مقاله پژوهشی

تأثیر تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت دانه سیاهدانه تحت سطوح مختلف آبیاری

مونا آروند و یوسف سهرابی*

گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان سنندج

(تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۱۱/۲۹، تاریخ پذیرش نهایی:۱۴۰۱/۰۱/۱۶)

چکیده

تنش خشکی از تنش‌های غیرزیستی است که باعث کاهش تولید گیاهان زراعی می‌گردد. بهره‌گیری از کودهای زیستی می‌تواند باعث تعدیل اثرات منفی تنش خشکی و کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در نظام‌های زراعی گردد. به‌منظور بررسی تأثیر مصرف توأم کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت دانه سیاهدانه تحت سطوح مختلف آبیاری، آزمایشی به‌صورت کرت‌های دوبار خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تکرار در بهار سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان اجرا شد. سطوح آبیاری شامل آبیاری به میزان ۱۰۰ و ٪۷۰ نیاز آبی گیاه به‌عنوان فاکتور اصلی و سطوح کودی شامل٪۱۰۰ کودهای شیمیایی، ٪۸۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی، ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی، ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و عدم استفاده از کود (شاهد) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شدند. کود زیستی استفاده‌شده تلفیقی از کود زیستی ازته بارور-۱ + کود زیستی فسفاته بارور-۲ و کود زیستی پتاس بارور-۲ بود. نتایج نشان داد که آبیاری به میزان ٪۷۰ نیاز آبی گیاه باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته (۱۹٪)، تعداد کپسول در بوته (۱۲/۱٪)، تعداد دانه در کپسول (۲۵/۱٪)، وزن هزار دانه (۷/۵٪)، عملکرد دانه (۲۷٪)، عملکرد بیولوژیک (۲۱/۳٪)، شاخص برداشت (۲/۲٪)، محتوای فسفر (۹/۵٪) و پتاسیم دانه (۱۲/۱٪)، عملکرد اسانس (۱۲/۱٪) و روغن دانه (۳۰/۲٪) شد. تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی اثرات مثبتی بر صفات مورد بررسی داشت و درنهایت، بیشترین عملکرد دانه (۷۹۸/۱۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تلفیق ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی حاصل شد. با توجه به اثرات مثبت مصرف توأم کودهای زیستی و شیمیایی بر صفات مرتبط به عملکرد و کیفیت دانه سیاهدانه، جایگزین کردن تلفیقی از کودهای زیستی و شیمیایی به جای مصرف کودهای شیمیایی به تنهایی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، اسانس، تنش خشکی، عملکرد روغن، عناصر معدنی

مقدمه

گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) از خانواده آلاله (*Ranunculacea*) و بومی نواحی مدیترانه‌ای، غرب آسیا و خاورمیانه است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران کشت می‌شود (Rezaei-Chiyaneh *et al.*, 2018). دانه‌ها و روغن گیاه سیاهدانه قرن‌هاست در درمان بیمارهای مختلف استفاده می‌شود. ارزش غذایی بالای دانه‌های این گیاه را می‌توان به وجود مقادیر قابل‌توجهی پروتئین گیاهی، فیبر، مواد معدنی و

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: y.sohrabi@uok.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

ویتامین‌ها مرتبط دانست (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2018). با توجه به اهمیت کیفیت و سلامت ترکیبات مؤثره گیاهان دارویی، بهره‌گیری از اصول اکولوژیک در تولید پایدار این گیاهان موضوعی ضروری است (Raei and Milani, 2014). در بسیاری از مناطق جهان رشد و عملکرد گیاهان توسط تنش‌های مختلف محیطی محدود می‌گردد و در دهه‌های آینده با توجه به تغییرات سریع آب‌وهوایی، این محدودیت‌ها به صورت جدی‌تر بر کشاورزی جهان اثر خواهد گذاشت (Anli *et al*., 2020). تنش خشکی از مؤثرترین تنش‌های غیرزیستی و عامل اصلی محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی است. کشور ایران در منطقه عرض‌های میانی (۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی) و جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا قرار گرفته است. آب مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در این مناطق است. میزان نزولات آسمانی کم و توزیع غیریکنواخت بارندگی، اثرات منفی بر عملکرد گیاهان زراعی در این مناطق می‌گذارد (سرشاد و همکاران، ۱۳۹۹). تنش خشکی نسبت به سایر تنش‌ها شدیدترین اثرات مخرب را بر گیاهان دارد و عامل بسیار مؤثر در توزیع گونه‌های گیاهی است (امیدبیگی، ۱۳۹۴). آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی در تولید گیاهان زراعی مختلف است و کمبود آن در جریان تولید گیاهان می‌تواند صدمات سنگینی به رشدونمو و هم‌چنین مواد مؤثره گیاهان دارویی وارد نماید (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2018; Mathur and Roy, 2021; Moradzadeh *et al*., 2021). خشکی بر انتقال و دسترسی به عناصر غذایی موجود در خاک و ویژگی‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان تأثیرگذار بوده و درنهایت باعث افت عملکرد و کیفیت دانه می‌گردد (Anli *et al*., 2020). مطالعه انجام شده توسط Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۸)، کاهش ۳۴/۶ و ۵۵/۵ درصدی ارتفاع بوته سیاهدانه در تنش ملایم و شدید خشکی در مقایسه با شاهد بدون تنش را نشان داد.

یکی از بهترین راهکارهای کم‌هزینه و سازگار با محیط زیست در جهت کاهش اثرات مخرب ناشی از تنش خشکی بر رشدونمو گیاهان، بهره‌گیری از میکروبیوم گیاهان زراعی است که توجهات جهانی را به خود جلب نموده است (Anli *et al*., 2020; Mathur and Roy, 2021). استفاده از میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی به‌عنوان کودزیستی می‌تواند برای زنده و فعال نگه‌داشتن سیستم زیستی خاک مؤثر باشد. کودهای زیستی در حقیقت انواع مختلفی از ریز موجودات آزادزی یا هم‌زیست را شامل می‌شوند، که اثرات مثبتی در تحریک رشد گیاه دارند و در برخی از فرآیندهای کلیدی بوم‌نظام‌ها مانند فرآیندهای دخیل در کنترل بیولوژیکی پاتوژن‌های گیاهی، چرخه عناصر غذایی و استقرار گیاهچه نقش دارند (Mathur and Roy, 2021). استفاده از کودهای زیستی ضمن افزایش جذب عناصر غذایی از جمله فسفر، ازت و برخی عناصر ریزمغذی به افزایش جذب آب، تولید هورمون‌های گیاهی، آنزیم‌های طبیعی، انواع آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیباتی مانند سیدروفورها و گازهای فرار منجر شده و موجب رشد ریشه، توسعه بخش هوایی گیاه، مقاومت به عوامل بیماری‌زا و حمله نماتدها، کاهش تأثیر منفی تنش‌های محیطی، تأثیر مثبت روی برخی میکروارگانیسم‌های خاک‌زی و بهبود عملکرد و کیفیت محصول گیاهان زراعی می‌گردد (Meena *et al*., 2017; Anli *et al*., 2020; Moradzadeh *et al*., 2021).

اغلب میکروارگانیسم‌های مورد استفاده در کودهای بیولوژیک قادر به آزادسازی عناصر غذایی از ترکیبات نامحلول موجود در محیط ریشه هستند و پس از جذب توسط گیاه باعث افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Meena *et al*., 2017; Kumar *et al*., 2021). تلفیق کودهای زیستی و شیمیایی می‌تواند باعث کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در بوم‌نظام‌های زراعی گردد (Abdelaal *et al*., 2021; Mathur and Roy, 2021). استفاده از کودهای زیستی به‌منظور کاهش مصرف کودهای شیمیایی و افزایش عملکرد گیاهان یک مسأله مهم در جهت حرکت به سمت کشاورزی پایدار است که تحت تنش آب می‌تواند از اهمیت مضاعفی برخوردار باشد (Raei and Milani, 2014). معمولاً موجوداتی که به‌عنوان کود زیستی

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

استفاده می‌شوند از خاک منشأ می‌گیرند و در بیشتر خاک‌ها وجود دارند. تنش‌های محیطی طولانی مدت، مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی، آیش‌های بلند مدت و عدم حضور میزبان مناسب، جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک‌زی را کاهش می‌دهد و به همین دلیل استفاده از مایه تلقیح آن‌ها، ضرورت پیدا می‌کند (Mathur and Roy, 2021). نتایج بررسی‌های Moradzadeh و همکاران (۲۰۲۱) در خصوص تأثیر تیمارهای مختلف کود شیمیایی و کود زیستی روی گیاه سیاهدانه نشان دادند که بیشترین میزان ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و درصد اسانس در تیمار تلفیق ۵۰٪ کود شیمیایی + کودهای زیستی نیتروژنه، فسفاته و پتاسه بدست آمد. نتایج مطالعات خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) نیز مبین آن است که تلقیح سیاهدانه با کودهای بیولوژیک، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد آن را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد. با توجه به مشاهدات Abdel-Aziz و همکاران (۲۰۱۴)، تلقیح بذور سیاهدانه با مخلوط چهار گونه کود زیستی و مصرف نصف مقدار کود نیتروژن توصیه‌شده در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده باعث افزایش تراکم فلور میکروبی شده که درنهایت باعث افزایش بهره‌وری و کیفیت سیاهدانه گردید. نتایج مطالعه Khorramdel و همکاران (۲۰۱۶) نیز حاکی از آن بود که کاربرد کودهای زیستی (آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر) باعث افزایش عملکرد دانه گیاه سیاهدانه شد. آن‌ها اظهار داشتند تلقیح با کودهای زیستی باعث توسعه ریشه، افزایش دسترسی به عناصر غذایی و رطوبت و افزایش تجمع ماده خشک در گیاه شد.

با توجه به اهمیت ترکیبات فنولی اسانس در صنعت داروسازی و نظر به اینکه بهبود کیفیت، کمیت و سلامت مواد مؤثره حاصله از گیاهان دارویی در مقیاس جهانی بسیار حائز اهمیت است به نظر می‌رسد تغذیه سالم این گیاهان از طریق کاربرد کودهای زیستی تطابق بیشتری با اهداف تولید گیاهان دارویی داشته باشد. تلقیح با کودهای زیستی نه تنها نقش اساسی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی دارد، بلکه بر کمیت و کیفیت مواد مؤثره آن نیز مؤثر است (Raei and Milani, 2014; Abdel-Aziz *et al*., 2014; Moradzadeh *et al*., 2021). در مطالعه‌ای صالحی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر مدیریت تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیاهدانه نشان دادند که اضافه‌کردن کود نیتروژن‌دار موجب افزایش میزان روغن، پروتئین و اسانس گیاه سیاهدانه گردید. آن‌ها اظهار داشتند که کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی، میزان روغن، اسانس و میزان تولید پروتئین بیشتری در مقایسه با کاربرد جداگانه کودهای آلی و شیمیایی در پی داشت و به‌طورکلی، کاربرد غیر تقسیطی کود اوره (مصرف کامل کود اوره در زمان کاشت) در تلفیق با کود آلی موجب افزایش کیفیت دانه گیاه دارویی سیاهدانه شد. کود زیستی فسفات بارور ۲ حاوی باکتری‌های مفید حل‌کننده فسفات است که از طریق اسیدی‌کردن خاک و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز باعث رهاسازی یون فسفات از ترکیبات فسفردار می‌شود که قابل جذب توسط گیاهان است. کود زیستی فسفات بارور ۲ علاوه بر افزایش بازده جذب کود، باعث افزایش قابل ملاحظه عملکرد نیز می‌شود (Rathinasabath, 2000). کود زیستی ازتو بارور۱ حاوی باکتری‌های گونه *Azotobacter vinlandii* سویه ۴، است که فعالانه نیتروژن هوا به‌صورت قابل‌جذب برای گیاهان را تثبیت می‌کنند. کود زیستی پتاس بارور ۲ حاوی دو باکتری حل‌کننده پتاسیم (*Pseudomonus putida* و *Pantoea agglomerans*) است که ترکیبات نامحلول پتاسیم موجود در خاک اطراف ریشه را تجزیه کرده و با رهاسازی این یون باعث جذب بهینه پتاسیم می‌شوند. به این ترتیب به‌عنوان جایگزین سالم حداقل ۵۰ درصد کودهای شیمیایی پتاسه کاربرد داشته و توصیه می‌شود (بام‌شاد و همکاران، ۱۳۹۶).

با توجه به اثرات زیست‌محیطی مخرب استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و لزوم توجه به کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در جهت پایداری تولیدات کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست، استفاده از کودهای زیستی در کنار کودهای شیمیایی می‌تواند راهکار مناسبی برای کاهش استفاده از نهاده‌های شیمیایی و اثرات مخرب ناشی از آنها باشد. لذا

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

جدول ۱- میزان بارندگی ماهیانه و حداقل و حداکثر دمای محل اجرای آزمایش در سال ۱۳۹۵

ماه	میانگین دما (°C)	میانگین رطوبت (%)	مجموع بارندگی (mm)	میانگین تبخیر (mm)	ساعات آفتابی ($h\ day^{-1}$)	میانگین سرعت باد ($m\ s^{-1}$)
فروردین	۷/۳۲	۴۹/۵	۴۵/۱	۲	۹/۷	۳/۸
اردیبهشت	۱۳/۴۲	۴۵/۵	۵۷/۹	۳/۵	۱۲/۷	۳
خرداد	۱۸/۵۲	۳۴/۵	۱۴/۶	۸/۲	۱۲/۷	۳/۱
تیر	۲۴/۵۵	۳۲	۰/۵	۸/۴	۹/۶	۳/۱
مرداد	۲۶/۵	۱۸/۹	۰	۱۱/۳	۱۱/۸	۲/۵
شهریور	۲۱/۴	۳۴/۵	۰	۹/۵	۱۰/۶	۲/۷
مهر	۱۷/۷	۳۴/۹	۰	۵/۸	۱۰/۱	۲/۸

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	شن	سیلت	رس	کربن آلی	نیتروژن	هدایت الکتریکی	pH	پتاسیم	فسفر
	(٪)					($dS\ m^{-1}$)		(ppm)	
لومی رسی	۳۱/۶	۲۹	۳۹/۴	۰/۹۵	۰/۰۹	۰/۴۹	۷/۶۲	۳۵۸/۱۵	۵/۷

تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی کاربرد توأم کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد و کیفیت دانه گیاه سیاهدانه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در راستای کاهش اثرات تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاه و بهبود کیفیت دانه انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان (۳۵ کیلومتری شرق شهرستان سنندج) با ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۹ دقیقه انجام شد. اطلاعات هواشناسی منطقه طی دوره رشد محصول در جدول ۱ آمده است. قبل از کاشت به‌منظور تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از نقاط مختلف زمین (شش نقطه) و از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری انجام گرفت. نتایج تجزیه خاک در جدول ۲ ذکر شده است. در این پژوهش، سطوح آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی و سطوح مصرف توأم کودهای شیمیایی و زیستی به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد. سطوح آبیاری شامل آبیاری به میزان ٪۱۰۰ نیاز آبی گیاه و٪۷۰ نیاز آبی گیاه بود. سطوح فاکتور کودی، ترکیبی از کودهای شیمیایی و زیستی در پنج سطح شامل کاربرد ٪۱۰۰ کودهای شیمیایی، ٪۸۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی (تلفیقی ۱)، ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی (تلفیقی ۲)، ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی (تلفیقی ۳) و شاهد (بدون کود) بود.

جهت آماده‌سازی زمین برای کاشت، ابتدا زمین در بهار ۱۳۹۵ توسط گاو آهن برگردان‌دار شخم زده شد. برای خرد کردن کلوخه‌ها از دیسک استفاده شد. ابعاد کرت‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب ۴×۱۱/۵ متر و ۴×۱/۵ متر بود و در هر کرت فرعی شش خط کاشت با فواصل ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌های اصلی و بلوک‌ها دو متر و فاصله بین کرت‌های فرعی ۷۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذور مورد استفاده از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید. عملیات کاشت به‌صورت دستی در اوایل خردادماه انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک برای تیمار ٪۱۰۰ کود شیمیایی، مقدار ۱۳۰ کیلوگرم اوره (۴۶ درصد) و ۵۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد) در خلال عملیات تهیه زمین، مصرف و با خاک مخلوط شد و برای سایر تیمارهای کودی به تناسب درصد میزان کود اوره و سوپر فسفات تریپل تعیین و مصرف گردید. کود زیستی مورد استفاده تلفیقی از کود زیستی ازته بارور-۱ حاوی باکتری‌های گونه *Azotobacter vinlandii* سویه ۴، کود

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

زیستی فسفاته بارور–۲ حاوی *Pseudomonus putida* و *Pantoea agglomerans* و کود زیستی پتاس بارور–۲ بود که از مؤسسه آب و خاک کشور تهیه شد. بذور سیاهدانه یک ساعت قبل از کشت با کودهای زیستی با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) و براساس دستورالعمل توصیه‌شده که شامل 10^8 عدد باکتری زنده و فعال در هر گرم کود زیستی تلقیح شدند. به این صورت که محتوی بسته با آب مخلوط گردید و روی بذرها اسپری (محلول‌پاشی) شد تا یک پوشش کاملاً یکنواخت روی سطح آن‌ها تشکیل شود و سپس بذرها در سایه و به دور از تابش مستقیم نور خورشید خشک شدند. پس از خشک‌شدن بذور تلقیح‌شده، بلافاصله اقدام به کاشت آن‌ها شد.

تا زمان استقرار کامل بوته‌های سیاهدانه، برای تمام تیمارها آبیاری به‌صورت یکسان و کامل انجام گرفت. آبیاری به روش قطره‌ای انجام شد. بعد از استقرار بوته‌ها، تیمارهای آبیاری براساس نیاز آبی گیاه و با استفاده از یک کنتور حجمی به‌طور دقیق اعمال شد.

جهت تعیین نیاز آبی از روش تشتک تبخیر استفاده شد (Kashyap and Panda, 2001; Chegini *et al.*, 2010). در این آزمایش از داده‌های مربوط به تشت تبخیر کلاس A به‌منظور برآورد مقدار نیاز آبی استفاده شد که رابطه‌های آن به شرح زیر است:

$$ET_0 = KP \times ET_{pan}$$ (رابطه ۱)

$$ET_c = KC \times ET_0$$ (رابطه ۲)

$$I = \frac{ET_c}{Ea}$$ (رابطه ۳)

$$V = \frac{I}{1000} \times A$$ (رابطه ۴)

که در آن‌ها ET_0: تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع، KP: ضریب تشتک است که با توجه به اطلاعات بدست آمده از اداره هواشناسی شهرستان سنندج برابر ۰/۸۷۵ بود، ET_{pan}: مقدار تبخیر از تشتک تبخیر برحسب میلی‌متر می‌باشد. مقادیر تبخیر از تشتک شهرستان سنندج در سال ۱۳۹۵، در جدول ۱ آمده است، ET_c: تبخیر و تعرق گیاهی یا نیاز آبی، KC: مقادیر ضریب گیاهی براساس مطالعه زارعی و همکاران (۱۳۹۶) در مراحل مختلف در نظر گرفته شد. Eα: راندمان آبیاری که با توجه به اینکه آبیاری به روش قطره‌ای بود، راندمان آبیاری برابر ۰/۹ در نظر گرفته شد، I: عمق آب آبیاری (برحسب میلی‌متر)، V: حجم آب آبیاری مورد نیاز (برحسب متر مکعب)، A: سطح آزمایش (برحسب متر مربع).

اندازه‌گیری ارتفاع بوته: برای تعیین ارتفاع بوته، در زمان رسیدگی گیاه در هر کرت ارتفاع ساقه اصلی ۱۰ بوته از سطح زمین تا انتهای ساقه با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد و میانگین ۱۰ بوته به‌عنوان ارتفاع بوته در هر واحد آزمایشی منظور گردید.

اندازه‌گیری عملکرد دانه، اجزای عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت: عملیات برداشت هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد بود و هنوز کپسول‌ها شکاف برنداشته بودند انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه، بوته‌های دو متر مربع از هر کرت برداشت شدند و پس از قراردادن بوته‌های هر کرت در پاکت‌های جداگانه به آزمایشگاه منتقل و عملکرد بیولوژیک، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین گردید. برای محاسبه شاخص برداشت از معادله زیر استفاده شد:

(رابطه ۵)

شاخص برداشت = (عملکرد اقتصادی / عملکرد بیولوژیک) × ۱۰۰

اندازه‌گیری محتوای پروتئین: در تعیین محتوای پروتئین دانه ابتدا با استفاده از دستگاه کجلدال، میزان نیتروژن دانه اندازه‌گیری شد و با ضرب محتوای نیتروژن دانه در فاکتور پروتئینی، محتوای پروتئین دانه محاسبه گردید (Liu *et al.*, 2005).

(رابطه ۶) محتوای پروتئین دانه = محتوای نیتروژن دانه × ۶/۲۵

اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم: به‌منظور اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم موجود در دانه سیاهدانه، نمونه‌های بذری ۵۰ گرمی از هر کرت انتخاب گردید و با آب‌مقطر شستشو داده شد. سپس

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. در ادامه، نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب برقی پودر گردیدند و یک گرم از پودر آن‌ها در کروزه ریخته شد. کروزه‌ها به‌مدت پنج ساعت در کوره با دمای ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از سردشدن، محتوی هر کروزه به ارلن ۱۰۰ سی‌سی منتقل شد و ۲۰ سی‌سی اسید هیدروکلریدریک یک درصد به آن اضافه شد. ارلن به‌مدت ۲۰ دقیقه، به‌طور غیرمستقیم حرارت داده شد و در پایان محتوای آن از کاغذ صافی عبور داده شد. عصاره‌های تهیه‌شده برای اندازه‌گیری عناصر غذایی، مورد استفاده قرار گرفتند. برای اندازه‌گیری فسفر، عصاره نمونه‌ها توسط هضم به روش سوزاندن خشک و ترکیب با اسید هیدروکلریک تهیه گردید. میزان فسفر با استفاده از روش رنگ‌سنجی (رنگ زرد مولیبدات وانادات) و با کمک دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۴۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار پتاسیم موجود در عصاره تهیه شده، به روش نشر شعله‌ای و با کمک دستگاه فلیم فتومتری اندازه‌گیری گردید (Chapman and Pratt, 1961).

استخراج اسانس: برای استخراج اسانس از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر استفاده شد. در مرحله استخراج، ابتدا ۱۵۰ گرم از دانه‌های مربوط به هر کرت آزمایشی که در مرحله رسیدگی جمع‌آوری و خشک شده بودند تهیه گردید و پس از آسیاب شدن به بالن دستگاه منتقل شد و به آن آب‌مقطر اضافه گردید. بالن روی هیتر قرار گرفت و بعد از وصل‌شدن به دستگاه اسانس‌گیر حرارت داده شد. پس از به جوش آمدن، نمونه‌ها به‌مدت سه ساعت حرارت داده شدند، در این مدت بعد از به جوش آمدن آب، فشار بخار آب افزایش یافت و تحت تأثیر آن اسانس از بذور آسیاب شده خارج شد و به همراه بخار آب وارد قسمت مبرد گردید. در قسمت مبرد عمل میعان صورت گرفت و قطرات اسانس در درون آب به‌صورت دو فاز مشخص به سمت لوله مدرج حرکت کردند و در آنجا به‌علت کمتربودن وزن مخصوص، اسانس استخراج‌شده روی آب قرار گرفت و آب اضافی از طریق لوله رابط به بالن برگشت پیدا کرد. در پایان، بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه عمل استخراج و اندازه‌گیری درصد اسانس انجام گردید (Kapoor *et al.*, 2004).

عملکرد اسانس: برای هر کرت، عملکرد اسانس از رابطه زیر بدست آمد:

(رابطه ۷)

درصد اسانس × عملکرد دانه = عملکرد اسانس

استخراج روغن: برای استخراج روغن از روش سوکسله استفاده شد. به این منظور از هر کرت مقدار ۲۰ گرم بذر به‌طور تصادفی انتخاب و جهت خشک‌کردن کامل در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت قرار داده شدند. نمونه‌های خشک‌شده در آسیاب به‌طور جداگانه و یکنواخت خرد شدند و از هر نمونه ۱۰ گرم با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید و در کارتوش‌های صافی مخصوص استخراج روغن ریخته شد و کارتوش با یک تکه پنبه مسدود گردید. لوله‌های مخصوص دستگاه سوکسله در حرارت ۲ ±۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک شدند و پس از یک ساعت، توزین لوله‌های خشک‌شده با دقت ۰/۰۰۱ گرم صورت گرفت. صافی‌های کارتوش که هر یک حاوی ۱۰ گرم نمونه بود درون لوله قرار داده شدند و به داخل لوله‌های حلال (اتیل اتر) ریخته شد و در دستگاه با دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت سه ساعت قرار گرفتند. پس از اتمام مدت زمان تصفیه شده، لوله‌ها از دستگاه آون خارج شدند و مجدداً در آون با دمای ۲ ± ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند تا حلال باقیمانده آن خارج گردد. سپس لوله‌های سردشده حاوی روغن با ترازوی ۰/۰۰۱ گرم توزین گردیدند و از تفاضل وزن لوله‌های حاوی روغن و لوله‌های خالی که قبلاً توزین شده بودند وزن روغن محاسبه و از رابطه زیر درصد روغن نمونه‌ها مشخص گردید (Pomeranz and Clifton, 1994).

(رابطه ۸)

۱۰۰× وزن نمونه برداشت‌شده/مقدار روغن نمونه = درصد روغن نمونه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

عملکرد روغن دانه: برای هر کرت، عملکرد روغن دانه از رابطه زیر محاسبه گردید:
(رابطه ۹)

درصد روغن × عملکرد دانه = عملکرد روغن

قبل از تجزیه واریانس داده‌ها آزمون نرمال‌بودن داده‌ها انجام شد و پس از اطمینان از توزیع نرمال آن‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده آن است که اثر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). تحت شرایط تنش خشکی، ارتفاع بوته نسبت به آبیاری کامل ۱۹٪ کاهش یافت (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح کودی، کاربرد کود باعث بهبود ارتفاع بوته سیاهدانه نسبت به شاهد بدون مصرف کود گردید. بیشترین ارتفاع بوته (۳۹/۳۴ سانتی‌متر) از کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و کمترین مقدار (۳۲/۹۸ سانتی‌متر) از تیمار بدون کود حاصل شد (جدول ۴).

از علائم بارز وقوع تنش خشکی؛ کاهش ارتفاع بوته، پژمردگی برگ و تغییرات در تعداد برگ‌های گیاه است. ارتفاع بوته به‌شدت تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد که این مساله به طویل‌شدن سلول و پیری برگ مرتبط است. کاهش ارتفاع بوته تحت شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش توسعه سلول، ریزش برگ‌ها و توقف تقسیم میتوزی است. تنش خشکی باعث کاهش محتوای آب سلول، کاهش فشار آماس و آب بافتی می‌شود که این مسأله منجر به بسته‌شدن روزنه‌ها، کاهش فتوسنتز و اثرات منفی بر بزرگ‌شدن سلول می‌شود. با توجه به اینکه تقسیم و توسعه سلول باعث رشد می‌گردد و توسعه سلول نیز حاصل پتانسیل فشاری مطلوب است، بنابراین رشد به تنش خشکی بسیار حساس است (Yang *et al.*, 2021). به‌طورکلی دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی به‌وسیله کودهای شیمیایی و کودهای بیولوژیک بهبود می‌یابد، به‌ویژه باکتری‌های موجود در کودهای بیولوژیک با آزادسازی فسفر معدنی و آلی، موجب افزایش دسترسی به عناصر غذایی، بهبود ریشه‌زایی و درنهایت افزایش تعداد گره و میان‌گره می‌شوند (Abdel-Aziz *et al.*, 2014; Abdelaal *et al.*, 2021; Mathur and Roy, 2021). باکتری‌های موجود در کودهای بیولوژیک باعث تحریک و تولید هورمون‌های محرک رشد همانند اکسین در گیاه می‌شوند و از این طریق نیز رشد گیاه را بهبود می‌بخشند و باعث افزایش طول میانگره‌ها و درنهایت ارتفاع گیاه می‌شوند (Mathur and Roy, 2021; Moradzadeh *et al.*, 2021). نتایج مطالعات سایر پژوهشگران نیز افزایش ارتفاع بوته گیاه سیاهدانه در تیمار تلفیقی کود شیمیایی + کود زیستی در مقایسه با تیمار شاهد بدون کود و تیمار کود شیمیایی به تنهایی را نشان داد (Abdel-Aziz *et al.*, 2014; Moradzadeh *et al.*, 2021).

تعداد کپسول در بوته: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد کپسول در بوته تنها تحت تأثیر سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری، میانگین تعداد کپسول در بوته در شرایط آبیاری کامل (۳/۱۴ کپسول در بوته) بیشتر از شرایط آبیاری به میزان ۷۰٪ نیاز آبی گیاه (۲/۷۶ کپسول در بوته) بود. تنش کمبود آب به‌صورت میانگین باعث کاهش ۱۲ درصدی تعداد کپسول در بوته نسبت به حالت آبیاری کامل شد. بین تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد (جدول ۴).

با توجه به اینکه سیاهدانه گیاهی است گل انتهایی و رشد محدود و گل و میوه فقط در انتهای هر شاخه تشکیل می‌شود، بنابراین تعداد کپسول در گیاه از تعداد شاخه‌های گل‌دهنده تبعیت می‌کند. تنش خشکی از طریق تأثیر بر تعداد شاخه‌های گل‌دهنده باعث کاهش تعداد کپسول در بوته می‌گردد. نتایج مطالعات Ghamarnia و Jalili (۲۰۱۳) و رضایی‌چیانه وپیرزاد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

جدول ۳- تجزیه واریانس مقادیر صفات مربوط به رشد و عملکرد سیاهدانه تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		ارتفاع بوته	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص
تکرار	۳	۲/۵۶^{ns}	۰/۲۰۶ ^{ns}	۵۱/۶۱^{ns}	۰/۰۰۱۴^{ns}	۲۹۶۷/۴۵^{ns}	۴۲۴۰۶/۷۴^{ns}	۲/۶۹^{n}
آبیاری	۱	/۷۶**	۱/۴۳۶**	۲۲۹۸/۴۰**	۰/۲۸۷۳**	۵۰۱۶۳۴/۵۶	۳۴۷۹۳۲۴/۶۰*	/۳۹
خطا (a)	۳	۸/۸۵	۰/۰۲۵	۴۶/۶۳	۰/۰۰۴۸	۲۱۱۱/۱۱	۲۵۴۲۳/۰۸	۱/۱۲
کود	۴	۴۷/۷۰**	۰/۰۲۶۵^{ns}	۲۷۲/۲۷۶**	۰/۰۲۸۴*	۵۳۷۰۱/۱۹**	۲۷۳۲۷۸/۷۹**	/۷۴
آبیاری× کود	۴	۳/۹۹^{ns}	۰/۰۲۳۵^{ns}	۱۴/۷۹^{ns}	۰/۰۱۰۲^{ns}	۲۴۸۱/۶۲^{ns}	۱۸۴۱۱/۱۲^{ns}	۲/۲۳
خطا (b)	۲۴	۶/۷۳	۰/۰۴۳	۶۴/۳۷	۰/۰۰۶۸	۲۶۱۶/۵۹	۵۷۶۸۱/۱۲	۳/۵۶
ضریب تغییرات (٪)		۷/۰۵	۷/۰۳	۱۵/۱۸	۳/۸۱	۷/۱۳	۹/۷۰	۶/۵۴

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.

جدول ۴- اثر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی بر صفات مرتبط با رشد و عملکرد گیاه سیاهدانه

عامل آزمایشی	ارتفاع بوته (cm)	تعداد کپسول در بوته	تعداد دانه در کپسول	وزن هزار دانه (g)	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک	شاخص برداشت (٪)
					($kg\ ha^{-1}$)		
سطوح آبیاری							
آبیاری کامل	۴۰/۷۲^{a}	۳/۱۳۸^{a}	۶۰/۴۲۳^{a}	۲/۲۵۶^{a}	۸۲۹/۲۰^{a}	۲۷۶۹/۸۸^{a}	۲۹/۹۳۹^{a}
۷۰٪ نیاز آبی گیاه	۳۲/۹۸^{b}	۲/۷۵۹^{b}	۴۵/۲۶۳^{b}	۲/۰۸۷^{b}	۶۰۵/۲۳^{b}	۲۱۸۰/۰۳^{b}	۲۷/۷۸۵^{b}
تیمارهای کودی							
بدون کود یا شاهد	۳۲/۹۸^{c}	۲/۹۵۸^{a}	۴۳/۳۵۴^{b}	۲/۰۷۰^{b}	۵۸۱/۷۰^{c}	۲۲۰۵/۰^{c}	۲۶/۳۵۵^{b}
۱۰۰٪ کودشیمیایی	۳۷/۸۷۲^{ab}	۲/۹۰۲^{a}	۵۴/۸۹۵^{a}	۲/۱۸۱^{a}	۷۴۲/۱۵^{b}	۲۵۰۴/۳^{ab}	۲۹/۴۷۳^{a}
تلفیقی ۱	۳۷/۷۳^{ab}	۲/۹۰۲^{a}	۵۸/۵۸۶^{a}	۲/۱۹۱^{a}	۷۵۲/۸۸^{ab}	۲۵۴۶/۰^{ab}	۲۹/۴۲۰^{a}
تلفیقی ۲	۳۹/۳۴^{a}	۳/۰۴۲^{a}	۵۵/۶۲۱^{a}	۲/۲۲۷^{a}	۷۹۸/۱۸^{a}	۲۷۰۷/۲^{a}	۲۹/۵۷۰^{a}
تلفیقی ۳	۳۶/۴۳^{b}	۲/۹۳۸^{a}	۵۱/۷۵۸^{a}	۲/۱۸۸^{a}	۷۱۱/۱۸^{b}	۲۴۱۲/۳^{bc}	۲۹/۴۹۳^{a}

در هر ستون (مربوط به هر عامل آزمایشی) برای هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند. تلفیقی ۱: ٪۸۰ کودهای شیمیایی +کودهای زیستی، تلفیقی ۲: ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و تلفیقی ۳: ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی.

(۱۳۹۳) نیز نشان داد که تنش کم آبی باعث کاهش تعداد کپسول در بوته گیاه سیاهدانه شد.

تعداد دانه در کپسول: اثر سطوح آبیاری و سطوح کودی روی تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). گیاهانی که تحت شرایط آبیاری کامل رشد کرده بودند، تعداد دانه در کپسول بیشتری (۶۰/۴۲ دانه در کپسول) را نسبت به آبیاری به میزان ۷۰٪ نیاز آبی گیاه (۴۵/۲۶ دانه در کپسول) تولید کردند و تنش کمبود آب منجر به کاهش ۲۵/۰۹ درصدی تعداد دانه در کپسول نسبت به حالت آبیاری کامل شد (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح کودی، بین تیمارهای استفاده از کود تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید؛ اما تمامی تیمارهای کاربرد کود (شیمیایی و تلفیقی) در مقایسه با شاهد بدون مصرف کود باعث افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول گردیدند (جدول ۴).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

تعداد دانه در کپسول، در حقیقت ظرفیت مخزن گیاه را تعیین می‌کند و هر چه تعداد دانه بیشتر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگتری جهت دریافت مواد فتوسنتزی بوده و درنهایت افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد دانه خواهد شد (رضایی‌چیانه و پیرزاد، ۱۳۹۳). نتایج مشاهدات Shahattary و Mansourifar (۲۰۱۷) حاکی از آن است که تأثیر سطوح آبیاری بر تعداد دانه در کپسول در گیاه سیاهدانه معنی‌دار بود به گونه‌ای که آبیاری در سطوح ۵۰ و ۷۰٪ ظرفیت زراعی به‌ترتیب باعث کاهش ۲۳ و ۳۰ درصدی تعداد دانه در کپسول در مقایسه با تیمار آبیاری در ۹۰٪ ظرفیت زراعی شد. به‌طورکلی میزان نیتروژن کافی بعد از شروع گلدهی می‌تواند باعث افزایش تعداد دانه در سنبله شود (خرم‌دل و همکاران، ۱۳۸۹). به‌نظر می‌رسد باکتری‌های موجود در ازتوباکتر از طریق افزایش فراهمی عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم و تلفیق آن با کود شیمیایی سبب بهبود فرایند فتوسنتز و درنهایت منجر به افزایش تعداد دانه در کپسول گیاه سیاهدانه شده است (Kader, 2002). در مطالعه خرم‌دل و همکاران (۱۳۸۹) نیز اثرات مثبت کودهای زیستی بر تعداد دانه در کپسول سیاهدانه مشاهده شد.

وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به وزن هزار دانه بیانگر آن بود که اثر سطوح آبیاری در سطح احتمال یک درصد و تأثیر تیمارهای کودی در سطح احتمال پنج درصد روی این صفت معنی‌دار بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری، وزن هزار دانه در شرایط آبیاری به میزان ۷۰ ٪ نیاز آبی گیاه نسبت به آبیاری کامل ۷/۵٪ کاهش یافت. در مقایسه بین تیمارهای کودی ملاحظه گردید، تیمار کودی کاربرد توأم ۶۰٪ کود شیمیایی + کود زیستی همان‌گونه که بیشترین تعداد کپسول در بوته را به خود اختصاص داد، بیشترین وزن هزار دانه به میزان ۲/۲۲ گرم نیز به این تیمار تعلق گرفت و کمترین آن در تیمار بدون کود به میزان ۲/۰۷ گرم مشاهده شد. بین تیمارهای کاربرد کود تفاوت معنی‌داری ملاحظه نگردید و این تیمارها در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۴).

کاهش وزن هزار دانه در اثر تنش خشکی احتمالاً به‌دلیل کاهش مواد فتوسنتزی بوده است. اثر تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه بسیار بارز است، زیرا عملکرد بالقوه بستگی به وزن هزار دانه دارد که خود، نیاز به تجمع مواد فتوسنتزی در دانه‌ها دارد (رضایی‌چیانه و پیرزاد، ۱۳۹۳؛ Ghamarnia and Jalili, 2013; Bayati *et al*., 2020). کاهش چشمگیر وزن هزار دانه در گیاه سیاهدانه بر اثر تنش خشکی در مطالعه Ghamarnia و Jalili (۲۰۱۳) مشاهده شد.

بهره‌گیری از کودهای شیمیایی باعث ایجاد شرایط تغذیه‌ای مناسب برای تکثیر و فعالیت باکتری‌های ازتوباکتر و سودوموناس می‌گردد زیرا این باکتری‌ها جهت رشدونمو و تثبیت نیتروژن و فسفر نیازمند وجود این عناصر در محیط غذایی هستند. بهبود فتوسنتز به‌وسیله باکتری‌ها علاوه بر افزایش رشد رویشی، عمدتاً به‌دلیل انتقال بهتر عناصر معدنی از خاک به گیاه است (Abdel-Aziz *et al*., 2014; Ullah *et al*., 2021). نتایج مطالعه Abdel-Aziz و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که وزن صد دانه در گیاهانی که با ازتوباکتر تلقیح شده بودند بیشتر از شرایط شاهد بود. نتایج مطالعات قبلی حاکی از آن است که کاربرد کودهای زیستی در تلفیق با مقادیر کمتر کود شیمیایی توانست به نحو مطلوبی نیاز غذایی گیاه را تأمین کرده و جایگزینی مناسب برای مصرف بخشی از کودهای شیمیایی مصرف‌شده در مزارع باشد و درنتیجه، باعث کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی می‌گردد (Mathur and Roy 2021; Moradzadeh *et al*., 2021).

عملکرد دانه: عملکرد دانه تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت اما اثر متقابل سطوح آبیاری و کود روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌های مربوط به عملکرد دانه حاکی از آن بود که تنش کمبود آب منجر به کاهش ۲۷ درصدی عملکرد دانه نسبت به حالت آبیاری کامل شد (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی، مشخص گردید که بیشترین عملکرد دانه به میزان ۷۹۸/۱۸ کیلوگرم در هکتار به گیاهان تحت تیمار توأم ۶۰٪

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

کودهای شیمیایی + کود زیستی تعلق گرفت. بین این تیمار با تیمار تلفیقی ۱ (۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی) تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. تیمارهای کاربرد ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی، تلفیقی ۱ و ۳ (۴۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی) نیز در یک گروه آماری قرار گرفتند. تمامی تیمارهای کاربرد کود عملکرد دانه را در مقایسه با شرایط عدم مصرف کود به‌طور معنی‌داری افزایش دادند (جدول ۴).

در مطالعه حاضر، تنش کمبود آب با کاهش اجزای عملکرد (تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه) میزان عملکرد در واحد سطح را کاهش داد. علت بالاتربودن عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل نسبت به ۷۰٪ نیاز آبی گیاه وجود آب کافی در خاک بود که باعث گردید گیاه به خوبی بتواند آب و مواد غذایی مورد نیاز خود را جذب نماید و از رشد مطلوب و اجزای عملکرد (جدول ۴) بالاتری برخوردار باشد. کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده، اختصاص آسیمیلات بیشتر به ریشه جهت توسعه ریشه به‌منظور جذب آب، افزایش انرژی مصرفی گیاه جهت جذب و بالابردن غلظت شیره سلولی باشد (Bahramzadeh ali abad, 2013).

مطالعه انجام‌شده توسط Khorramdel و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که کودهای زیستی (آزوسپیریلیوم و ازتوباکتر) باعث افزایش عملکرد دانه گیاه سیاهدانه شد. آن‌ها اظهار داشتند که تلقیح با کودهای زیستی باعث توسعه ریشه، افزایش دسترسی به عناصر غذایی و رطوبت و افزایش تجمع ماده خشک در گیاه شد. تجمع مواد آلی توسط باکتری‌های موجود در کودهای زیستی در خاک باعث افزایش توسعه ریشه و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی می‌گردد، به‌طوریکه این شرایط موجب افزایش تعداد دانه و وزن هزار دانه شده و درنتیجه میزان عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Moradzadeh *et al.*, 2021; Mathur and Roy, 2021). به‌نظر می‌رسد تنش کم آبی و عدم تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه توسط منابع کودی بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه داشته است. نیتروژن با تأثیری که بر رشد و توسعه اندام‌هایی رویشی از طریق سنتز پروتئین‌ها، گسترش سطح برگ‌ها و نیز دوام اندام‌های فتوسنتز کننده دارد می‌تواند در افزایش عملکرد دانه در گیاهان نقش مؤثری داشته باشد. تحریک رشد و افزایش عملکرد دانه را می‌توان به تحریک و تولید هورمون‌های گیاهی توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات و نیتروژن نیز نسبت داد (Khorramdel *et al.*, 2016).

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی قرار گرفت و اثر متقابل سطوح آبیاری و کود روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری، عملکرد بیولوژیک در شرایط آبیاری کامل (۲۷۶۹/۸۸ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با تیمار آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه (۲۱۸۰/۰۳ کیلوگرم در هکتار)، ۲۷/۰۶٪ بیشتر بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی بیانگر آن بود که بیشترین عملکرد بیولوژیک به میزان ۲۷۰۷/۲ کیلوگرم در هکتار به تیمار کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی تعلق گرفت، که با تیمارهای کاربرد ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی و تلفیق ۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین عملکرد بیولوژیک معادل ۲۲۰۵ کیلوگرم در هکتار نیز از تیمار عدم کاربرد کود حاصل شد که با تیمار تلفیق کودی ۳ تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴).

مجموعه‌ای از فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از قبیل جذب یون، متابولیسم مواد غذایی، فتوسنتز، تنفس و انتقال مواد، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که در افزایش وزن خشک گیا نیز نقش دارند. تحت شرایط تنش کمبود آب، فرآیندهای مختلف در گیاه مختل شده و گیاه قادر نیست حداکثر پتانسیل ماده خشک خود را تولید کند (حیدری و رضاپور، ۱۳۹۰؛ رضایی‌چیانه و پیرزاد، ۱۳۹۳؛ Abdelaal *et al.*, 2021; Anli *et al.*, 2021). در آزمایش حاضر نیز، کمبود آب باعث کاهش ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد دانه (جدول ۴) گردید و کاهش عملکرد بیولوژیک نیز که برآیند این صفات است دور از انتظار نبود.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

کودهای زیستی از طریق مکانیسم‌های مختلفی نظیر افزایش دسترسی به نیتروژن به‌وسیله تثبیت نیتروژن، تولید هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین، آزادکردن متابولیت‌ها، کنترل بیولوژیک پاتوژن‌های خاک‌زی و افزایش جذب آب و مواد غذایی موجب بهبود رشد و درنهایت افزایش وزن خشک گیاه می‌شوند. از سوی دیگر مصرف کودهای زیستی باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک می‌گردد و به‌طور غیرمستقیم در رشد گیاه تأثیرگذار است (Abdel-Aziz *et al*., 2014; Mathur and Roy, 2021; Moradzadeh *et al*., 2021). در همین رابطه Khorramdel و همکاران (۲۰۱۶) و Moradzadeh و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که به کارگیری کودهای زیستی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک سیاهدانه نسبت به شاهد شد.

شاخص برداشت: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که شاخص برداشت تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بر-اساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری، شاخص برداشت (۲۹/۹۳٪) در شرایط آبیاری کامل بیشتر از تیمار آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه (۲۷/۷۸٪) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی بیانگر آن است که بیشترین شاخص برداشت به میزان ۲۹/۵۷٪ به کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی تعلق داشت که با سایر تیمارهای مصرف کود تفاوت معنی‌دار نشان نداد. کاربرد توأم ۴۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی، ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی و کاربرد توأم ۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند و کمترین شاخص برداشت به میزان ۲۶/۳۵٪ در تیمار بدون مصرف کود مشاهده شد (جدول ۴).

شاخص برداشت که نسبت زیست‌توده اختصاص‌یافته به دانه است معمولاً به‌عنوان شاخصی برای سنجش کارآیی و تعادل بین منبع و مخزن در گیاهان شناخته شده است. هدف از پرورش محصولات زراعی برداشت محصول بیشتر است (Jaleel *et al*., 2009). تنش خشکی از جمله عوامل محدودکننده رشدونمو گیاه است که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی در گیاه، باعث اختلال در تسهیم مواد فتوسنتزی به دانه و درنتیجه کاهش شاخص برداشت می‌گردد (Wnuk *et al*., 2013). درمورد تأثیر تیمارهای کودی می‌توان اظهار داشت مصرف توأم باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات‌های نامحلول با مقادیری از مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود محتوای رطوبتی گیاه شد و درنتیجه، با افزایش فتوسنتز و تولید مواد فتوسنتزی و انتقال آسمیلات به دانه‌ها، شاخص برداشت دانه افزایش یافت. ایجاد موازنه بین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه علاوه بر اینکه باعث بهبود رشد رویشی می‌گردد، در افزایش رشد زایشی نیز مؤثر است و از طریق افزایش تعداد دانه (مخزن قوی‌تر)، درنهایت باعث افزایش شاخص برداشت گیاه می‌شود (حسن‌زاده قورت‌تپه و جوادی، ۱۳۹۴). نتایج مطالعه Moradzadeh و همکاران (۲۰۲۱) بیانگر آن است که مصرف تلفیقی کودهای بیولوژیک و شیمیایی موجب بهبود شاخص برداشت گیاه سیاهدانه در مقایسه با تیمار شاهد بدون مصرف کود و مصرف هر یک از کودها به‌صورت جداگانه شد.

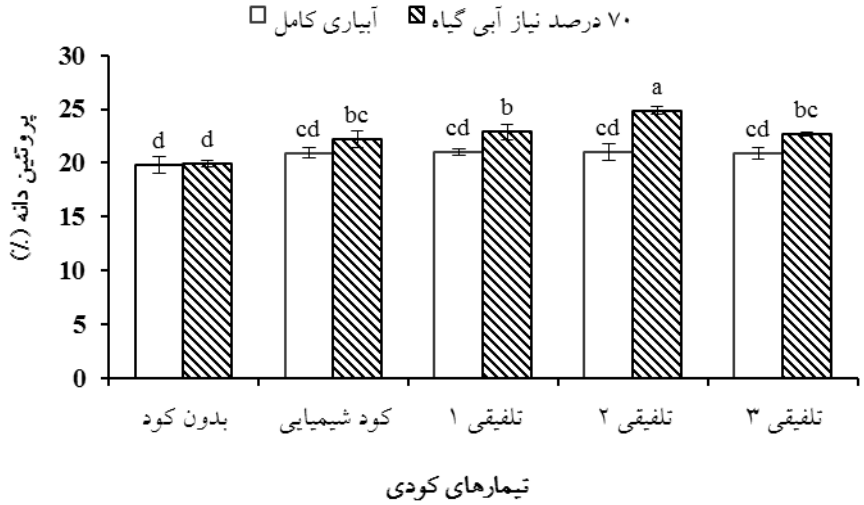
محتوای پروتئین دانه: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اثر تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد و اثر سطوح آبیاری و اثرات متقابل سطوح آبیاری و کودی در سطح احتمال پنج درصد، بر محتوای پروتئین دانه گیاه سیاهدانه معنی‌دار بودند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از آن است که بیشترین پروتئین دانه به میزان ۲۴/۸۵٪ در شرایط آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه و کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی ثبت شد و کمترین مقدار این صفت به میزان ۱۹/۸۱٪ در گیاهان تحت شرایط آبیاری کامل و عدم کاربرد کود مشاهده شد (شکل ۱). اعمال تیمارهای مختلف کودی در آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه نشان داد که تیمارهای کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی+ کودهای زیستی، کاربرد توأم ۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی، کاربرد توأم ۴۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و ۱۰۰٪

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

جدول ۵- تجزیه واریانس محتوای پروتئین دانه، فسفر، پتاسیم، درصد اسانس، عملکرد اسانس، درصد روغن و عملکرد روغن گیاه سیاهدانه تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		پروتئین دانه	فسفر دانه	پتاسیم دانه	درصد اسانس	عملکرد اسانس	درصد روغن	عملکرد روغن
تکرار	۳	۱/۲۶۷^{ns}	۰/۰۰۱۱۱^{ns}	۰/۰۰۰۸۳^{ns}	۰/۰۰۱۹۰^{ns}	۰/۵۰۸^{ns}	۱۲/۱۹^{ns}	/۴۱^{ns}
آبیاری	۱	۳۱/۲۶۷*	۰/۰۸۰۳۵**	۰/۰۹۰۴۳**	۰/۴۰۵۹۶**	۹/۳۵**	۲۱/۵۳*	/۸۳**
خطا (a)	۳	۰/۹۷۰	۰/۰۰۱۴۲	۰/۰۰۰۷۹	۰/۰۰۰۳۶	۰/۱۷	۱/۸۹	۳۲۹/۳۵
کود	۴	۱۰/۰۰۰**	۰/۰۰۸۱۳**	۰/۰۰۷۴۷**	۰/۰۲۸۶۳**	۱۲/۲۱**	۲۵/۸۱**	/۳۶**
آبیاری × کود	۴	۳/۶۳۶*	۰/۰۰۰۲۵۹^{ns}	۰/۰۰۰۵۵^{ns}	۰/۰۰۹۹۲**	۰/۴۹۸^{ns}	۴/۷۲^{ns}	/۰۴^{ns}
خطا (b)	۲۴	۱/۲۳	۰/۰۰۱۸۳	۰/۰۰۱۵۴	۰/۰۰۱۵۳	۰/۴۶۴	۵/۲۵	۴۸۷/۴۱
ضریب تغییرات (٪)		۵/۱۴	۶/۵۹	۴/۱۳	۳/۷	۹/۰۵	۷/۴۲	۹/۸۷

ns، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد است.



شکل ۱- اثر برهمکنش سطوح کودی (بدون کود یا شاهد، ٪۱۰۰ کودهای شیمیایی، تلفیقی ۱: ٪۸۰ کودهای شیمیایی +کودهای زیستی، تلفیقی ۲: ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و تلفیقی ۳: ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی) و سطوح آبیاری بر محتوای پروتئین دانه گیاه سیاهدانه. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد هستند. میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (n=۳) است.

کودهای شیمیایی به‌ترتیب باعث افزایش ۲۴/۸۷، ۱۵/۱۲، ۱۳/۹۶، ۱۱/۴۵ درصدی پروتئین دانه نسبت به تیمار بدون کود شد (شکل ۱).

طبق نتایج بدست آمده در تمامی تیمارهای کودی، بروز تنش خشکی باعث افزایش درصد پروتئین دانه نسبت به آبیاری کامل گردید؛ اگر چه در مواردی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در این زمینه Daniel و Triboi (۲۰۰۸) در مطالعه خود روی ذرت و گندم مشاهده کردند که درصد پروتئین دانه تحت شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط مطلوب آبیاری افزایش یافت، آن‌ها بیان داشتند که کاهش انتقال مواد فتوسنتزی باعث کاهش نسبت حجم آندوسپرم نشاسته‌ای به کل حجم دانه شد و با توجه به اینکه درصد پروتئین در جنین

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

و پوسته در مقایسه با آندوسپرم نشاسته‌ای بیشتر است درنتیجه محتوای پروتئین دانه در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد.

مصرف کودهای شیمیایی و زیستی به‌صورت تلفیقی نیز درصد پروتئین دانه را در مقایسه با تیمار عدم کاربرد کود افزایش داد که احتمالاً با تأمین نیتروژن کافی جهت سنتز پروتئین در ارتباط باشد. همچنین تأمین فسفر و به‌واسطه آن تأمین انرژی مورد نیاز برای سنتز پروتئین از طریق مصرف کودهای شیمیایی و زیستی می‌تواند در این امر کاملاً مؤثر باشد. پژوهش‌های Overman و همکاران (۱۹۹۵) نشان داد که با افزایش مصرف نیتروژن، در مرحله رشد رویشی غلظت این عنصر در اندام‌های گیاه *Zea mays* بالا می‌رود و در زمان پرشدن دانه از طریق انتقال مجدد مواد، نیتروژن بیشتری به دانه‌ها منتقل می‌گردد، که نتیجه آن افزایش درصد پروتئین دانه است. هم‌چنین افزایش محتوای پروتئین بر اثر استفاده از کودهای بیولوژیک به‌دلیل تأثیر تلقیح باکتری‌ها می‌باشد که کارایی تنظیم‌کنندگی رشد، فعالیت فیزیولوژیکی و متابولیسمی را در گیاه افزایش داده‌اند (RamRao *et al*., 2007).

فسفر دانه: تجزیه واریانس داده‌های مربوط به غلظت فسفر دانه مؤید آن است که سطوح آبیاری و تیمارهای کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری نشان داد که تنش کمبود آب منجر به کاهش ۱۲/۵ درصدی فسفر دانه نسبت به حالت آبیاری کامل شد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی نشان داد که بیشترین فسفر دانه به میزان ۰/۶۷۴٪ به کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی مربوط بود و کمترین آن به میزان ۰/۵۹۵٪ در تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد به لحاظ آماری بین تیمارهای مصرف کود تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۶).

در طی بروز تنش خشکی به‌علت بالارفتن غلظت املاح محلول در محیط ریشه و درنتیجه افزایش پتانسیل اسمزی خاک، از جذب عناصر غذایی تا حد زیادی کاسته می‌شود (Gratten and Grieve, 1999). مهم‌ترین دلیل کاهش جذب فسفر تحت شرایط تنش خشکی کاهش رشد ریشه است. در شرایط تنش خشکی توانایی جذب فسفر توسط ریشه‌های گیاه به‌دلیل کاهش قابلیت تحرک فسفر در خاک‌هایی با محتوای پایین آب، کاهش می‌یابد (Murschner, 1995). بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی گیاه سیاهدانه توسط حیدری و رضاپور (۱۳۹۰) نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، محتوای فسفر دانه کاهش یافت.

در توجیه اثرات مثبت کاربرد کودها بر محتوی فسفر دانه می‌توان اظهار داشت ضمن تأمین فسفر مورد نیاز گیاه یا بخشی از آن در کاربرد کودهای شیمیایی، افزودن میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات به خاک نیز باعث افزایش حلالیت فسفر شده و جذب آن توسط گیاه را افزایش می‌دهد که نتیجه آن رشد بهتر گیاه خواهد بود. کودهای زیستی متشکل از میکروارگانیسم‌های مفیدی هستند که هر یک به منظور خاصی همانند تثبیت نیتروژن، رهاسازی یون‌هایی فسفات، پتاسیم، آهن و برخی دیگر از عناصر غذایی تولید می‌شوند، این میکروارگانیسم‌ها معمولاً در اطراف ریشه مستقر شده و گیاهان را در جذب عناصر یاری می‌کنند. این میکروارگانیسم‌ها علاوه بر کمک به جذب عنصری خاص موجب جذب سایر عناصر غذایی، کاهش بیماری‌ها و بهبود ساختمان خاک و درنتیجه تحریک بیشتر رشد گیاهان و افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Mathur and Roy, 2021; Moradzadeh *et al*., 2021; Ullah *et al*., 2021). در این راستا Fallah و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب افزایش معنی‌دار عملکرد و اجزای عملکرد دانه و جذب عناصر غذایی به‌ویژه فسفر در گیاهان می‌شوند.

پتاسیم دانه: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، پتاسیم دانه در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی قرار گرفت (جدول ۵). میزان پتاسیم دانه از یک درصد تحت آبیاری کامل به ۰/۹۰۵٪ تحت شرایط آبیاری به میزان ۷۰٪ نیاز آبی گیاه کاهش یافت (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی، بیشترین پتاسیم دانه به میزان ۰/۹۸٪ در تیمار کاربرد توأم ۶۰٪

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

جدول ۶- اثر سطوح آبیاری و تیمارهای کودی بر محتوای پروتئین دانه، فسفر، پتاسیم، درصد اسانس، عملکرد اسانس، درصد روغن و عملکرد روغن گیاه سیاهدانه

عامل آزمایشی	فسفر دانه	پتاسیم دانه	عملکرد اسانس	درصد روغن	عملکرد روغن
	(٪)		(kg ha^{-1})	(٪)	(kg ha^{-1})
سطوح آبیاری					
آبیاری کامل	۰/۶۹۴^{a}	۱/۰۰^{a}	۸/۰۱^{a}	۳۱/۶۰^{a}	۲۶۳/۲۴^{a}
۷۰٪ نیاز آبی گیاه	۰/۶۰۹^{b}	۰/۹۰۵^{b}	۷/۰۴^{b}	۳۰/۱۳^{b}	۱۸۳/۷۱^{b}
تیمارهای کودی					
بدون کود یا شاهد	۰/۵۹۵^{b}	۰/۹۰۰^{b}	۵/۴۴^{c}	۲۷/۹۳^{b}	۱۶۳/۷۹^{d}
۱۰۰٪ کودشیمیایی	۰/۶۴۹^{a}	۰/۹۵۷^{a}	۷/۸۹^{ab}	۳۰/۹۷^{a}	۲۳۲/۱۳^{b}
تلفیقی ۱	۰/۶۶۶^{a}	۰/۹۶۰^{a}	۸/۲۰^{a}	۳۲/۰۹^{a}	۲۴۱/۹۷^{ab}
تلفیقی ۲	۰/۶۷۴^{a}	۰/۹۸۱^{a}	۸/۶۱^{a}	۳۲/۵۴^{a}	۲۵۹/۶۵^{a}
تلفیقی ۳	۰/۶۶۳^{a}	۰/۹۶۳^{a}	۷/۴۶^{b}	۳۰/۸۳^{a}	۲۱۹/۸۵^{c}

در هر ستون (مربوط به هر عامل آزمایشی) برای هر صفت، میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. تلفیقی ۱: ٪۸۰ کودهای شیمیایی +کودهای زیستی، تلفیقی ۲: ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و تلفیقی ۳: ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی.

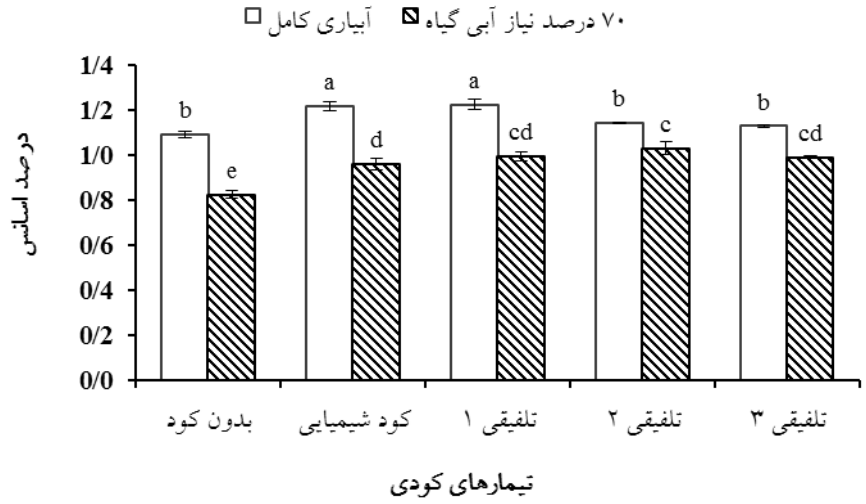
کودهای شیمیایی + کودهای زیستی بدست آمد که با سایر تیمارهای مصرف کود تفاوت معنی‌دار نشان نداد و کمترین آن به میزان ۰/۹۰٪ در تیمار عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۶).

کاهش پتاسیم دانه تحت شرایط تنش خشکی در ارتباط با کاهش آب خاک است که باعث کاهش جریان این عنصر به همراه برخی دیگر از عناصر از خاک به گیاه می‌گردد و درنهایت جذب آن‌ها کاهش پیدا می‌کند (حیدری و رضاپور، ۱۳۹۰). کاهش میزان پتاسیم در این آزمایش با نتایج آزمایش حیدری و رضاپور (۱۳۹۰) روی گیاه سیاهدانه در شرایط کمبود آب مطابقت داشت. نتایج حاصل از مطالعه Moradzadeheh و همکاران (۲۰۲۱) نیز افزایش محتوای پتاسیم دانه گیاه سیاهدانه را در تیمار مصرف تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی در مقایسه با تیمار شاهد و در مصرف کودهای شیمیایی به تنهایی نشان داد. آن‌ها بیان داشتند که افزایش محتوای پتاسیم دانه در تیمارهای مصرف کود به‌دلیل افزایش رشد و توسعه ریشه گیاه است که درنهایت باعث افزایش جذب پتاسیم توسط گیاه می‌گردد. نتایج تحقیق حاضر، با پژوهش‌های Sahni و همکاران (۲۰۰۸) مبنی بر تأثیر کودهای زیستی در افزایش درصد پتاسیم دانه همخوانی داشت.

درصد اسانس: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده سطوح آبیاری و کودی و اثر متقابل آن‌ها بر درصد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان اسانس دانه به مقدار ۱/۲۲٪ به گیاهان تحت آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه و کاربرد توأم ۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی تعلق داشت که با تیمار مصرف ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی تحت آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه اختلاف آماری معنی‌دار نشان نداد. همچنین بین تیمارهای کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی، کاربرد توأم ۴۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و تیمار بدون کود در شرایط آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه از نظر آماری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. کمترین مقدار این صفت ۰/۸۲٪ نیز در گیاهان تحت آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه و عدم مصرف کود مشاهده گردید (شکل ۲).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]



شکل ۲- اثر برهمکنش سطوح کودی (بدون کود یا شاهد، ٪۱۰۰ کودهای شیمیایی، تلفیقی ۱: ٪۸۰ کودهای شیمیایی +کودهای زیستی، تلفیقی ۲: ٪۶۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و تلفیقی ۳: ٪۴۰ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی) و سطوح آبیاری بر درصد اسانس دانه گیاه سیاهدانه. میانگین‌های با حروف غیرمشابه دارای تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد هستند. میله‌های عمودی ± اشتباه معیار میانگین (n=۳) است.

در مطالعه Rezaei-Chiyaneh و همکاران (۲۰۱۸) روی گیاه سیاهدانه مشخص شد که تنش کمبود آب علی‌رغم کاهش عملکرد دانه و عملکرد اسانس باعث افزایش درصد اسانس شد. این پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش درصد اسانس در گیاه سیاهدانه در شرایط تنش کمبود آب ممکن است به‌دلیل نوعی مکانیسم تحمل گیاه در شرایط تنش باشد. در کل، با افزایش تنش خشکی از ماده خشک تولیدی گیاه کاسته می‌شود و به‌طور همزمان روی میزان اسانس، ترکیب و مقدار مواد مؤثره اثر می‌گذارد. بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه به‌صورت ژنتیکی کنترل می‌شود ولی ساخت آنها به‌شدت توسط تنش‌های رطوبتی تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Rezaei-Chiyaneh *et al*., 2018; Bayati *et al*., 2020). در این پژوهش به‌دلیل کمبود آب در دسترس گیاه، میزان اسانس دانه افزایش یافته است و این روند در تیمار آبیاری ۷۰٪ نیاز آبی گیاه مشهود است.

در ارتباط با افزایش میزان اسانس در اثر مصرف تیمارهای مختلف کودی می‌توان اظهار داشت از آنجا که اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرنوئیدها) نیازمند NADPH و ATP هستند و با توجه به این مطلب که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل این ترکیبات، ضروری است لذا مصرف کودهای زیستی و شیمیایی نیتروژنی موجب افزایش اسانس گیاه می‌شود (Kapoor *et al.*, 2004). در همین رابطه Nurzynska-Wierdak (۲۰۱۳) اظهار داشت که میزان اسانس گیاهان دارویی با افزایش عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر و پتاسیم و به کارگیری کودهای زیستی افزایش می‌یابد.

عملکرد اسانس: براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر سطوح آبیاری و سطوح کودی بر عملکرد اسانس گیاه سیاهدانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری مؤید آن است که آبیاری به میزان ۷۰٪ نیاز آبی گیاه باعث کاهش ۱۲ درصدی عملکرد اسانس نسبت به شرایط آبیاری کامل شد (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی حاکی از آن است که بیشترین عملکرد اسانس به میزان ۸/۶۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و کمترین آن به میزان ۵/۴۴ کیلوگرم در هکتار در تیمار بدون کود مشاهده شد. بررسی اثر تیمارهای مختلف کودی نشان داد که تیمارهای کودی کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

شیمیایی+ کودهای زیستی، کاربرد توأم ۸۰٪ کودهای شیمیایی + زیستی، ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی و کاربرد توأم ۴۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی به‌ترتیب باعث افزایش ۵۸/۲۷، ۵۰/۷۳، ۴۵/۰۳، ۳۷/۱۳ درصدی عملکرد اسانس نسبت به تیمار بدون کود شدند (جدول ۶).

از آنجایی که عملکرد اسانس تابع درصد اسانس و عملکرد دانه است، بنابراین اگر چه در شرایط تنش درصد اسانس افزایش یافت، ولی به‌دلیل کاهش محسوس عملکرد دانه، درنهایت عملکرد اسانس در شرایط کمبود رطوبت نسبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت. نتایج مطالعات قبلی نیز حاکی از کاهش عملکرد اسانس در گیاه سیاهدانه بر اثر تنش خشکی است (حیدری و رضاپور، ۱۳۹۰؛ Hadi *et al*., 2016). با توجه به اینکه کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی مورد استفاده در این آزمایش باعث تأمین نیتروژن و فسفر مورد نیاز گیاه گردید و حضور این عناصر در گیاه برای رشد، عملکرد و تولید متابولیت‌های ثانویه ضروری است (Khorramdel *et al*., 2016; Mathur and Roy, 2021)، لذا استفاده از کود در مقایسه با عدم کاربرد کود باعث افزایش دو جزء عملکرد اسانس یعنی عملکرد دانه و درصد اسانس گردید. در همین رابطه Moradzadeh و همکاران (۲۰۲۱) اظهار داشتند که بیشترین میزان عملکرد اسانس سیاهدانه در تیمار مصرف توأم کودهای زیستی و شیمیایی و کمترین میزان آن در تیمار شاهد بدون مصرف کود مشاهده شد.

درصد روغن: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سطوح کودی در سطح احتمال یک درصد و سطوح آبیاری در سطح احتمال پنج درصد بر درصد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۵). درصد روغن دانه در شرایط آبیاری کامل (۳۱/۶۰ درصد) بیشتر از تیمار آبیاری به میزان ۷۰٪ نیاز آبی گیاه (۳۰/۱۳ درصد) بود (جدول ۶). براساس نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی، کاربرد کودهای زیستی و شیمیایی (در مقایسه با شاهد) درصد روغن دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. کمترین درصد روغن دانه (۹۳/۲۷٪) از تیمار عدم کاربرد کود حاصل شد (جدول ۶).

کاهش محتوای روغن دانه تحت شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل کاهش فعالیت فتوسنتزی در برگ‌ها باشد که درنهایت باعث کاهش انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می‌گردد. علاوه‌براین اکسیداسیون اسیدهای چرب غیراشباع در شرایط تنش خشکی نیز باعث کاهش محتوای روغن دانه می‌گردد. همچنین با افزایش شدت کمبود آب، مقدار تنفس گیاه افزایش می‌یابد و از این طریق انرژی نگهداری پایه گیاه بیشتر و از ذخایر چربی گیاه کاسته خواهد شد و درنتیجه، درصد روغن دانه کاهش می‌یابد (Bayati *et al*., 2020). نتایج تحقیق حاضر با نتایج Bayati و همکاران (۲۰۲۰) مبنی بر کاهش درصد روغن در ارقام مختلف سیاهدانه بر اثر تنش خشکی مطابقت داشت.

بر طبق نتایج حاصل از پژوهش Moradzadeh و همکاران (۲۰۲۰) کاربرد کودهای زیستی به‌صورت تلفیق با کود شیمیایی باعث افزایش محتوای روغن دانه، در گیاه سیاهدانه دانه شد. این محققان بیان داشتند که بیشترین و کمترین درصد روغن دانه به‌ترتیب به تیمار تلفیق کودهای زیستی + ۵۰٪ کود شیمیایی و شاهد بدون مصرف کود به‌ترتیب به میزان ۴۶/۳۳ و ۳۴/۲۰٪ تعلق داشت. Abdel-Aziz و همکاران (۲۰۱۴) نیز افزایش محتوای روغن دانه گیاه سیاهدانه بر اثر مصرف کود زیستی در مقایسه با تیمار شاهد را گزارش کردند.

عملکرد روغن: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها اثرات جداگانه سطوح کودی و آبیاری در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد روغن معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین مربوط به سطوح آبیاری نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۳۰/۲۱ درصدی عملکرد روغن سیاهدانه شد (جدول ۶). نتایج حاصل از مقایسه میانگین مربوط به سطوح تیمارهای کودی بیانگر آن است که بیشترین عملکرد روغن به میزان ۲۵۹/۶۵ کیلوگرم در هکتار در تیمار کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و کمترین آن به میزان ۱۶۳/۷۹ کیلوگرم در هکتار در تیمار بدون کود مشاهده شد. در مقایسه سایر تیمارهای کودی مشاهده گردید؛ بین تیمارهای کاربرد توأم ۸۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

زیستی، کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی و کاربرد ۱۰۰٪ کودهای شیمیایی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۶).

وقوع تنش کمبود آب و افزایش شدت آن طی مراحل رشد گیاه میزان آسیمیلات در دسترس گیاه و تشکیل اندام‌های زایشی را محدود می‌کند. درنتیجه، روابط منبع و مخزن مختل می‌شود و درنهایت به کاهش عملکرد دانه می‌انجامد. این مسئله موجب کاهش عملکرد روغن در واحد سطح خواهد شد (رضایی‌چیانه و پیرزاد، ۱۳۹۳؛ Ghamarnia and Jalili, 2013; Bayati *et al*., 2020). Ghamarnia و Jalili (۲۰۱۳) در مطالعه خود با بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری شامل آبیاری به میزان ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه بر سیاهدانه، نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی عملکرد دانه و عملکرد روغن کاهش یافت.

از سوی دیگر افزایش عملکرد دانه به‌دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و زیستی منجر به افزایش عملکرد روغن گردید. عملکرد روغن از حاصلضرب عملکرد دانه در درصد روغن دانه بدست آمد و تابعی از این دو مؤلفه است (Hadi *et al*., 2016; Moradzadeh *et al*., 2021). در آزمایشی که توسط حسن‌زاده قورت‌تپه و جوادی (۱۳۹۴) انجام گرفت مشخص گردید که با مصرف نیتروژن، سوبسترای بیشتری برای سنتز پروتئین فراهم گردید و مواد فتوسنتزی بیشتری به ساخت پروتئین اختصاص داده شد، درنتیجه جهت سنتز روغن سوبسترای کافی در اختیار گیاه قرار نگرفت. بنابراین درصد روغن کاهش یافت، اما این کاهش منجر به کاهش عملکرد روغن نگردید. در واقع کاربرد نیتروژن بیشتر برای حصول عملکرد اقتصادی بالاتر مانعی ندارد، اما با کاهش مقدار نیتروژن و افزایش درصد روغن، کاهش حاصل از عملکرد دانه نمی‌تواند جبران شود. کاربرد کودها از طریق تأثیر بر اجزای عملکرد موجب اثر بر عملکرد دانه گردید، به‌طوریکه به‌واسطه افزایش معنی‌دار تعداد دانه در کپسول و وزن هزار دانه (جدول ۴) در مقایسه با شاهد (بدون کود) موجب افزایش عملکرد دانه شد و از این طریق موجب افزایش عملکرد روغن گردید. با توجه به دامنه نسبتاً پایین تغییرات درصد روغن دانه در اثر عوامل محیطی، چنین به‌نظر می‌رسد که اصولی‌ترین راه در حالت فعلی برای دست‌یابی به روغن استحصالی بالاتر در واحد سطح افزایش راندمان تولید دانه است که تاحدی عملی‌تر و راحت‌تر است (Ghamarnia and Jalili, 2013; Bayati *et al*., 2020).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از پژوهش حاضر بیانگر آن بود که کاهش آب در دسترس گیاه سیاهدانه باعث کاهش مقادیر صفات ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، محتوای فسفر و پتاسیم دانه، عملکرد اسانس، درصد و عملکرد روغن دانه شد؛ ولی محتوای پروتئین دانه و درصد اسانس دانه را افزایش داد. بیشترین عملکرد دانه (۷۹۸/۱۹ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد اسانس دانه (۸/۶۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد روغن (۲۵۹/۶۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار کاربرد توأم ۶۰٪ کودهای شیمیایی + کودهای زیستی مشاهده شد. به‌طورکلی می‌توان بیان داشت که کاربرد تلفیقی کودهای زیستی و شیمیایی باعث بهبود صفات مورد بررسی نسبت به تیمار شاهد (عدم مصرف کود) و یا مصرف کود شیمیایی به تنهایی شد. لذا با توجه به اثرات مثبتی که کودهای زیستی بر صفات مرتبط با عملکرد و کیفیت دانه گیاه سیاهدانه به‌ویژه تحت شرایط کمبود آب داشت، همچنین نظر به اهمیت کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار و ضرورت تولید گیاهان دارویی در نظام‌های زراعی، کودهای زیستی می‌توانند جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای شیمیایی در تولید این گیاهان باشند.

منابع

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

امیدبیگی، ر. (۱۳۹۴) تولید و فرآوری گیاهان دارویی. جلد اول، انتشارات آستان قدس رضوی.

بام‌شاد، ر.، رمرودی، م. و اصغری‌پور، م. (۱۳۹۶) اثر کودهای شیمیایی و زیستی بر عملکرد دانه و ویژگی‌های بیوشیمیایی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط قطع آبیاری. نشریه به‌زراعی کشاورزی ۲۰: ۶۶۶-۶۵۵.

حسن‌زاده قورت تپه، ع. و جوادی، ح. (۱۳۹۴) بررسی اثرات کاربرد کود نیتروژن و تلقیح با کودهای بیولوژیک (آزوسپریلیوم و ازتوباکتر) بر عملکرد، اجزای عملکرد و روغن کلزای بهاره در آذربایجان غربی. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی ۱۸: ۴۹-۳۹.

حیدری، م. و رضاپور، ع. (۱۳۹۰) اثر تنش خشکی و کود گوگرد بر عملکرد دانه، کلروفیل و غلظت عناصر معدنی در گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی ۱: ۹۰-۸۱.

خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و قربانی، ر. (۱۳۸۹) اثر کودهای بیولوژیک بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۵: ۷۷۶-۷۶۸.

رضایی‌چیانه، ا. و پیرزاد، ع. (۱۳۹۳) اثر سالیسیلیک اسید بر عملکرد، اجزای عملکرد و اسانس سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) در شرایط تنش کم آبی. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران ۱۲: ۴۳۷-۴۲۷.

زارعی، ع.، ظهرابی، ص. و بومه، ف. (۱۳۹۶) ارزیابی مراحل مختلف رشد و تعیین ضرایب (Kc) سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۳: ۶۰۷-۵۹۷.

سرشاد، ا.، طالعی، د.، ترابی، م.، رفیعی، ف. و نجات‌خواه، پ. (۱۳۹۹) اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت دانه ارقام مختلف سورگوم دانه‌ای. نشریه علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی ۴۵: ۷۵-۶۱.

صالحی، ع.، فلاح، س.، عباسی، ع.، ایرانی‌پور، ر. و حیدری، م. (۱۳۹۴) اثر مدیریت تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.). دوماهنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۳۱: ۲۶۱-۲۴۸.

Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Kiraly, L. and Kunstler, A. (2021) The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. Biology 10: 520.

Abdel-Aziez, S. M., Eweda, W. E., Girgis, M. G. Z. and Abdel Ghany, B. F. (2014) Improving the productivity and quality of black cumin (*Nigella sativa* L.) by using Azotobacter as N_2 bio fertilizer. Annals of Agricultural Sciences 59: 95-108.

Anli, M., Baslam, M., Tahiri, A., Raklami, A., Symanczik, S., Boutasknit, A. and Meddich, A. (2020) Biofertilizers as strategies to improve photosynthetic apparatus, growth, and drought stress tolerance in the date palm. Frontiers in Plant Science 11.

Bahramzadeh ali abad, A. (2013) Effects of manures and chemical fertilizers and their interaction on qualitative and quantitative characteristics of cumin *(Cuminum cyminum)* under drought stress. MSc thesis. University of Zabol. Zabol.

Bayati, P., Karimmojeni, H. and Razmjoo, J. (2020) Changes in essential oil yield and fatty acid contents in black cumin (*Nigella sativa* L.) genotypes in response to drought stress. Industrial Crops and Products 155: 112764.

Chapman, H. D. and Pratt, P. F. (1961) Methods of analysis for soils, plants and waters, University of California, Division of Agricultural Science.

Chegini, M. A., Rezaeirad, B. and Ghalebi, S. (2010) Determination of crop transpiration coefficient (Kc) at various growth stages of sugarbeet. Plant Ecophysiology (Jiroft Branch) 2: 31-36.

Daniel, C. and Triboi, E. (2008) Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperature and water stress. European Journal of Agronomy 16: 1-12.

Fallah, J., Koocheki, A. and Rezavani Moghadaam, P. (2006) Effects of viofertilizers on quantitive and qualitative chamomile as a medicinal plant. Journal of Agriculture Research 7: 127-135.

Ghamarnia, H. and Jalili, Z. (2013) Water stress effects on different Black cumin (*Nigella sativa* L.) components in a semi-arid region. International Journal of Agronomy and Plant Production 4: 545-554.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

Gratten, S. R. and Grieve, C. M. (1999) Salinity mineral nutrient in norticultural crops. Journal Horticultural Science 78: 127-157.

Hadi, M. R. H. S., Darzi, M. T. and Riazi, G. (2016) Black cumin (*Nigella sativa* L.) yield affected by irrigation and plant growth promoting bacteria. Journal of Medicinal Plants and By-Products 5: 125-133.

Jaleel, C. A., Manivannan, P. A. R. A. M. A. S. I. V. A. M., Wahid, A., Farooq, M., Al-Juburi, H. J., Somasundaram, R. A. M. A. M. U. R. T. H. Y. and Panneerselvam, R. (2009) Drought stress in plants: A review on morphological characteristics and pigments composition. International Journal of Agriculture and Biology 11: 100-105.

Kader, M. A. (2002) Effects of Azotobacter inoculant on the yield and nitrogen uptake by wheat. Journal of Biological Science 2: 259-261.

Kapoor, R., Giri, B. and Mukerji, K. G. (2004) Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93: 307-311.

Kashyap, P. S. and Panda, R. K. (2001) Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficients for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management 50: 9-25.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. and Ghorbani, R. (2016) Evaluation of inoculation with nitrogen and phosphorus biofertilizers on yield and radiation use efficiency of black cumin (*Nigella sativa* L.) under Mashhad climatic conditions. Journal of Plant Nutrition 39: 2015-2024.

Kumar, S., Sindhu, S. S. and Kumar, R. (2021) Biofertilizers: An ecofriendly technology for nutrient recycling and environmental sustainability. Current Research in Microbial Sciences 100094.

Liu, H. P., Yu, B. J., Zhang, W. H. and Liu, Y. L. (2005) Effect of osmotic stress on the activity of Ht ATPase and the levels of covalently and non-covalenty conjugated polyamines in plasma membrance preparation from wheat seeding roots. Plant Sciences 168: 1599-1607.

Mathur, P. and Roy, S. (2021) Insights into the plant responses to drought and decoding the potential of root associated microbiome for inducing drought tolerance. Physiologia Plantarum 172: 1016-1029.

Meena, V. S., Meena, S. K., Verma, J. P., Kumar, A., Aeron, A., Mishra, P. K. and Dotaniya, M. L. (2017) Plant beneficial rhizospheric microorganism (PBRM) strategies to improve nutrients use efficiency: A review. Ecological Engineering 107: 8-32.

Moradzadeh, S., Siavash Moghaddam, S., Rahimi, A., Pourakbar, L., El Enshasy, H. A. and Sayyed, R. Z. (2021) Bio-chemical fertilizer improves the oil yield, fatty acid compositions, and macro-nutrient contents in *Nigella sativa* L. Horticulturae 7: 345.

Murschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. London, Academic Publishing.

Nurzynska-Wierdak, R. (2013) Does mineral fertilization modify essential oil content and chemical composition in medicinal plants. Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus 12: 3-16.

Overman, A. R., Wilson, D. M., Vidak, W., Allhands, M. N. and Perry, T. C. (1995) Model for partitioning of dry matter and nutrients in corn. Journal of Plant Nutrition 18: 959-968.

Pomeranz, Y. and Clifton, E. (1994) Food Analysis: Theory and Practice, 3rd Ed. Chapman and Hall.

Raei, Y. and Milani, M. A. (2014) Organic cultivation of medicinal plants: A review. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 4: 6-18.

RamRao, D. M., Kodandaramaiah, J. and Reddy, M. P. (2007) Effect of VAM fungi and bacterial biofertilizers on mulberry leaf quality and silkworn cocoon characters under semiaride conditions. Caspian Journal of Environment Science 5: 111-117.

Rathinasabath, B. (2000) Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways. Annals of Botany 86: 709-716.

Rezaei-Chiyaneh, E., Seyyedi, S. M., Ebrahimian, E., Siavash-Moghaddam, S. and Damalas, C. A. (2018) Exogenous application of gamma-aminobutyric acid (GABA) alleviates the effect of water de ficit stress in black cumin (*Nigella sativa* L.). Industrial Crops and Products 112: 741-748.

Sahni, S., Sarma, B. K., Singh, D. P., Singh, H. B. and Singh, K. P. (2008) Vermicompost enhances performance of plant growth-promoting rhizobacteria in *Cicer arietinum* rhizosphere against *Sclerotium rolfsi*. Crop Protection 27: 369.

Shahattary, F. S. and Mansourifar, C. (2017) The effect of drought stress on morphological and physiological traits and essence percentage of medicinal plant (*Nigelle sativa* L.). Bioscience Biotechnology Research Communications 11: 298-305.

Ullah, N., Ditta, A., Imtiaz, M., Li, X., Jan, A. U., Mehmood, S. and Rizwan, M. (2021) Appraisal for organic amendments and plant growth-promoting rhizobacteria to enhance crop productivity under drought stress: A review. Journal of Agronomy and Crop Science 207: 783-802.

Wnuk, A., Gorny, A. G., Bocianowski, J. and Kozak, M. (2013) Visualizing harvest index in crops. Communications in Biometry and Crop Science 8: 48-59.

Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z. and Chen, S. (2021) Response mechanism of plants to drought stress. Horticulturae 7: 50.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]

Effect of combining biological and chemical fertilizers on yield and quality of Black Cumin grain under different irrigation levels

Mona Arvand and Yousef Sohrabi*

Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Kurdistan University,
(Received: 18/02/2022, Accepted: 15/04/2022)

Abstract

Drought stress is one of the abiotic factors that reduces crop production. The use of biofertilizers can mitigate the negative effects of drought stress and reduce chemical inputs on agricultural systems. In order to investigate the effect of combined management of chemical and biological fertilizers on yield and quality-related traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) under different irrigation levels, a split-plot experiment was conducted based on a randomized complete block design with four replications at a research farm University of Kurdistan during 2016 spring. Two irrigation levels (100% and 70% of plant water requirement) were randomized on the main plot. Five fertilizer levels (100% chemical fertilizers, 80% chemical fertilizers + biofertilizers, 60% chemical fertilizers + biofertilizers, 40% chemical fertilizers + biofertilizers, and non-fertilizer application) were randomized on a sub-plot. The results showed that irrigation by 70% of the plant water requirement significantly ramped down plant height (19%), number of capsules per plant (12.1%), number of seeds per capsule (25.1%), 1000-seed weight (0.5). 7%), grain yield (27%), biological yield (21.3%), harvest index (2.2%), phosphorus content (9.5%) and grain potassium (12.1%), essential oil (12.1%) as well as oil yield (30.2%). The combination of bio-chemical fertilizers had positive effects on the studied traits. Finally, the highest grain yield was obtained from the combined treatment of 60% chemical fertilizers + bio-fertilizers (798.18 kg ha^{-1}). Due to the positive effects of combining bio-chemical fertilizers on the yield and quality of black cumin, it is recommended to replace the combination of bio-chemical fertilizers instead of using only chemical fertilizers.

Keywords: Azotobacter, Essential oil, Drought stress, Oil yield, Mineral elements

Corresponding author, Email: y.sohrabi@uok.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-20]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1401.11.50.8.3]