. (2015). Oilseed camelina (*Camelina sativa* L Crantz): Production systems, prospects and challenges in the USA Great Plains .*Advances in Plants and Agriculture Research*, *2*(2), 68–76. https://doi.org/https://doi.org/10.15406/apar.2015.02.00043

Wang, H., Xu, J., Liu, X., Zhang, D., Li, L., Li, W., & Sheng, L. (2019). Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil and Tillage Research*, *195*, 104382. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104382

Waraich, E. A., Zeeshan Ahmed, Z. A., Rashid Ahmad, R. A., & Shahbaz, M. (2015 ٢٤ – ٢٠ ,September 2015). *Physiological and biochemical attributes of Camelina sativa (L.) Crantz under water stress conditions* Proceedings of the 17th ASA Conference, Hobart, Australia .

Wróbel, B., Zielewicz, W., & Paszkiewicz-Jasińska, A. (2025). Improving Forage Quality from Permanent Grasslands to Enhance Ruminant Productivity. *Agriculture*, *15*(13), 1438. https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture15131438

Youssef, A., Edris, A. E., & Gomaa, A. (2004). A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of Salvia officinalis L. plants. *Annals of Agricultural Science*, *49*(1), 299–311 .

The effect of supplementary irrigation and fertilizer treatments on the yield and concentration of macronutrients of Camelina plant under rainfed conditions

Ali Aminbaigi[1], Jalal Jalilian[2], Hamidreaz Chaghazardi [3]*, Danial Kahrizi[4], Razieh Khlilzadeh[5]

1. PhD in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran. * Corresponding author: h.chaghazardi@razi.ac.ir
4. Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

Abstract

This study aimed to investigate the effects of supplemental irrigation and chemical and bio-organic fertilization on dry forage yield and the concentration of macronutrients in *Camelina sativa* L. under rainfed conditions. The experiment was conducted as a split-plot within a randomized complete block design with four replications over two growing seasons. Irrigation treatments included rainfed, single irrigation, and double irrigation, while fertilization treatments comprised chemical fertilizer, organic-biofertilizer, and a control (no fertilizer). The results indicated that the application of supplemental irrigation in combination with chemical and bio-organic fertilizers significantly increased dry forage yield as well as nitrogen, phosphorus, and potassium concentrations in Camelina forage. Overall, the use of fertilization, particularly under double irrigation conditions, enhanced both the quantity and quality of Camelina forage. These findings can serve as a guide for improving crop production in arid and semi-arid regions.

Keywords: Bioorganic fertilizer, Drought stress, Oilseed, Organic fertilizer, Rainfed.