

Study of Manure Application and Irrigation Interruption on Yield and Yield Components of Black Cumin (*Nigella sativa*)

Farzad Mondani^{*1}, Ayoub Rostami Mamo²

- 1- Associated Professor of Crop Ecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.
- 2- Msc Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran.

Introduction: Water is one of the most important environmental factors that has a significant impact on the growth and development as well as the accumulation of active ingredients in medicinal plants. Low amounts of water during plant growth stages can cause irreparable damage to the growth and development as well as the active ingredients in plants. Irrigation interruption is a desirable solution for crop production under water shortage conditions. In principle, plants selected for irrigation interruption should be resistant to water shortage stress and its effects on growth and yield at different growth stages should be carefully examined. Soil nutrient management is of particular importance in the production of medicinal plants. On the other hand, moisture deficiency stress, as the most important factor limiting production, leads to a decrease in plant yield. Therefore, this study aimed to investigate the effect of animal manure on grain yield, grain components, and essential oil yield of black cumin under irrigation interruption conditions.

Material and Methods: The experiment was conducted in form split plot based on the randomized complete block design (RCBD) with three replications, at the Research Farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University in 2022. The treatments included fully rotted sheep manure (0, 10, 20, and 30 t ha⁻¹) as the main plot and irrigation interruption (complete irrigation, interruption of irrigation from flowering stage, interruption of irrigation from grain filling stage) as the subplot. The final harvest was carried out at physiological maturity based on the observation of external symptoms, which included yellowing of the plants and lower leaves, browning of the follicles, and blackening of the grains (due to moisture loss). The measured traits included plant height, number of main branches, number of follicles, number of grains per follicle, 1000-grain weight, total dry weight yield, grain yield, essential oil percentage, essential oil yield, and harvest index. In order to data analyze, the SAS statistical software version 9.1 was used. First, the normality of the data was confirmed, the variance analysis of the data was performed using the GLM procedure, and then the least significant difference test was used to compare the means.

Results and Discussion: The interaction of manure application and irrigation interruption on yield and grain yield components was significant. The highest 1000-grain weight (1.69 g), total dry weight yield (251.5 g m⁻²), grain yield (108.7 g m⁻²), and grain essential oil yield (18.7 g m⁻²) and the lowest 1000-grain weight (1.39 g), total dry weight yield (125.3 g m⁻²), grain yield (44.3 g m⁻²), and grain essential oil yield (8.2 g m⁻²) were observed in the treatment of 30 ton ha⁻¹ of manure and complete irrigation, and the treatment of no manure application and interruption of irrigation from the flowering growth stage, respectively. It seems that the use of higher amounts of manure and irrigation water increased the grain yield of black cumin by improving yield components such as the number of grains per follicle and the 1000-grain weight. The results also showed that the correlation of grain yield with total dry weight yield, harvest index, number of follicles m⁻², number of grains per follicle, and 1000-grain weight was positive and significant.

Conclusion: In general, the results showed that in order to achieve maximum grain yield and grain essential oil yield, the treatment of 30 ton ha⁻¹ of manure and complete irrigation was better. However, in the condition of 30 ton ha⁻¹ of manure, there was no significant difference between interruption of irrigation from the grain filling stage and complete irrigation. Therefore, instead of completely irrigating in the field without reducing grain and essential oil yield, irrigation can be stopped at the grain filling stage, which in turn reduces the amount of water consumed in the field.

Keywords: 1000-grain weight, Essential oil percentage, Essential, Number of follicles, Yield

بررسی اثر کاربرد کود دامی و کم آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه (*Nigella sativa*)

ایوب رستمی مامو^۱، فرزاد مندنی^{*۱}

۱- گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*نویسنده مسئول مقاله: دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. آدرس

پست الکترونیک: f.mondani@razi.ac.ir

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر کود دامی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه و همچنین عملکرد اسانس سیاه‌دانه در شرایط قطع آبیاری انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ اجرا شد. کود دامی (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) به عنوان عامل کرت اصلی و قطع آبیاری (آبیاری متداول، قطع آبیاری از مرحله گلدهی و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه) به عنوان عامل کرت فرعی بود. ویژگی‌های اندازه‌گیری شده شامل ارتفاع بوته، شاخه اصلی، تعداد فولیکول، تعداد دانه در فولیکول، وزن هزار دانه، عملکرد وزن خشک کل، عملکرد دانه، درصد اسانس، عملکرد اسانس و شاخص برداشت بود. نتایج نشان داد که کود دامی و قطع آبیاری بر ویژگی‌های مورد ارزیابی تأثیرگذار بودند. بیشترین وزن هزار دانه (۱/۶۹ گرم)، عملکرد وزن خشک کل (۲۵۱/۵ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۱۰۸/۷ گرم در مترمربع) و عملکرد اسانس دانه (۱۸/۷ گرم در مترمربع) و کمترین وزن هزار دانه (۱/۳۹ گرم)، عملکرد وزن خشک کل (۱۲۵/۳ گرم در مترمربع)، عملکرد دانه (۴۴/۳ گرم در مترمربع) و عملکرد اسانس دانه (۸/۲ گرم در مترمربع) به ترتیب در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از گلدهی مشاهده شد. نتایج نشان داد در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود دامی، بین قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه با آبیاری کامل اختلافی نبود و می‌توان به جای آبیاری کامل، آبیاری را از پر شدن دانه قطع نمود.

واژه‌های کلیدی: تعداد فولیکول، درصد اسانس، اسانس، عملکرد، وزن هزار دانه

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر مهمی بر رشد و نمو و نیز تجمع مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. مقادیر کم آب در مراحل رشد گیاه می‌تواند خسارات جبران ناپذیری بر رشد و نمو و نیز مواد مؤثره دارویی گیاهان وارد نماید (Omidbeigi, 2008). کم آبیاری یک راهکار مطلوب برای تولید محصول در شرایط کمبود آب است. اصولاً گیاهانی که برای کم آبیاری گزینش می‌شوند، باید مقاوم به تنش کمبود آب بوده و اثرات آن بر رشد و عملکرد در مراحل مختلف رشد به دقت بررسی گردد (Göksoy et al., 2004). آب صرفه‌جویی شده در شرایط کم آبیاری برای افزایش سطح زیر کشت و مصارف دیگر استفاده یا ذخیره می‌گردد. در نتیجه کاهش عملکرد ناشی از کم آبیاری می‌تواند با سود به دست آمده از کاهش آب مصرفی جبران شود (Feres & Soriano, 2007).

سیاه‌دانه به عنوان گیاه دارویی در تغذیه انسان استفاده می‌گردد و به طور طبیعی در نقاط مختلف ایران رشد کرده و در بعضی نقاط نیز به صورت گسترده مورد کشت و کار قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای که به منظور بررسی اثر فواصل آبیاری و تراکم بوته در واحد سطح بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه تحت شرایط اقلیمی مشهد انجام شده بود، گزارش شد که بیش‌ترین عملکرد دانه در فاصله‌ی آبیاری یک هفته و کم‌ترین آن در فاصله آبیاری

سه هفته گزارش شد (Norouz-pour & Rezvani-Moghaddam, 2005). گزارش شده است با توجه به اینکه سیاه‌دانه گیاهی رشد محدود است، تنش خشکی باعث کوتاه شدن طول دوره رویشی و رسیدن سریع‌تر گیاه به مرحله زایشی شده و این امر کاهش شاخه‌دهی فرعی و تعداد کپسول در بوته را به دنبال داشته است (Heidari & Jahantighi, 2012). کریمی (Karimi, 2012) نیز گزارش کرد که کمبود آب در مراحل رویشی و زایشی باعث کاهش تعداد گل در بوته سیاه‌دانه گردید. علت کاهش اینگونه بیان شده است که سیاه‌دانه برای تولید گل، به رشد رویشی مناسب و تولید اندام‌های تشکیل دهنده آن در مراحل مختلف رشد رویشی و زایشی احتیاج دارد. کاهش ترکیبات فتوسنتزی به علت کاهش سطح برگ و کاهش انتقال مواد آسمیلاتی به سمت اندام‌های زایشی در شرایط کمبود آب باعث کاهش تعداد گل در بوته سیاه‌دانه گردید. همچنین نامبرده اظهار داشت که تنش خشکی باعث کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ، سیاه‌دانه گردید.

مرادی و همکاران (Moradi et al., 2018) گزارش کردند که با افزایش میزان کم آبیاری از ۹۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد کپسول در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد اسانس، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص برداشت، درصد اسانس، تعداد دانه در کپسول سیاه‌دانه کاهشی معنی‌دار نشان دادند. در بررسی دیگری مشخص گردید که کم آبیاری رزماری باعث کاهش ۵/۳ درصدی وزن خشک اندام هوایی، ۹/۸ درصدی ارتفاع بوته و ۸/۹ درصدی تعداد شاخه زایا گردید (Asadi et al., 2018). تأثیر برهم‌کنش قطع آبیاری و کود بر عملکرد دانه، عملکرد اسانس و رنگیزه‌های فتوسنتزی سیاه‌دانه معنی‌دار گزارش شده است (Bamshad et al., 2020).

عناصر غذایی در تولید گیاهان دارویی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند، زیرا عناصر غذایی با تأثیری که بر رشد رویشی و زایشی گیاهان دارند، نسبت اندام زایشی به رویشی گیاهان را تغییر داده و بدین ترتیب بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارند (Azizi, 2000). مدیریت صحیح حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه با استفاده از کود آلی و دامی، علاوه بر حفظ محیط زیست، کاهش فرسایش خاک و حفظ تنوع زیستی، با اجتناب از کاربرد غیر ضروری و بی‌رویه عناصر غذایی، هزینه‌ها را کاهش داده و کارایی نهاده‌هایی همچون آب را افزایش می‌دهد (Nasiri-Mahallati et al., 2001). بنابراین، هدف از انجام این مطالعه انتخاب بهترین تیمار کاربرد کود دامی و مدیریت آب آبیاری برای دسترسی به عملکرد مطلوب دانه و اسانس سیاه‌دانه تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه بود.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شمالی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۲۰ متر) دانشگاه رازی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. منطقه مورد ارزیابی دارای اقلیم معتدل، متوسط دمای ۱۳/۴ و میانگین بارندگی سالیانه ۴۵۵ میلی‌متر است (جدول ۱). قبل از شروع آزمایش، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام گرفت (جدول ۲).

جدول ۱- درجه حرارت متوسط و میزان بارندگی طی دوره اجرای آزمایش در سال ۱۴۰۱

Table 1- Average temperature and precipitation during the experiment period in 1401

ماه Moon	بارندگی Precipitation (mm)	درجه حرارت متوسط Average temperature (°C)
فرودین March	10.4	14.6
اردیبهشت April	81.5	17.5
خرداد May	0	25.9
تیر June	0	29.9

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر

Table 2- Physical and chemical properties of experiment soil at a depth of 0-30 cm

هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic matter (%)	نیترژن N (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture
0.314	7.63	1.66	1.86	0.16	16.2	42.0	41.8	Clay-silt

آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار ۱۴۰۱ انجام گرفت. کود گوسفندی کاملاً پوسیده (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ تن در هکتار) به عنوان عامل کرت اصلی و قطع آبیاری (آبیاری متداول، قطع آبیاری از مرحله گلدهی (بیش از پنجاه درصد کرت ها به گل بروند) و قطع آبیاری از مرحله پر شدن دانه (بیش از پنجاه درصد دانه ها پر شوند) به عنوان عامل کرت فرعی بود. جهت آماده سازی زمین مزرعه برای کشت ابتدا با تراکتور و گاواهن برگردان دار زمین شخم زده شد و سپس برای خرد کردن کلوخه ها و تسطیح سطح خاک از دیسک استفاده شد. کاشت در تاریخ ۱۴۰۱/۰۱/۰۵ انجام شد. ابعاد هر کرت فرعی ۳×۳ متر بود، به این صورت که هر کرت فرعی دارای ۱۲ ردیف کاشت بود. فاصله بذرها روی ردیف های کاشت ۴ سانتی متری از یکدیگر در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از نفوذ عناصر غذایی و آب در بین کرت ها، فاصله کرت های اصلی از یکدیگر ۱/۵ متر و فاصله بین کرت های فرعی نیز ۲ متر در نظر گرفته شد. میزان بذر مصرفی یک کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. بذر (توده محلی) نیز از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. تراکم نهایی مزرعه ۱۰۰ بوته در متر مربع بود. کشت به صورت دستی انجام و پس از ایجاد شیارهایی با بیل و شن کش به عمق دو تا سه سانتی متر بر روی هر ردیف، بذر به صورت خطی، داخل هر شیار ریخته شد و روی آن با خاک و ماسه بادی پوشانده شد، سپس در مرحله نموی ۴ برگی جهت رسیدن به تراکم مدنظر، بوته های اضافی تنک گردید. آبیاری در ابتدا به صورت تحت فشار با روش بارانی ثابت هر هفته یکبار انجام شد و سپس در زمان اعمال تیمارهای آبیاری از روش غرقابی استفاده شد. کنترل علف های هرز مزرعه به صورت دستی در طول فصل رشد انجام گرفت.

برداشت نهایی گیاهان در زمان رسیدگی فیزیولوژیک براساس مشاهده علائم ظاهری که شامل زرد شدن بوته ها و برگ های پایینی، قهوه ای شدن رنگ فولیکول ها، سیاه رنگ شدن دانه ها (به دلیل از دست دادن رطوبت) انجام گرفت. تاریخ برداشت نهایی ۱۵ تیر ماه بود. جهت برداشت نهایی یک

متر مربع از هر کرت فرعی با رعایت اصول حاشیه به صورت کفبر برداشت شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک کل ابتدا نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک و سپس با ترازو توزین شدند. پس از جدا کردن دانه‌ها از بوته‌ها، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. ارتفاع بوته در مرحله گلدهی توسط خط‌کش از سطح خاک اندازه‌گیری شد. به منظور شمارش تعداد شاخه اصلی گیاه ۲۰ بوته به صورت کاملاً تصادفی از هر کرت فرعی انتخاب و شمارش‌ها صورت گرفت. برای تعیین تعداد فولیکول در متر مربع، ۲۰ بوته از هر کرت برداشت و تعداد فولیکول در بوته اندازه‌گیری شد. جهت تعیین تعداد دانه در فولیکول نیز ۲۰ بوته از هر کرت فرعی انتخاب و شمارش‌ها انجام شد. وزن هزار دانه در هنگام رسیدگی کامل و از دانه‌های حاصل از برداشت نهایی به صورت ۱۰ نمونه ۱۰۰ دانه‌ای از هر کرت اندازه‌گیری و وزن هزار دانه بر اساس میانگین این نمونه‌ها تعیین گردید (Vafaahd et al., 2024).

اندازه‌گیری میزان اسانس دانه

۱۰۰ گرم دانه تولید از هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و در دستگاه کلونجر (Clevenger, 1928) با استفاده از روش تقطیر با آب، میزان اسانس آن اندازه‌گیری گردید. بدین منظور ابتدا هر نمونه کاملاً آسیاب شده و سپس درون بالن یک لیتری ریخته شد و ۷۵۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه گردید. سپس به مدت ۴ ساعت در دستگاه کلونجر قرار داده شد و پس از رطوبت‌زدایی آن توسط سولفات سدیم با استفاده از روش گونتر (Guenther, 1961) درصد اسانس مشخص شد. عملکرد اسانس در متر مربع نیز از طریق ضرب کردن عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ استفاده شد، به این صورت که ابتدا از نرمال بودن داده‌ها اطمینان حاصل گردید، تجزیه واریانس داده‌ها توسط رویه GLM انجام و سپس از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. جهت رسم نمودارها، از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تیمارها نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد و قطع آبیاری در سطح پنج درصد بر ارتفاع بوته سیاه دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). صرف‌نظر از تیمار قطع آبیاری، با افزایش میزان مصرف کود دامی در تیمار ۳۰ تن در هکتار در مقایسه با عدم مصرف کود ارتفاع بوته حدود ۳۰ درصد بهبود یافت (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی سیاه دانه تحت تأثیر سطوح مختلف مصرف کود دامی و قطع آبیاری

Table 3- Analysis of variance of quantitative and qualitative traits of black cumin under the influence of different levels of manure application and irrigation interruption

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	(Mean of squares) میانگین مربعات									
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه اصلی در متر مربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در متر مربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	وزن هزار دانه 1000-grain weight	عملکرد وزن خشک کل Total dry weight yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد اسانس Essential oil percent	عملکرد اسانس Essential oil yield
بلوک Block (B)	2	103.8**	25905*	172379**	103.5**	0.2685**	4283.2**	450.5**	63.5**	0.0220 ^{ns}	2312.0**
کود دامی Manure (M)	3	277.3**	224169**	198023**	309.7**	0.1695**	13445.4**	5668.4**	268.7**	0.0518*	13881.2**
خطای کرت اصلی (بلوک × کود دامی) B × M	6	1.8 ^{ns}	22178**	7338 ^{ns}	8.1*	0.0006**	44.8**	83.1*	10.2 ^{ns}	0.0223*	638.3**
قطع آبیاری Irrigation interruption (I)	2	35.1*	13559 ^{ns}	16582 ^{ns}	10.1 ^{ns}	0.0054**	4500.5**	279.0**	28.3*	0.0001 ^{ns}	924.8**
کود دامی × قطع آبیاری M × I	6	7.7 ^{ns}	1621 ^{ns}	3362 ^{ns}	0.6 ^{ns}	0.0085**	26.8**	18.1*	2.9 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	59.8*
خطای کرت فرعی Error	16	5.6	5176	5505	2.8	0.0001	3.8	21.2	5.8	0.0071	46.0
ضریب تغییرات CV (%)		15.6	6.6	11.9	41.4	9.88	9.34	8.2	9.38	9.6	12.3

^{ns}, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, * and ** non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

جدول ۴- اثر سطوح مختلف کاربرد کود دامی بر ویژگی های کمی و کیفی سیاه دانه

Table 4- Effect of different levels of manure application on quantitative and qualitative characteristics of black cumin

مصرف کود دامی Application of manure (t ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی در متر مربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در متر مربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	درصد اسانس Essential oil percent	شاخص برداشت Harvest index (%)
30	46.9	1287.2	1408.4	44.9	1.69	44.8
20	41.5	1149.3	1327.5	40.9	1.66	43.6
10	37.9	1049.5	1260.9	35.7	1.79	36.8
0	33.8	913.7	1161.2	31.6	1.82	33.3
LSD	1.6	171.8	98.8	3.3	0.01	3.7

همچنین ارتفاع بوته سیاه دانه در شرایط آبیاری کامل در مقایسه با قطع آبیاری از مرحله گلدهی حدود ۸ درصد افزایش یافت (جدول ۵)، با این وجود برهمکنش کاربرد کود دامی و تیمار آبیاری بر ارتفاع بوته معنی دار نبود (جدول ۳). به نظر می رسد افزایش کاربرد کود دامی و آب آبیاری از طریق بهبود

ویژگی‌های رشدی سیاهدانه منجر به افزایش تجمع ماده خشک کل و در نتیجه اختصاص بیشتر ترکیبات فتوسنتزی به شاخه‌ها گردید که این موضوع سبب بهبود ارتفاع بوته گردید. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شده است که افزایش میزان آب آبیاری منجر به افزایش ارتفاع بوته سیاهدانه شد (Norouz-pour & Rezvani-Moghaddam, 2005). همچنین گزارش شده است که تلفیق کودهای زیستی با کود شیمیایی در مقایسه با کاربرد کود شیمیایی باعث افزایش ارتفاع بوته سیاهدانه گردید (Arvand & Sohrabi, 2022). نامبردگان همچنین اظهار داشتند که ارتفاع بوته سیاهدانه از طریق افزایش میزان آب مصرفی بهبود یافت.

جدول ۵- اثر سطوح مختلف قطع آبیاری بر ویژگی‌های کمی و کیفی سیاهدانه

Table 5- Effect of different levels of irrigation interruption on quantitative and qualitative characteristics of black cumin

قطع آبیاری Irrigation interruption	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه اصلی در متر مربع Number of main branches per m ²	تعداد فولیکول در متر مربع Number of follicles per m ²	تعداد دانه در فولیکول Number of grains per follicles	درصد اسانس Essential oil percent	شاخص برداشت Harvest index (%)
آبیاری کامل Complete irrigation	41.7	1119.7	1289.6	39.3	1.74	40.9
قطع آبیاری از پر شدن دانه Interruption of irrigation at grain-filling stage	40.0	1118.9	1282.1	37.8	1.74	40.1
قطع آبیاری از گلدهی Interruption of irrigation at flowering stage	38.3	1061.1	1221.8	37.5	1.74	37.9
LSD	2.1	62.3	69.2	2.70	0.07	0.8

تعداد شاخه اصلی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد شاخه اصلی در متر مربع معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار تعداد شاخه اصلی در متر مربع با حدود ۳۰ درصد افزایش از ۹۱۳/۷ به ۱۲۸۷/۲ بهبود یافت (جدول ۴). کاربرد کود دامی ممکن است از طریق بهبود شاخص سطح برگ و جذب تشعشع در مراحل اولیه رشد سیاهدانه منجر به تولید بیشتر ترکیبات فتوسنتزی شده باشد که این امر افزایش تعداد شاخه اصلی را در پی داشت. همچنین با توجه به اینکه شاخه اصلی گیاه در مراحل اولیه رشد شکل می‌گیرد، دور از ذهن نبود که تیمارهای آبیاری تأثیری بر این صفت نداشته باشد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش که مدیریت میزان مصرف کود باعث بهبود تعداد شاخه در گیاه سیاهدانه شد (Rezvani-Moghaddam et al., 2016). سهرابی رنانی (Sohrabi Renani, 2013) نیز نشان داد که کود گاوی بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاهدانه اثر معنی‌داری داشت. جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2021) نیز در تحقیقی دیگر گزارش کردند کود دامی باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه‌های فرعی در بوته کنگد گردید. با این حال مرادی و همکاران (Moradi et al., 2018) نشان دادند که با افزایش میزان کم‌آبیاری از ۹۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاهدانه کاهش معنی‌داری نشان دادند.

تعداد فولیکول

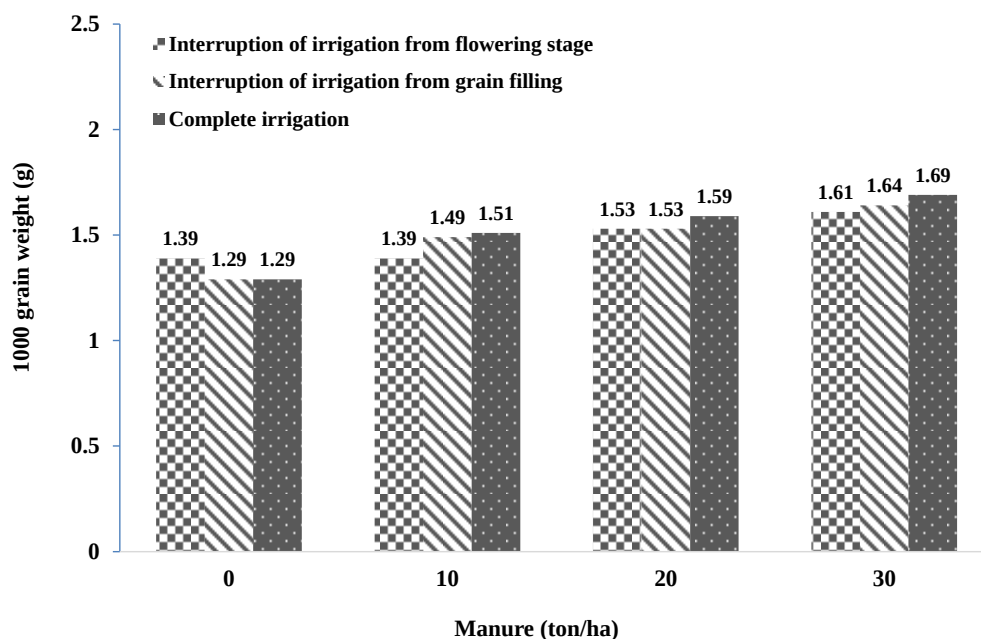
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد فولیکول در متر مربع معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار تعداد فولیکول در متر مربع با حدود ۳۰ درصد افزایش از ۹۱۳/۷ به ۱۲۸۷/۲ بهبود یافت (جدول ۴). از آنجایی که فولیکول‌های گیاه در مرحله گلدهی شکل می‌گیرند و در این تحقیق تیمارهای آبیاری از این مرحله به بعد اعمال شده بود، بنابراین تنش کمبود رطوبت تأثیری بر تعداد فولیکول‌ها نداشت. اما به نظر می‌رسد که به علت ایجاد شرایط بهتر برای گیاه در مراحل اولیه رشد و نمو، کاربرد کود دامی توانست منجر به افزایش تعداد فولیکول‌ها شود. در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تلفیق کودهای آلی با بکدیگر در مقایسه با کود شیمیایی منجر به افزایش تعداد فولیکول در بوته سیاه‌دانه شد (Rezvani-Moghaddam et al., 2016). نامبردگان همچنین اظهار داشتند که تعداد فولیکول در بوته با افزایش میزان کاربرد کودهای آلی بهبود یافت. سهرابی رنانی (Sohrabi Renani, 2013) گزارش کرد که کود گاوی بر تعداد فولیکول در بوته سیاه‌دانه اثر معنی‌داری داشت. افزایش تعداد کپسول در بوته کنبج از طریق افزایش میزان کاربرد کود دامی در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شده است (Jalilian et al., 2021).

تعداد دانه در فولیکول

نتایج تجزیه واریانس همچنین نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر تعداد دانه در فولیکول معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار، تعداد دانه در فولیکول با حدود ۲۹ درصد افزایش از ۳۱/۶ به ۴۴/۹ بهبود یافت (جدول ۴). تعداد دانه در فولیکول از اجزای مهم تعیین کننده عملکرد گیاه است که از مرحله گلدهی به بعد به علت لقاح گلچه‌ها شکل می‌گیرد. به نظر می‌رسد که افزایش میزان کاربرد کود دامی در مراحل اولیه رشد از تأثیر بر سرعت رشد محصول و تجمع ماده خشک کل باعث قویتر شدن دانه‌های گرده و فرآیند لقاح گردید که این عامل باعث افزایش تعداد دانه در فولیکول سیاه‌دانه شد. هرچند انتظار می‌رفت که بهبود شرایط رطوبتی نیز منجر به افزایش تعداد دانه‌ها شود، اما به نظر می‌رسد با توجه به این نکته که تیمارهای کم آبیاری از مرحله گلدهی یعنی همان ایامی که تعداد دانه‌ها در حال شکل‌گیری بودند، اعمال گردید ولی ممکن است به علت جذب رطوبت توسط گیاه از آب ذخیره شده در خاک، کم آبیاری تأثیری بر این صفت بر جای نگذاشت. سعیدنژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nejad, 2010 & Rezvani-Moghaddam) نیز نشان دادند که کودهای دامی با بهبود خصوصیات فیزیکی خاک باعث رشد بهتر ریشه و به دنبال آن افزایش رشد گیاه شد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که کود گاوی باعث افزایش تعداد دانه سیاه‌دانه گردید (Sohrabi Renani, 2013). روستایی و همکاران (Rostaie et al., 2015) نیز دریافتند که کود دامی باعث افزایش تعداد دانه در فولیکول سیاه‌دانه شد.

وزن هزار دانه

وزن هزار دانه سیاه دانه تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین وزن هزار دانه (۱/۶۹ گرم) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۱/۳۹ گرم) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی مشاهده شد (شکل ۱). وزن هزار دانه در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی حدود ۱۸ درصد افزایش یافت (شکل ۱).

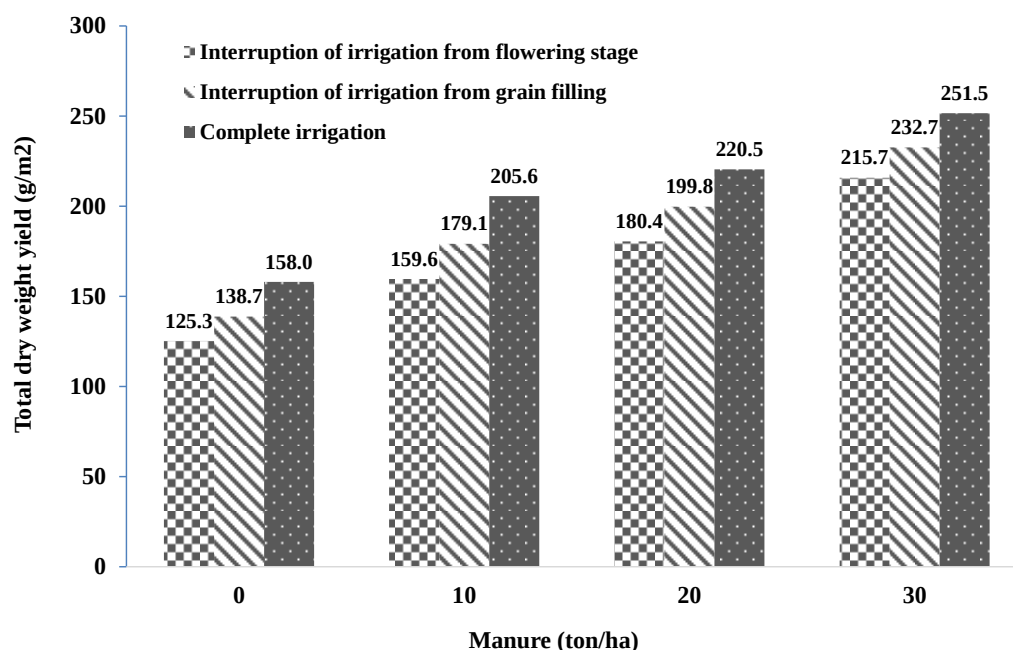


شکل ۱- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر وزن هزار دانه سیاه‌دانه
Figure 1- The effect of manure application and irrigation interruption on the 1000-seed weight of black cumin. (LSD) = 0.03

به نظر می‌رسد که افزایش میزان کود دامی و آب آبیاری در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار و آبیاری کامل باعث بهبود وزن خشک کل گردید که این موضوع افزایش ترکیبات فتوسنتزی را در پی داشت و در نتیجه باعث بهبود وزن هزار دانه سیاه‌دانه شد. وزن هزار دانه از اجزای عملکردی می‌باشد که در انتهای دوره رشد گیاه تعیین می‌گردد، بنابراین دور از ذهن نبود که آب آبیاری و مصرف کود بیشتر، بتواند تأثیر معنی‌داری بر این صفت بگذارد. علاوه بر این همانگونه که نتایج نشان داد تعداد دانه در فولیکول که دارای یک همبستگی منفی با وزن هزار دانه است (جدول ۶)، در این مطالعه تحت تأثیر تیمارهای آبیاری قرار نگرفت و می‌توان نتیجه گرفت که در زمان شکل‌گیری اجزای عملکرد دانه به علت بی‌تغییر ماندن تعداد دانه‌ها، وزن هزار دانه افزایش بیشتری از خود نشان داده است. حیدری و جهان‌تیگی (Heidari & Jahantighi, 2012) با بررسی اثر تنش خشکی و کود نیتروژن بر گیاه سیاه‌دانه بیان کردند که وزن هزار دانه کم‌تر تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارد. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که وزن هزار دانه سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تلفیق کودهای آلی بهبود یافت (Arvand & Sohrabi, 2022).

عملکرد وزن خشک کل

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد وزن خشک کل دانه سیاه دانه تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد وزن خشک کل (۲۵۱/۵ گرم در متر مربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۱۲۵/۳ گرم در متر مربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به دست آمد (شکل ۲). عملکرد وزن خشک کل در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی حدود ۵۰ درصد افزایش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد وزن خشک کل سیاه‌دانه

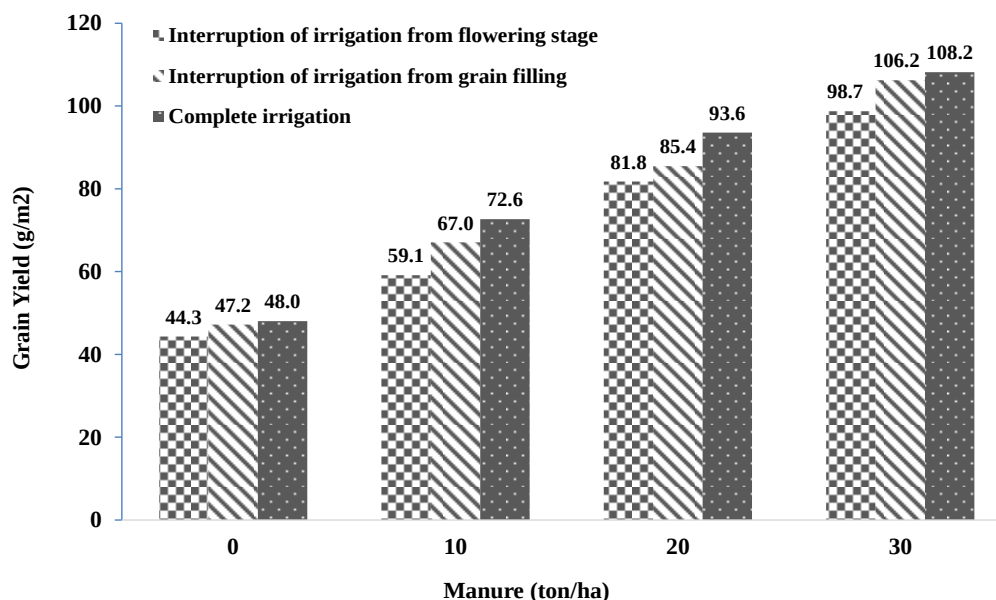
Figure 2- The effect of manure application and irrigation interruption on total dry weight yield of black cumin. (LSD) = 0.03

به نظر می‌رسد افزایش میزان کود دامی و آب آبیاری در تیمار ۳۰ تن کود دامی در هکتار و آبیاری کامل از طریق بهبود شاخص سطح برگ و جذب تشعشع منجر به بالا رفتن سرعت رشد محصول گردید و سبب افزایش عملکرد وزن خشک کل سیاه‌دانه شد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani- Moghaddam et al., 2016) نیز با بررسی مدیریت کودی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه گزارش کردند که کود گاوی باعث افزایش عملکرد بیولوژیک گردید. حیدری و رضاپور (Heidari & Rezapour, 2011) نشان دادند کردند که با کاهش رطوبت خاک عملکرد اندام‌های هوایی کاهش یافت. کریمی (Karimi, 2012) نیز گزارش کرد که کمبود آب در مراحل رویشی و زایشی باعث کاهش عملکرد بیولوژیک سیاه‌دانه شد. کینایی و گنجی خرم دل (Keykhaei & Ganjikhorrmandel, 2016) نیز نشان دادند که در شرایط تنش کم آبی عملکرد وزن خشک کل گندم کاهش یافت.

عملکرد دانه

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها مشخص گردید که اثر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری و رقم در سطح یک درصد و برهمکنش آن‌ها در سطح پنج درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه (۱۰۸/۲ گرم در متر مربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین

آن (۴۴/۳ گرم در متر مربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به دست آمد (شکل ۳). عملکرد دانه در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی حدود ۵۹ درصد افزایش یافت (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد دانه سیاه دانه
Figure 3- The effect of manure application and irrigation interruption on grain yield of black cumin (LSD) = 8.01

به نظر می‌رسد که مصرف مقادیر بیشتر کود دامی و همچنین آب آبیاری از طریق بهبود اجزای عملکرد نظیر تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه باعث افزایش عملکرد دانه سیاه دانه شد. در مطالعه‌ای دیگر نیز مشخص شد که با افزایش میزان آب آبیاری از ۲۵ به ۹۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و عملکرد دانه سیاه دانه افزایش معنی‌داری نشان دادند (Moradi et al., 2018). لطیفی و همکاران (Latifi et al., 2020) دریافتند که در شرایط کم‌آبی، جذب عناصر غذایی و رشد برگ‌ها و در نتیجه سطح برگ کاهش می‌یابد که این موضوع سبب کاهش جذب نور و کاهش ظرفیت فتوسنتزی شد و در نهایت عملکرد گیاه یافت. در بررسی دیگری کاربرد کودهای آلی منجر به افزایش عملکرد دانه سیاه دانه شد (Arvand & Sohrabi, 2022).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح یک درصد بر شاخص برداشت معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار شاخص برداشت با حدود ۲۶ درصد افزایش از ۳۳/۳ به ۴۴/۸ درصد بهبود یافت (جدول ۴). افزایش شاخص برداشت سیاه دانه همزمان با کاربرد

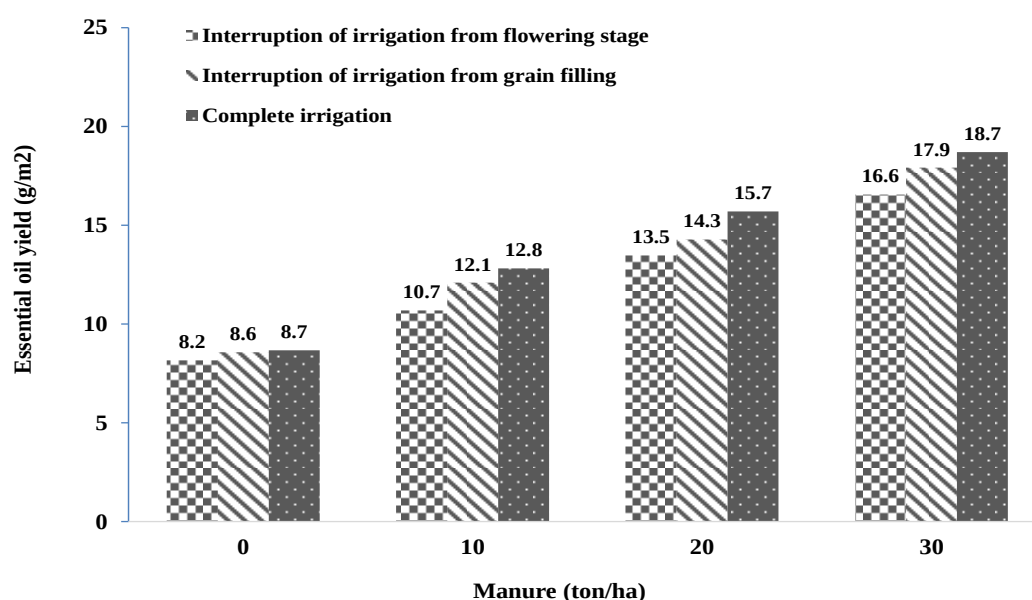
کودهای آلی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Arvand & Sohrabi, 2022). نوروزپور و رضوانی مقدم (Norouz-pour & Rezvani, 2005) نیز گزارش کردند که دور آبیاری تأثیری بر شاخص برداشت سیاه‌دانه نداشت.

درصد اسانس دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر کاربرد کود دامی در سطح پنج درصد بر درصد اسانس معنی‌دار بود، این در حالی بود که اثر تیمار قطع آبیاری و برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). با افزایش میزان مصرف کود دامی از صفر به ۳۰ تن در هکتار درصد اسانس با حدود ۷ درصد کاهش از ۱/۸۹ به ۱/۶۹ تغییر یافت، هر چند بین تیمار مصرف ۳۰ تن کود دامی با ۲۰ تن کود دامی اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ۴). در تحقیقی دیگر تأثیر نوع کود بر درصد اسانس سیاه‌دانه معنی‌دار بود (Vafaahd et al., 2024). ملکی و همکاران (Maleki et al., 2023) نیز دریافتند که تلفیق کودهای آلی و شیمیایی منجر به تغییر درصد اسانس سیاه‌دانه شد.

عملکرد اسانس دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد اسانس دانه سیاه‌دانه تحت تأثیر کاربرد کود دامی، قطع آبیاری و برهمکنش آن‌ها در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). بیشترین عملکرد اسانس دانه (۱۸/۷ گرم در متر مربع) در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل و کمترین آن (۸/۲ گرم در متر مربع) در تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به دست آمد (شکل ۴). عملکرد اسانس دانه در تیمار ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود دامی و قطع آبیاری از مرحله گلدهی حدود ۵۶ درصد افزایش یافت (شکل ۴). عملکرد اسانس از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس دانه به دست آمد. بنابراین با توجه به تأثیر معنی‌دار برهمکنش کاربرد کود دامی و قطع آبیاری بر عملکرد دانه، علی‌رغم عدم معنی‌دار شدن این اثر بر درصد اسانس، عملکرد اسانس دانه سیاه‌دانه معنی‌دار گردید. بر این اساس می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که نقش عملکرد دانه در شکل‌گیری عملکرد اسانس بیشتر از درصد اسانس بود. تأثیر مجزای افزایش عملکرد اسانس دانه در شرایط کاربرد کود دامی و رژیم‌های رطوبتی مختلف (میزان آب آبیاری و دور آبیاری) توسط برخی محققین دیگر نیز گزارش شده است (Arvand & Sohrabi, 2022; Barkhori et al., 2021). وفاهد و همکاران (Vafaahd et al., 2024) دریافتند که نوع کود تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس سیاه‌دانه داشت.



همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد

محاسبه و بررسی ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه نشان داد که عملکرد دانه با عملکرد ماده خشک کل، شاخص برداشت، تعداد فولیکول در متر مربع، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۶). بیشترین همبستگی عملکرد دانه با عملکرد ماده خشک کل (0.92^{**}) و کمترین آن با وزن هزار دانه (0.11^{ns}) مشاهده گردید. به نظر می‌رسد که با افزایش مصرف کود دامی و آب آبیاری، شاخص سطح برگ نیز افزایش یافت که این موضوع منجر به افزایش جذب تشعشع و بهبود عملکرد وزن خشک کل شد، در نتیجه تخصیص بیشتر مواد (شاخص برداشت بالاتر) به سمت اندام‌های ذخیره‌ای گیاه، باعث بالا رفتن عملکرد دانه سیاه‌دانه شد. نتایج این بررسی همچنین نشان داد که بین وزن هزار دانه با تعداد فولیکول در متر مربع و تعداد دانه در فولیکول همبستگی منفی و معنی‌دار وجود داشت. این نتیجه دور از ذهن نبود زیرا هرچه تعداد دانه‌ها بیشتر شود، وزن تک دانه کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد دانه با تعداد شاخه و تعداد فولیکول در بوته در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است (Norouz-pour & Rezvani-Moghaddam, 2005). رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani-Moghaddam et al., 2016) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین عملکرد دانه سیاه‌دانه با صفات تعداد شاخه جانبی در بوته، تعداد فولیکول در بوته و وزن هزار دانه گزارش کردند.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه تحت سطوح مختلف کود دامی و قطع آبیاری

Table 6- Correlation coefficients between yield and yield components traits of black cumin under different levels of manure and irrigation interruption

صفات Traits	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
عملکرد دانه (1) Grain yield (g m ⁻²)	1					
عملکرد وزن خشک کل (2) Total dry weight yield (g m ⁻²)	0.92*	1				
شاخص برداشت (3) Harvest index (%)	0.89**	0.50 ^{ns}	1			
تعداد فولیکول در متر مربع (4) Number of follicles per m ²	0.82**	0.43 ^{ns}	0.83**	1		
تعداد دانه در فولیکول (5) Number of grains per follicles	0.91*	0.11 ^{ns}	0.61**	0.45 ^{ns}	1	
وزن هزار دانه (6) 1000-grain weight (g)	0.78*	0.88**	0.71*	-0.42*	-0.57*	1

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and ** non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که جهت حصول حداکثر عملکرد دانه و عملکرد اسانس دانه تیمار کاربرد ۳۰ تن کود دامی و آبیاری کامل بهتر بود، با این حال بررسی بیشتر نتایج مشخص کرد که در شرایط کاربرد ۳۰ تن کود دامی بین قطع آبیاری از مرحله نموی پر شدن دانه با آبیاری کامل اختلاف معنی دار نبود. بنابراین در شرایط محدودیت منابع آب آبیاری، می توان به جای آبیاری کامل مزرعه، بدون افت عملکرد دانه و اسانس، آبیاری را از مرحله پر شدن دانه قطع نمود که از این طریق بدون کاهش معنی دار در عملکرد و اجزای آن، در میزان آب مصرفی در مزرعه صرفه جویی می شود.

References

1. Arvand, M., & Sohrabi, Y. (2022). Effect of combining biological and chemical fertilizers on yield and quality of black cumin grain under different irrigation levels. *Plant Process and Function*, 11(50), 8. (in Persian with English abstract). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1804-fa.html>
2. Asadi, R., Hassan Pour, F., Mehrabani, M., Baghizadeh, A., & Karandish, F. (2018). Investigation the effect of deficit irrigation on root distribution and vegetative growth of *Rosmarinus Officinalis* L. *Water and Irrigation Management*, 8(2), 289-301. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jwim.2019.271640.650>
3. Azizi, M. (2000). *Studying the effect of deficit irrigation and biofertilizers on the growth and yield of black seed*. Ph.D. thesis in Horticulture, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University. Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
4. Bamshad, R., Ramroudi, M., & Asgharipour, M. R. (2020). Evaluation of yield and quality traits of black cumin (*Nigella sativa* L.) affected by fertilizer and irrigation. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(2), 307-317. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.272371.1570>
5. Barkhori Mehani, F., Kheiry, A., Soleimani, A., Sani Khani, M., & Arghavani, M. (2021). Study of some morphophysiological characteristics in endemic population of *Nigella sativa* under water deficits stress in Zanjan climate conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 213-226. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.43976.2610>
6. Clevenger, J. F. (1928) Apparatus for volatile Oil determination, description of new type. *The Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17, 345-349. <https://doi.org/10.1002/jps.3080170407>
7. Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl165>
8. Göksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., & Dağüstü, N. (2004). Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field Crops Research*, 87(2-3): 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.11.004>
9. Guenther, E. (1961). *The essential oils*. D. Van Nostrand Company Inc, New York.
10. Heidari, M., & Rezapour, A. R. (2011). Effect of water stress and sulfur fertilizer on grain yield, chlorophyll and nutrient status of black cumin (*Nigella Sativa* L.). *Journal of Crop Production and Processing*, 1(1), 81-90. (in Persian with English abstract). <http://dori.net/dor/20.1001.1.22518517.1390.1.1.7.0>
11. Heidari, M., & Jahantighi, H. (2012). Effect of water stress and amount of nitrogen fertilizer on grain yield, yield components, essential oils and thymoquinone content in black cumin (*Nigella sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5(1), 23-40. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2012.112>

12. Jalilian, S., Mondani, F., Fatemi Ghomeshe, A., & Bagheri, A. (2021). Effect of farmyard manure and green manure application on yield, yield components and grain oil content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) under organic conditions. *Applied Field Crops Research*, 33(4), 62-83. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2021.341662.1451>
13. Karimi, F. (2012). *Studying the effect of deficit irrigation and biofertilizers on the growth and yield of black seed*. M.Sc. thesis, Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (in Persian with English abstract).
14. Keykhaei, F. & Ganjikhorramdel, N. (2016). Effect of deficit irrigation in corrugation and border methods on yield and water use efficiency of wheat cv. Hamoon. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30(1), 1-11. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106197>
15. Latifi, M., Hassani, S. B., Hassani, R., Nasiri Almanghadim, N., Jafari, S., & Bernard, F. (2020). Trend of polyamine changes in the early stages of maize (*Zea mays* L.) growth under cadmium stress. *Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(4), 220-230. (in Persian with English abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23832738.1399.33.4.9.5>
16. Maleki, J., Sharifi Ashoorabadi, E., Mirza, M., Heydari Sharif Abad, H., & Lebaschy, M. (2023). Effects of plant nutrition on economic yield and essential oil composition of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(1), 38-54. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.355278.3030>
17. Moradi, R., Poorghasemian, N., & Naghizadeh, M. (2018). Effect of different deficit irrigation levels and nutritional recourses on some quantitative and qualitative characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.) in Bardsir climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(1), 35-46. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.347.1066>
18. Nasiri-Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani-Moghaddam, P., & Beheshti, A. (2001). *Agroecology*. Ferdowsi University of Mashhad Press. Mashhad, Iran. (in Persian).
19. Norouz-pour, G., & Rezvani-Moghaddam, P. (2005). Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(2), 305-315. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v3i2.1313>
20. Omidbeigi, R. (2008). *Production and processing of medicinal plants* (V3). Astan Quds Razavi Publications. Mashhad, Iran. (in Persian)
21. Rezvani-Moghaddam, P., Seyyedi, S. M., & Azad, M. (2016). The effect of different fertilizer management on yield and yield components of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology*, 8(4), 598-611. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v8i4.51327>
22. Rostaie, M., Falah, S., & Souraki, A. (2015). Effect of fertilizer sources on growth, yield and yield components of fenugreek intercropped with black cumin. *Journal of Crop Production*, 7(4), 222-197. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1393.7.4.11.0>
23. Saeid Nejad, A. H., & Rezvani-Moghaddam, P. (2010). Evaluation of biofertilizer and chemical fertilizer application on morphological traits, yield, yield components and essential oil percent in cumin (*Cuminum cyminum*).

The Journal of Horticultural Sciences, 24(1): 38-44. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jhorts4.v1389i1.3643>

24. Sohrabi Renani, R. (2013). *Studying the effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, grain yield components and black seed oil yield*. M.Sc. thesis, Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract).
25. Vafaahd, F., Khalesro, S., Zareei, S., & Heidari, G. (2024). Response of black cumin (*Nigella sativa* L.) to digested fertilizer and humic acid in the sustainable agricultural system. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 33(4), 99-112. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2022.51374.2867>