

Improving the Growth and Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) by Combining Nitrogen and Wheat Straw Mulch at Different Irrigation Intervals

Abdolali Karimi¹, Mohammad Reza Baziar^{2*}

Received: 09 October 2021 Accepted: 04 June 2022

1- MSc. Graduated of Weeds Identification and Control, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.

2- Assist. Prof., of Agronomy, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran.

*Corresponding Author Email: Baziar.m@gmail.com

Abstract

Background and Objective: The appropriate amount of nitrogen consumption and the positive effects of wheat straw mulch in medicinal plants are important to reduce the negative effects of drought stress and achieve high yield.

Materials and Methods: In this study, the growth and yield of black seed by combining nitrogen and wheat straw mulch at different irrigation intervals. This research was conducted as a split plot in a randomized complete block design. The first factor is different irrigation intervals in three levels including 25, 50 and 75% moisture drainage and the second factor in six levels includes 50 and 100 kg of urea per hectare in combination with mulch and consumption alone, mulch and control.

Results: Increasing irrigation intervals decreased the amount of leaf elements. Also, an increase in ion leakage and decrease in the relative leaf water content were observed in 75% of moisture depletion. Application of wheat straw mulch was able to reduce ion leakage of black seed under drought stress conditions. Urea was effective in increasing nitrogen uptake and as a result increased the amount of photosynthetic pigments. At 25% moisture discharge, shoot dry weight per 100 kg of urea with wheat straw mulch and consumption alone showed an increase of 8.7% and 7.1%, respectively, compared to the control. The highest harvest index and yield components were observed in the use of mulch in combination with urea.

Conclusion: In total, the application of 100 kg of urea per hectare in combination with wheat straw mulch for planting black seed is recommended.

Keywords: Chlorophyll, Harvest Index, Ion Leakage, Phosphorus, Relative Water Content

بهبود رشد و عملکرد دانه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با تلفیق نیتروژن و مالچ کاه و کلش گندم در فواصل مختلف آبیاری

عبدالعلی کریمی^۱، محمد رضا بازیار^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، فسا، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: Baziar.m@gmail.com

چکیده

اهداف: مقدار نیتروژن مناسب و اثر مثبت مالچ کاه و کلش گندم در گیاهان دارویی برای کاهش اثرهای منفی تنش خشکی و به دست آوردن محصول بالا مهم به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش رشد و محصول بذر توده محلی گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با تلفیق نیتروژن و مالچ کاه و کلش گندم در فواصل مختلف آبیاری بررسی شد. این پژوهش بصورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. فاکتور اول فواصل مختلف آبیاری در سه سطح شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی و فاکتور دوم در شش سطح شامل ۵۰ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ کاه و کلش گندم، ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ کاه و کلش گندم، مالچ کاه و کلش گندم و شاهد بود.

یافته‌ها: افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش میزان غلظت عناصر برگ شد. همچنین افزایش نشت یونی و کاهش مقدار نسبی آب برگ در ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی مشاهده شد. کاربرد مالچ کاه و کلش گندم توانست سبب کاهش نشت یونی برگ سیاه‌دانه در شرایط تنش خشکی شود. کود اوره سبب افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی گردید. در ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، وزن خشک شاخساره مصرف ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار و تلفیق آن با مالچ به ترتیب افزایش ۸/۷ و ۷/۱ درصدی نسبت به شاهد نشان داد. همچنین بیشترین شاخص برداشت و اجزای محصول در استفاده از مالچ کاه و کلش گندم در تلفیق با کود اوره مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم با تولید ۵۱۹ کیلوگرم در هکتار محصول دانه برای کاشت سیاه‌دانه قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، فسفر، کلروفیل، مقدار نسبی آب برگ، نشت یونی

مقدمه

است. میوه این گیاه کپسول بوده و درون آن تعداد زیادی بذره‌های سیاه و معطر وجود دارد (ایجاز و همکاران ۲۰۱۷). گیاه سیاه‌دانه در برخی نقاط ایران به صورت خودرو و در برخی نقاط دیگر به صورت زراعی کاشته می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنعت

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده آلاله^۱ گیاهی یکساله، علفی با ساقه افراشته و منشعب

^۱ Ranunculaceae

(چاترجی و همکاران ۲۰۱۸). در نتیجه تامین بخشی از نیتروژن مورد نیاز گیاه در تلفیق با مالچ گیاهی می‌تواند به حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول منجر شوند. تامین مناسب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و همچنین تاثیر مفیدی که مالچ بر سیستم ریشه‌ای و جذب آب توسط گیاه داشته، باعث گردیده است که اثر تنش خشکی روی گیاه کاهش یابد (وانگ و همکاران ۲۰۱۹). استفاده از منابع گیاهی قابل‌تجدید موجود به‌همراه کاربرد بهینه‌ای از کودهای معدنی اهمیت زیادی در تعدیل اثرهای سوء تنش خشکی در گیاهان دارد (سینگ و همکاران ۲۰۰۲). بنابراین سامانه‌های تغذیه تلفیقی در شرایط تنش خشکی جهت حفظ ساختمان خاک، فعالیت زیستی خاک و ظرفیت نگهداری آب در خاک تاثیر بسزایی دارد (اقبال و همکاران ۲۰۲۰).

با توجه به موارد بالا، میزان مناسب کود نیتروژنه و اثرهای مثبت استفاده از مالچ کاه و کلش گندم جهت حداکثر رشد و محصول گیاه دارویی سیاه‌دانه از اهمیت بسزایی برخوردار است. با وجود انجام مطالعات فراوان در مورد آثار مثبت کاربرد کود نیتروژنه در رشد گیاهان مختلف، تاکنون مطالعات کمی در مورد تلفیق نیتروژن و مالچ کاه و کلش گندم در گیاه سیاه‌دانه در فواصل مختلف آبیاری انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر سطوح مختلف تلفیق نیتروژن و مالچ کاه و کلش گندم بر رشد و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه در فواصل مختلف آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت اسپلیت‌پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت مزرعه‌ای در شهرستان فسا با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۹۵ دقیقه و ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا انجام گردید. فاکتور اول فواصل مختلف آبیاری در سه سطح شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی و فاکتور دوم در شش سطح شامل ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار+مالچ کاه و کلش

غذایی و دارویی کشور دارد (حسینی و همکاران ۲۰۱۸). دانه این گیاه منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیراشباع مانند لینولئیک‌اسید و اولئیک‌اسید و نیز ترکیبات دیگر مثل روغن، فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم می‌باشد (چیخ-روهن و همکاران ۲۰۰۷). عصاره روغن سیاه دانه در کاهش کلسترول و جلوگیری از حملات قلبی به کار می‌رود. همچنین اسانس و ترکیبات اصلی آن خواص ضدالتهابی و فعالیت ضد میکروبی کمک شایانی دارند (کاظمی ۲۰۱۴ و مجید و همکاران ۲۰۲۰).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین بازدارنده‌های تولید گیاهان در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شمار می‌رود (نیو و همکاران ۲۰۱۹). تنش خشکی علاوه بر کاهش رشد گیاهان باعث تغییر در محصول کمی و کیفی در گیاهان دارویی می‌شود (عطارزاده و همکاران ۲۰۲۰). تنش خشکی به طور عمده سبب کاهش رشد گیاه، اختلال در تغذیه، کاهش فتوسنتز و افزایش تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود (لورتو و سنتریتو ۲۰۰۸). بنابراین تلاش‌های گسترده‌ای با هدف یافتن راهکارهای مناسب برای افزایش محصول در گیاهان دارویی در شرایط تنش خشکی انجام شده است (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). از جمله این راهکارها بکارگیری روش‌های مدیریتی مثل استفاده از بقایای گیاهی غیرزنده یا مالچ آلی می‌باشد. کاربرد مالچ را می‌توان یکی از راهکارهای زراعی پایدار برای بهبود رشد و محصول در شرایط تنش‌های محیطی دانست (ری و همکاران ۲۰۲۰). مالچ از طریق حفظ رطوبت خاک از طریق کاهش دمای خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک باعث افزایش محصول گیاهان می‌شود (چالکر-اسکات ۲۰۰۷). همچنین مالچ بقایای گیاهی تاثیری زیاد روی فرآیندهای هیدرولوژیکی، اکوسیستم‌های زیستی خاک و اصلاح تغییرات چرخه خاک داشته و در نهایت سبب بهبود رشد گیاهان می‌شود (جابران ۲۰۱۹). استفاده از مالچ باعث افزایش ذخیره کربن آلی به ویژه در لایه سطحی خاک می‌شود. همچنین استفاده از مالچ، ممکن است تا حدودی سبب تغییر در نسبت کربن به نیتروژن در خاک گردد

هیدرومتر (بویسی ۱۹۶۲)، پی‌اچ در گل اشباع، کربن آلی به روش واکی بلاک (جکسون ۱۹۵۸)، نیتروژن خاک به روش کجدال (برمنر و مولوانسی ۱۹۶۵)، فسفر قابل جذب به روش آبی آسکوربیک (واتنبلی و اولسن ۱۹۶۵)، پتاسیم با دستگاه فلیم فتومتر و روی، مس، منگنز و آهن قابل استفاده به روش دی تی پی آ (لیندسی و نورتول ۱۹۸۷) تعیین شد.

گندم، ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار، ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار+مالچ کاه وکلش گندم، مالچ کاه وکلش گندم و شاهد بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری و سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). خصوصیات خاک از جمله ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با روش بوور (بوور و همکاران ۱۹۵۲)، قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی، بافت به روش

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

بافت	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol+/ kg)	هدایت الکتریکی (dS.m ⁻¹)	pH	Cu Fe Zn Mn K P N							کربن آلی (%)
				(mg.kg ⁻¹)							
لوم سیلتی	۲۹/۱	۱/۱۰	۷/۲۵	۰/۶۲	۸/۵	۱/۷	۳/۲	۱۹۵	۷	۰/۱	۰/۶۲

مذبور بصورت غرقابی آبیاری شد. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها تیمارهای آبیاری اعمال شد. تیمارهای آبیاری براساس درصد تخلیه رطوبت آب قابل استفاده خاک در عمق توسعه ریشه اعمال شد. رطوبت تخلیه ۲۵ درصد آب قابل استفاده خاک به عنوان تیمار شاهد و سایر تیمارها شامل آبیاری تخلیه ۵۰ درصد آب قابل استفاده و تخلیه ۷۵ درصد آب قابل استفاده خاک بود. برای تعیین درصد تخلیه رطوبتی زمان‌های آبیاری مزرعه با اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی از طریق نمونه‌گیری‌های مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت در هر تکرار به منظور رسیدن به رطوبت لازم برای سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبت قابل استفاده انجام شد. آبیاری کرت‌های آزمایشی به صورت غرقابی برای هر کرت انجام شد. آبیاری هر تیمار تا رسیدن به ظرفیت مزرعه‌ای با استفاده از معادله ۱ انجام شد (سانچز و همکاران ۱۹۹۸). برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). در پایان دوره رشد نمونه‌برداری انجام شد.

کاشت بذره‌های توده محلی گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L) در مزرعه در اسفند ۱۳۹۹ انجام گرفت. کاشت در کرت‌هایی به ابعاد ۳×۲ متر انجام شد. در هر کرت ۴ ردیف با دو طرف هر ردیف کاشت با تراکم زیاد انجام شد. فاصله بین ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها روی ردیف در حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به دلیل کوچک بودن بذرها در عمق نیم تا یک سانتی‌متری کشت شد (جوادی هدایت آباد و همکاران ۲۰۱۴). در مرحله ۳ تا ۶ برگ گیاهان تنک شد و تراکم مورد نظر در حدود ۲۵۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد (جوادی هدایت آباد و همکاران ۲۰۱۴). فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر بود. بذرها نیز از شرکت پارس اکسیر فارس تهیه شد. سطوح مختلف کود نیتروژن از منبع اوره براساس تیمارهای آزمایشی به صورت تقسیط در سه مرحله سبز شدن، ساقه‌دهی و گلدهی به صورت سرک داده شد. میزان ۲ کیلوگرم در هر متر مربع مالچ کاه و کلش گندم برای تیمارهای دارای مالچ به صورت سطحی و به‌طور یکنواخت (به جز در نوار باریکی که بذره‌های سیاه‌دانه کشت شده بود) استفاده شد (مرادیان و همکاران، ۲۰۱۸). بعد از کاشت بذرها، تمام کرت‌های

$$I_g = \frac{(\theta_{fc} - \theta_{pwp}) \times t \times \rho \times D \times A \times 100}{E_a} \quad (\text{رابطه ۱})$$

استفاده از رنگسنجی با معرف مولیبدات-وانادات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد (جونز و همکاران ۱۹۹۱).

صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی از بوته‌های داخل مزرعه در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نمونه‌برداری شد. برای سنجش میزان نشت یونی از روش سایرام و همکاران (۲۰۰۹) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری مقدار نسبی آب برگ‌ها، اول صبح و قبل از طلوع آفتاب از هر تیمار سه برگ کامل، جوان و شاداب انتخاب و توسط قیچی قطعاتی تقریباً به یک اندازه از برگ جدا و وزن تر آن‌ها با ترازو (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته‌ی برگ، برگ‌ها در ظروف پتری سربسته و حاوی آب مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته می‌شود و وزن آماس محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شدند. مقدار آب نسبی برگ‌ها با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (ویدرلی ۱۹۵۰).

$$100 \times \frac{(FW - DW)}{(TW - DW)} = \text{مقدار نسبی آب برگ}$$

با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 ساخت کشور آمریکا در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان آن‌ها با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۴ محاسبه شد.

$$\text{Chlorophyll a} = (\text{mgg}^{-1}) = (12.7 \times \text{OD}.663) - (2.69 \times \text{OD}.645) \times V/1000 \times W \quad (\text{معادله ۲})$$

$$\text{Chlorophyll b} = (\text{mgg}^{-1}) = (22.9 \times \text{OD}.645) - (4.68 \text{OD}.663) \times V/1000 \times W \quad (\text{معادله ۳})$$

$$\text{Total chlorophyll} = (\text{mgg}^{-1}) = (8.02 \times \text{OD}.663) + (20.2 \times \text{OD}.645) \times V/1000 \times W \quad (\text{معادله ۴})$$

در این معادله، θ_{fc} میزان رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی خاک، θ_{pwp} میزان رطوبت خاک در نقطه پژمردگی، t درصد تخلیه رطوبت خاک (۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد)، ρ وزن مخصوص ظاهری خاک، D عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد (۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)، A مساحت کرت (متر مربع)، I_g میزان آب آبیاری و E_a راندمان آب آبیاری می‌باشد.

اندازه‌گیری صفات

غلظت عناصر غذایی برگ

تعیین غلظت عناصر برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن برگ پس از هضم نمونه گیاهی براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کج‌دال مدل V40 اندازه‌گیری شد (لانگ ۱۹۵۸). برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم برگ، نمونه‌های برداشت شده با آب مقطر کاملاً شسته شدند و به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. سپس یک گرم از نمونه خشک شده توزین شد و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر گردید. خاکستر مورد نظر بعد از اضافه کردن ۵ میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال روی هیتر قرار داده و با شروع جوشیدن، محلول حاصل از کاغذ صافی ۱۲ میلی‌متری عبور داده شد. سپس حجم نمونه‌ها توسط آب دوبار تقطیر شده به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در عصاره به‌دست آمده، غلظت فسفر با (معادله ۱)

که در آن FW وزن تازه‌ی بافت برگ، DW وزن خشک بافت برگ، TW وزن آماس یافته بافت برگ است. میزان کلروفیل a ، b و کلروفیل کل با استفاده از روش آرنون (۱۹۴۹) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون اندازه‌گیری شد. جذب نور

که در آن V حجم نمونه، OD میزان جذب، W وزن تر نمونه است.

صفات رویشی و وزن خشک شاخساره

در پایان دوره رشد ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و وزن خشک شاخساره (وزن خشک برگ+ وزن خشک ساقه+ وزن خشک گل) گزارش شد. برای محاسبه وزن خشک شاخساره در هر کرت برداشت از ردیف‌های وسط جهت حذف اثر حاشیه‌ای با مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت. وزن خشک شاخساره بطور جداگانه به وسیله آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک شد و سپس به وسیله ترازوی دقیق توزین شد.

محصول و اجزای محصول دانه و شاخص برداشت

در پایان پس از برداشت محصول و اجزای محصول (شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه) اندازه‌گیری شد. شاخص برداشت محصول با تقسیم محصول دانه بر محصول بیوماس (وزن خشک شاخساره+ محصول دانه) بر حسب درصد به دست آمد.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

فواصل آبیاری مقدار نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ را تحت تاثیر قرار داد، اما اثر ترکیبات کودی بر مقدار فسفر و پتاسیم برگ معنادار نبود. همچنین مقدار نیتروژن برگ تحت تأثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که در ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی،

بیشترین مقدار نیتروژن برگ در شرایط ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار+مالچ بدست آمد که با مصرف ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار تفاوت معناداری نداشت (جدول ۳). در فواصل آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، مقدار نیتروژن برگ در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار+مالچ نسبت به مصرف به تنهایی ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار افزایش معناداری نشان داد (جدول ۵).

بیشترین مقدار فسفر و پتاسیم برگ سیاه‌دانه در ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی بدست آمد که نسبت به ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی تفاوت معناداری نشان نداد (جدول ۴). همچنین افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش مقدار فسفر و پتاسیم برگ شد، به طوری که میزان این عناصر در آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی نسبت به ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک کاهش یافت.

تنش خشکی از طریق کاهش انتقال عناصر از خاک به درون ریشه و آوندهای گیاه، مقدار عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (دوتانیا و منا ۲۰۱۵). همچنین کاهش میزان تعرق به دلیل تنش خشکی، سبب کاهش جذب عناصر غذایی و کارایی استفاده از آن‌ها می‌گردد (فاروق و همکاران ۲۰۰۹). از سوی دیگر کود اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، تاثیر بارزتر بر غلظت جذب نیتروژن برگ سیاه‌دانه داشت. استفاده از کود نیتروژنه در طول دوره رشد منجر به افزایش فراهمی و دسترسی گیاه به عنصر نیتروژن شده و در نتیجه این امر جذب و انتقال آن به برگ نیز افزایش می‌یابد. گزارش شده است که در شرایط آبیاری نرمال زمانی که پتانسیل آب خاک بالا است، انتقال عناصر غذایی به اندام‌های هوایی بیشتر است (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). محققان گزارش کردند که مالچ کاه و کلش گندم به دلیل بهبود نفوذپذیری خاک و کاهش شدت تبخیر از خاک سبب افزایش محتوای رطوبتی خاک می‌شود (رضایی پور و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین استفاده از مالچ به دلیل حفظ رطوبت خاک تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه فراهم نموده و در نتیجه سبب بهبود جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی می‌شود (کادر و همکاران ۲۰۱۹).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات جذب عناصر و صفات فیزیولوژیکی در سیاه‌دانه

منابع تغییر	درجه آزادی	نیتروژن برگ	فسفر برگ	پتاسیم برگ	نشت یونی	مقدار نسبی آب برگ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل ab
تکرار	۲	۰/۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۴ ^{ns}	۳۰/۵۳ ^{ns}	۷۴/۵۷ ^{ns}	۱/۷۱ [*]	۱/۷۳ ^{**}	۰/۰۴۸ ^{ns}
فواصل آبیاری	۲	۱/۸۱ ^{**}	۰/۰۰۹ ^{**}	۰/۵۴۷ ^{**}	۱۳۷۱/۳۱ ^{**}	۱۷۵۹/۷۰ ^{**}	۳/۰۳ ^{**}	۰/۲۹۲ [*]	۵/۲۲ ^{**}
خطای a	۴	۰/۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۷/۴۶	۱۹/۸۸	۰/۱۳۱	۰/۰۴۰	۰/۲۶۴
ترکیبات کودی	۵	۱/۵۱ ^{**}	۰/۰۰۰۰۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۱ ^{ns}	۱۰۱/۲۴ ^{**}	۲۱۵/۹۹ ^{**}	۰/۸۵۴ ^{**}	۰/۴۲۹ ^{**}	۲/۴۸ ^{**}
فواصل آبیاری × ترکیبات کودی	۱۰	۱/۱۱ ^{**}	۰/۰۰۰۰۱ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۷ ^{ns}	۲۲/۰۱ ^{**}	۷/۶۷ [*]	۰/۰۴۳ ^{ns}	۰/۰۱۹ [*]	۰/۰۹۵ ^{ns}
خطای b	۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۰۰۰۰۴	۲/۲۷	۲/۹۸	۰/۰۵۱	۰/۰۰۸	۰/۰۷۰
ضریب تغییرات (%)	-	۶/۹	۱۰/۱	۹/۵	۸/۵	۱۲/۸	۱۰/۱	۱۰/۶	۸/۵

ns و ** و *** به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معنادار می باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های نیتروژن برگ، نشت یونی، مقدار نسبی آب برگ و کلروفیل b برگ برای برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی در سیاه‌دانه

فواصل آبیاری	ترکیبات کودی	نیتروژن برگ (%)	نشت یونی (%)	مقدار نسبی آب برگ (%)	کلروفیل b (mg.g FW ⁻¹)
۲۵ درصد تخلیه رطوبتی	۵۰ کیلوگرم اوره	۲/۴۵ bc	۳۲/۹ f	۷۳/۰ a	۰/۹۸ c-f
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۴۷ bc	۳۲/۸ f	۷۳/۹ a	۱/۱۰ abc
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۲/۷۱ a	۳۴/۸ ef	۷۲/۱ a	۱/۰۰ b-e
	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۸۴ a	۳۳/۷ ef	۷۳/۳ a	۱/۲۴ a
	مالچ	۱/۹۴ ef	۳۲/۸ f	۷۳/۲ a	۰/۸۶ efg
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	شاهد	۱/۹۲ ef	۳۵/۶ ef	۷۲/۰ a	۰/۸۱ fgh
	۵۰ کیلوگرم اوره	۲/۴۳ bc	۳۸/۸ d	۵۷/۶ c	۰/۸۲ fgh
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۵۸ ab	۳۵/۶ ef	۶۷/۲ b	۱/۱۸ ab
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۲/۶۹ ab	۳۹/۶ d	۵۷/۲ c	۰/۸۷ d-g
	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۸۲ a	۳۴/۹ ef	۶۷/۸ b	۱/۱۷ ab
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	مالچ	۱/۸۸ ef	۳۵/۲ ef	۶۸/۷ b	۰/۷۳ gh
	شاهد	۱/۶۵ fg	۴۰/۰ d	۵۶/۳ c	۰/۶۶ h
	۵۰ کیلوگرم اوره	۱/۸۹ ef	۵۶/۳ ab	۴۵/۵ d	۰/۶۷ h
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۱۱ de	۴۴/۱ c	۵۶/۳ c	۱/۰۴ bcd
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۲/۲۵ cd	۵۴/۶ b	۴۶/۵ d	۰/۷۴ gh
۱۰۰ درصد تخلیه رطوبتی	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲/۵۷ ab	۴۵/۲ c	۵۴/۵ c	۱/۱۰ abc
	مالچ	۱/۶۵ fg	۴۵/۹ c	۵۶/۷ c	۰/۴۸ i
	شاهد	۱/۴۶ g	۵۸/۵ a	۴۵/۵ d	۰/۴۱ i

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معناداری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های فسفر و پتاسیم برگ، کلروفیل a، کلروفیل ab برگ، فولیکول در بوته، دانه در فولیکول و وزن هزار دانه برای فواصل آبیاری در سیاه‌دانه

فواصل آبیاری	فسفر برگ (%)	پتاسیم برگ (%)	کلروفیل a (mg.g ⁻¹ FW ⁻¹)	کلروفیل ab (mg.g FW ⁻¹)	فولیکول در بوته	دانه در فولیکول	وزن هزار دانه (g)
۲۵ درصد تخلیه رطوبتی	۰/۲۵۱ a	۱/۳۴ a	۲/۵۷ a	۳/۵۶ a	۱۲/۲۷ a	۴۸ a	۱/۸۹ a
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	۰/۲۳۸ a	۱/۳۱ a	۲/۳۲ a	۳/۲۴ a	۱۱/۹۴ ab	۴۷ a	۱/۷۷ ab
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	۰/۲۰۵ b	۱/۰۲ b	۱/۷۷ b	۲/۵۱ b	۱۰/۳۳ b	۴۲ b	۱/۶۵ b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معناداری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

نشت یونی و مقدار نسبی آب برگ

فواصل آبیاری و ترکیبات کودی نشت یونی و مقدار نسبی آب برگ را تحت تاثیر قرار داد، همچنین نشت یونی و مقدار نسبی آب برگ تحت تأثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی قرار گرفت (جدول ۲). افزایش فواصل آبیاری سبب افزایش نشت یونی برگ سیاه‌دانه شد و تفاوت معناداری بین سطوح مختلف ترکیبات کودی و مالچ نسبت به شاهد در آبیاری ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک مشاهده نگردید (جدول ۳). اما با افزایش فواصل آبیاری به ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک، کاربرد مالچ کاه و کلش گندم به تنهایی یا همراه با کود اوره توانست نسبت به دیگر تیمارها بهتر عمل نماید و سبب کاهش نشت یونی برگ سیاه‌دانه شود.

افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش مقدار نسبی آب برگ سیاه‌دانه شد (جدول ۳). در آبیاری ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، تفاوت معناداری بین سطوح مختلف ترکیبات کودی و مالچ نسبت به شاهد مشاهده نگردید. در فواصل آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک، بیشترین میزان مقدار نسبی آب برگ در تیمار استفاده از مالچ کاه و کلش گندم بدست آمد که نسبت به تلفیق آن با کود اوره تفاوت معناداری نشان نداد. همچنین کمترین میزان مقدار نسبی آب برگ در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۳).

تنش‌های شدید محیطی منجر به افزایش تولید رادیکال‌های فعال می‌شود که به نوبه خود اکسید شدن پروتئین‌ها و لیپیدها را بدنبال دارد (گارسیا-کاپروس و

همکاران ۲۰۱۹) در نتیجه تخریب غشاء سلولی سبب افزایش نشت یونی به خصوص در شرایط تنش خشکی می‌شود (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). محققان گزارش کردند که کاربرد مالچ باعث افزایش رطوبت خاک شده و از تخریب غشای سلولی جلوگیری می‌کند. در نتیجه مالچ گیاهی سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی از برگ می‌شود (غلامی و ارجی ۲۰۱۸). از سوی دیگر استفاده از مالچ کاه و کلش گندم سبب افزایش نفوذ آب در خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک شده و تا حدودی از عوارض تنش خشکی می‌کاهد (رحما و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین مالچ باعث ایجاد محیطی مناسب جهت رشد گیاه گشته و آب قابل دسترس بیشتری را در اختیار گیاه قرار داده و در نتیجه سبب افزایش مقدار نسبی آب برگ سیاه‌دانه شده است. نتایج دیگر محققان نشان می‌دهد که مالچ غیرزنده تأثیر مثبت و معناداری بر مقدار نسبی آب برگ گیاه نعنائفلی (*Mentha piperita L.*) داشته است (شهریاری و همکاران ۲۰۱۹). محققان گزارش کردند که مالچ کاه و کلش برنج تأثیر بسیار بالایی در کنترل علف‌های هرز دارد و این اثر می‌تواند در کاهش رقابت علف‌های هرز با گیاه و در نتیجه افزایش رشد گیاه سبزی پپینو (*Solanum muricatum*) نقش موثری داشته باشد (میرابی و همکاران، ۲۰۱۲).

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل a، b و کلروفیل کل تحت تاثیر فواصل آبیاری و ترکیبات کودی

یا به تنهایی در فواصل مختلف آبیاری تفاوت معناداری نشان نداد (جدول ۳).

با افزایش شدت تنش خشکی از میزان مقدار کلروفیل برگ گیاه سیاه‌دانه کاسته شد. در واقع حمله رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش اکسیدکننده عاملی بر کاهش میزان کلروفیل در شرایط تنش خشکی عنوان شده است (خسرونژاد و همکاران ۲۰۱۸). غلظت کلروفیل برگ به متابولیسم گیاه، فعالیت آنزیم روبیسکو و میزان نیتروژن برگ بستگی دارد. بنابراین تنش خشکی ممکن است به علت اثری که روی پروتئین‌ها دارند، اتصال بین کلروفیل و پروتئین‌های کلروپلاستی سست شده و کلروفیل‌ها تخریب گردند (یو-زینک و همکاران ۲۰۲۱). کاهش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه سیاه‌دانه در شرایط تنش خشکی نیز خود نتیجه فراهم نبودن عوامل لازم جهت سنتز کلروفیل و تخریب ساختمان آن می‌باشد (کبیری و همکاران ۲۰۱۴). محققان اظهار داشتند که با افزایش فعالیت کربوکسیلازی روبیسکو و غلظت نیتروژن برگ، کلروفیل برگ افزایش می‌یابد (حسین زاده و همکاران ۲۰۱۶). بالطبع کاربرد کود شیمیایی از طریق افزایش غلظت نیتروژن می‌تواند تا حدودی سبب افزایش کلروفیل برگ گردد (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). بنابراین با توجه به نقش کلیدی عنصر نیتروژن در ساختمان کلروفیل، به نظر می‌رسد تأمین این عنصر دلیل اصلی افزایش کلروفیل برگ در گیاه سیاه‌دانه باشد.

قرار گرفت، همچنین مقدار کلروفیل b برگ تحت تأثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۲). با افزایش فواصل آبیاری مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل برگ روند کاهشی را نشان داد، به طوری که کمترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل برگ با آبیاری در ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک مشاهده شد که نسبت به ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی کاهش معناداری نشان داد (جدول ۴). بیشترین مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل برگ در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم یا به تنهایی مشاهده گردید که نسبت به شاهد افزایش معناداری نشان داد (جدول ۵). همچنین ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در این آزمایش در سطح پایین‌تر توانسته مقدار کلروفیل a و کلروفیل کل برگ سیاه‌دانه را بهبود دهد.

در فواصل مختلف آبیاری، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم یا به تنهایی سبب افزایش معنادار کلروفیل b گردید (جدول ۳). همچنین ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم یا به تنهایی در این آزمایش در سطح پایین‌تر توانسته مقدار کلروفیل b برگ سیاه‌دانه را بهبود دهد. نتایج دیگر نشان داد که افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش مقدار کلروفیل b شد، اما در ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های کلروفیل a، کلروفیل ab، فولیکول در بوته و وزن هزار دانه برای ترکیبات کودی در سیاه‌دانه

وزن هزار دانه (g)	فولیکول در بوته	کلروفیل ab (mg.g FW ⁻¹)	کلروفیل a (mg.g FW ⁻¹) ¹	ترکیبات کودی
۱/۷۶ b	۱۱/۵ b	۳/۰۰ b	۲/۱۷ b	۵۰ کیلوگرم اوره
۱/۷۸ ab	۱۱/۸ ab	۳/۶۶ a	۲/۵۵ a	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ
۱/۸۳ a	۱۱/۶ b	۳/۱۰ b	۲/۲۲ b	۱۰۰ کیلوگرم اوره
۱/۸۴ a	۱۲/۲ a	۳/۷۷ a	۲/۶۰ a	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ
۱/۷۳ bc	۱۱/۰ c	۲/۶۴ c	۱/۹۵ c	مالچ
۱/۶۷ c	۱۰/۷ c	۲/۴۷ c	۱/۸۴ c	شاهد

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معناداری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

فواصل آبیاری و ترکیبات کودی، ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی را تحت تاثیر قرار داد، همچنین این صفات تحت تاثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی قرار گرفت (جدول ۶). در ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم و کمترین مقدار این صفت در شاهد بدست آمد (جدول ۷). همچنین در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم و در سطح پایینتر ۵۰ کیلوگرم اوره سبب افزایش ارتفاع بوته نسبت به شاهد شد (جدول ۷). ارتفاع بوته در ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم در فواصل مختلف آبیاری تفاوت معناداری نشان نداد.

کمترین تعداد شاخه جانبی سیاهدانه با آبیاری در ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک مشاهده شد که نسبت به زمان ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی کاهش نشان داد (شکل ۷). از سوی دیگر در فواصل مختلف آبیاری تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم و در سطح پایینتر ۵۰ کیلوگرم اوره سبب افزایش تعداد شاخه جانبی سیاهدانه گردید (جدول ۷). همچنین کمترین تعداد شاخه جانبی سیاهدانه در شاهد مشاهده گردید (جدول ۷).

تنش خشکی ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب اختلال در جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی اندازهگیری شده در گیاه سیاهدانه گردید. بنابراین کاهش شاخصهای رویشی در تنش شدید خشکی دور از انتظار نبود. از سوی دیگر افزایش در میزان ارتفاع بوته و تعداد شاخ جانبی در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم به دلیل فراهم شدن سطح جذب مناسبتر نیتروژن است. کاهش میزان آب و عناصر غذایی می‌تواند با تاثیر بر خصوصیات فیزیولوژیکی گیاهان، منجر به تولید گونه‌های اکسیژن فعال شده که ممکن است باعث آسیب سلولی گردد (زگالی و همکاران ۲۰۰۵). حفظ مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی و فتوسنتز بالاتر در شرایط تنش می‌تواند به عنوان یک راهبرد کارآمد برای بهبود رشد گیاه در

تنش‌های خشکی در نظر گرفت (عطارزاده و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر عنوان شده است که مالچ از طریق افزایش دسترسی به آب، رشد و نمو گیاهان را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش شاخصهای رویشی می‌شوند (شهریاری و همکاران ۲۰۱۳). گزارش شده است که مالچ کاه و کلش گندم به دلیل تاخیر در سبز شدن و سرکوب علف‌های هرز توانسته سبب افزایش رشد گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica*) شود (مرادیان و همکاران ۲۰۱۸). گزارش شده که مالچ کاه و کلش گندم سبب افزایش ارتفاع و تعداد شاخه جانبی در گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.) شده که در نتیجه سبب بهبود رشد و عملکرد می‌گردد (امینی و همکاران ۲۰۲۲).

وزن خشک شاخساره، محصول دانه و شاخص برداشت

فواصل آبیاری و ترکیبات کودی، وزن خشک شاخساره، محصول دانه و شاخص برداشت سیاهدانه را تحت تاثیر قرار داد، همچنین این صفات تحت تاثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی قرار گرفت (جدول ۶). در ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی، وزن خشک شاخساره در ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ و مصرف به تنهایی به ترتیب افزایش ۸/۷ و ۷/۱ درصدی نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۷). در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی، بیشترین وزن خشک شاخساره در ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ و کمترین مقدار این صفت در شاهد به دست آمد (جدول ۷).

نتایج مشابهی برای محصول دانه سیاه دانه حاصل شد، به طوری که افزایش فواصل آبیاری در ۵۰ و ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی سبب کاهش معنادار محصول دانه شد (جدول ۹). در فواصل مختلف آبیاری تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره و در سطح پایینتر ۵۰ کیلوگرم اوره به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم سبب افزایش محصول دانه سیاهدانه گردید (جدول ۷). همچنین کمترین تعداد شاخه جانبی سیاهدانه در شاهد مشاهده گردید (جدول ۷).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات رویشی و محصولی سیاه‌دانه.

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	شاخه جانبی	وزن خشک شاخساره	محصول دانه	شاخص برداشت	فولیکول در بوته	فولیکول دانه در فولیکول	وزن هزار دانه
تکرار	۲	۲۸/۶۸ *	۶/۳۵ ^{ns}	۲۷۸۸/۴۶ *	۴۱۶/۰۵ ^{ns}	۴/۹۷ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}	۱۲۸/۹۶ **	۰/۲۵ *
فواصل آبیاری	۲	۱۴۴/۱۲ **	۳۲/۰۱ **	۲۴۴۵۶/۶۸ **	۸۶۷۶/۳۸ **	۸/۷۴ *	۱۹/۴۶ **	۱۳۲/۰۷ **	۰/۲۶ *
خطای a	۴	۵/۰۴	۱/۲۴	۲۵۱/۷۴	۱۵۱/۹۴	۱/۴۴	۰/۳۷۹	۶/۵۴	۰/۰۲۲
ترکیبات کودی	۵	۲۸۴/۷۲ **	۳۱/۶۶ **	۲۱۷۸۹/۱۸ **	۴۰۷۲/۵۳ **	۱/۹۷ **	۲/۶۵ **	۵/۴۹ ^{ns}	۰/۰۳ **
فواصل آبیاری × ترکیبات کودی	۱۰	۸/۰۴ **	۳/۲۱ *	۳۱۱/۹۹ **	۲۶۹/۰۵ *	۰/۹۹ *	۰/۱۲۹ ^{ns}	۰/۲۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
خطای b	۳۰	۲/۴۳	۰/۵۸	۶۷/۲۲	۱۱۱/۹۸	۰/۵۰۰	۰/۲۰۳	۲/۳۷	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (%)	-	۱۲/۸	۶/۲	۱۱/۵	۸/۷	۱۲/۱	۱۳/۹	۹/۳	۱۳/۳

*, **, و ns به ترتیب معنادار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم معناداری باشد.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های ارتفاع، شاخه جانبی، وزن خشک شاخساره، محصول دانه و شاخص برداشت برای برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی در سیاه‌دانه

فواصل آبیاری	ترکیبات کودی	ارتفاع (cm)	شاخه جانبی	وزن خشک شاخساره (kg.ha ⁻¹) ^۱	محصول دانه (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%)
۲۵ درصد تخلیه رطوبتی	۵۰ کیلوگرم اوره	۳۳ bc	۱۳/۳ cde	۱۴۴۳ d	۴۸۸ de	۳۳/۸ ab
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲۵ b	۱۳/۶ bcd	۱۴۵۱ d	۴۹۴ bcd	۳۴/۰ a
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۳۸ a	۱۵/۰ ab	۱۵۰۱ b	۵۰۹ abc	۳۳/۹ ab
	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۴۱ a	۱۵/۳ a	۱۵۲۴ a	۵۱۹ a	۳۴/۰ a
	مالچ	۳۰ def	۱۲/۰ efg	۱۴۱۰ f	۴۷۷ d-g	۳۳/۸ ab
	شاهد	۲۸ fg	۱۱/۰ ghi	۱۴۰۱ f	۴۷۳ efg	۳۳/۷ ab
۵۰ درصد تخلیه رطوبتی	۵۰ کیلوگرم اوره	۳۰ def	۱۲/۳ d-g	۱۴۲۶ e	۴۷۹ def	۳۳/۶ ab
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۳۴ bc	۱۲/۶ def	۱۴۳۸ de	۴۸۹ de	۳۴/۰ a
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۳۵ b	۱۴/۳ abc	۱۴۷۳ c	۴۸۸ de	۳۳/۱ abc
	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۴۰ a	۱۵/۰ ab	۱۵۱۰ b	۵۱۲ ab	۳۳/۹ ab
	مالچ	۲۹ efg	۱۱/۳ fgh	۱۳۹۸ f	۴۷۳ efg	۳۳/۸ ab
	شاهد	۲۴ h	۹/۶ i	۱۳۷۹ g	۴۶۱ fgh	۳۳/۴ abc
۷۵ درصد تخلیه رطوبتی	۵۰ کیلوگرم اوره	۲۵ h	۱۰/۳ hi	۱۳۷۳ g	۴۴۳ hi	۳۲/۲ c
	۵۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۳۲ bcd	۱۱/۳ fgh	۱۳۹۷ f	۴۷۳ efg	۳۳/۸ ab
	۱۰۰ کیلوگرم اوره	۳۱ cde	۱۲/۳ d-g	۱۳۹۹ f	۴۵۸ ghi	۳۲/۷ abc
	۱۰۰ کیلوگرم اوره+مالچ	۲۸ a	۱۳/۳ cde	۱۴۷۰ c	۴۹۱ cde	۳۳/۴ abc
	مالچ	۲۷ gh	۹/۹ i	۱۳۵۳ h	۴۴۰ i	۳۲/۵ bc
	شاهد	۱۹ i	۷/۶ j	۱۳۱۴ i	۴۰۴ j	۳۰/۷ d

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معناداری با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ندارند.

همراه ترکیبات آلی می‌تواند در شرایط مشابه توصیه شود (نجفی و همکاران ۲۰۱۹).

اجزای محصول دانه

فواصل آبیاری و ترکیبات کودی، فولیکول در بوته، دانه در فولیکول و وزن هزار دانه را تحت تاثیر قرار داد، اما این صفات تحت تاثیر برهمکنش فواصل آبیاری و ترکیبات کودی قرار نگرفت (جدول ۶). با افزایش فواصل آبیاری فولیکول در بوته، دانه در فولیکول و وزن هزار دانه روند کاهشی را نشان داد، به طوری که کمترین فولیکول در بوته، دانه در فولیکول و وزن هزار دانه با آبیاری در ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک مشاهده شد که نسبت به ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی کاهش معناداری نشان داد (جدول ۴). بیشترین فولیکول در بوته و وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم مشاهده گردید که نسبت به شاهد افزایش معناداری نشان داد (جدول ۵). همچنین ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به تنهایی یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم در این آزمایش در سطح پایین‌تر توانسته فولیکول در بوته و وزن هزار دانه سیاهدانه را بهبود دهد.

بهبود جذب آب و عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن در تیمار تلفیق مالچ و کود نیتروژنه منجر به بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی سیاهدانه شده که در نتیجه این امر، تولید مواد فتوسنتزی افزایش یافته است. افزایش تولید مواد فتوسنتزی منجر به افزایش محصول زایشی شده که به دنبال آن فولیکول در بوته، دانه در فولیکول و وزن هزار دانه افزایش یافته است. از سوی دیگر کاهش اجزای محصول در تیمار ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی ناشی از تاثیر تنش خشکی بر انتقال اسیمیلات‌ها می‌باشد. گزارش شده است که کمبود شدید آب به دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی اجزای محصول سیاهدانه را کاهش می‌دهد (سرداری و همکاران ۲۰۲۰). کمبود رطوبت با تأثیر بر منبع فتوسنتز کنند گیاه و کوتاه شدن دوره زایشی، سبب کاهش اندام‌های زایشی گیاه می‌گردد، از سوی دیگر تلفیق مالچ

در آبیاری ۲۵ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، تفاوت معناداری بین سطوح مختلف ترکیبات کودی و مالچ نسبت به شاهد در شاخص برداشت مشاهده نگردید (جدول ۷). در فواصل آبیاری ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی خاک، بیشترین شاخص برداشت در تیمار استفاده از مالچ کاه و کلش گندم در تلفیق با کود اوره مشاهده شد که نسبت مصرف به تنهایی مالچ کاه و کلش گندم تفاوت معناداری نشان نداد. همچنین کمترین شاخص برداشت در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۷).

کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت در تیمار ۷۵ درصد تخلیه رطوبتی ناشی از تاثیر تنش خشکی بر انتقال اسیمیلات‌ها می‌باشد. گزارش شده است که کمبود شدید آب به دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی محصول دانه را کاهش می‌دهد. بروز تنش خشکی در انتهای رشد باعث آسیب زیادی به عملکرد دانه سیاهدانه می‌شود (سرداری و همکاران ۲۰۲۰). در آزمایشی دیگر با بررسی اثر تنش خشکی بر رشد سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.) گزارش شد که در بالاترین سطح تنش خشکی به دلیل اختلال در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی گیاه و همچنین عدم دسترسی کافی به آب، سبب کاهش جذب نیتروژن و در نتیجه کاهش رشد گیاه گردید (جلیل شش‌پره و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر محققان عنوان کردند که تلفیق مالچ کاه و کلش گندم و کود نیتروژنه با بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی سبب افزایش محصول دانه گیاهان در شرایط کمبود آب می‌شود (گیو و همکاران ۲۰۲۱). امینی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که استفاده از تیمارهای مالچی باعث کاهش رقابت با علفهای هرز شده و افزایش جذب آب و عناصر غذایی را در پی داشته و در نهایت به افزایش عملکرد محصول کمک می‌کند. پژوهشگران دیگری هم نتایج مشابهی برای گیاه دارویی بادرشبو با استفاده از تلفیق مالچ و کود نیتروژن گزارش کرده‌اند (مرادیان و همکاران ۲۰۱۸). بنابراین برای کاهش مصرف کودهای شیمیایی، بهبود جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاهان در راستای اهداف کشاورزی پایدار، تلفیق کود شیمیایی به

در نتیجه سبب افزایش محصول و اجزای محصول گردید. به نظر می‌رسد در شرایط تنش خشکی کاربرد مالچ کاه و کلش گندم با افزایش مقدار نسبی آب برگ و کاهش نشت یونی در بهبود شاخص‌های رشد تاثیر گذاشته است. علاوه بر کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم که سبب افزایش محصول دانه در سیاه‌دانه شد، تیمار ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم در سطح پایین‌تر توانسته محصول دانه را بهبود دهد. در مجموع کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم برای کاشت گیاه سیاه‌دانه قابل توصیه می‌باشد.

سیاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا، که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

و کود نیتروژنه سبب بهبود شرایط رشد شده که در نتیجه باعث تأثیر بر اجزای عملکرد می‌گردد (گیو و همکاران ۲۰۲۱). گزارش‌های مشابهی از افزایش محصول و اجزای محصول در اثر استفاده از تلفیق مالچ و کود نیتروژنه وجود دارد (رحمان و همکاران ۲۰۰۵ و بهزادنژاد و همکاران ۲۰۲۰).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که فواصل مختلف آبیاری در شرایط مالچ و بدون مالچ و همچنین سطوح مختلف نیتروژن، جذب عناصر غذایی و صفات محصولی را تحت تاثیر قرار داد. افزایش فواصل آبیاری سبب تاثیر نامطلوبی بر غلظت عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی سیاه‌دانه گردید و در نتیجه سبب کاهش محصول دانه و شاخص برداشت گردید. استفاده از کود اوره بصورت تنها و یا در تلفیق با مالچ کاه و کلش گندم در افزایش مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی موثر بوده و

منابع مورد استفاده

- Amini R, Abbaszadeh M and Dabbagh Mohammadi Nassab A. 2022. Effect of non-chemical methods in integration with reduced rates of trifluralin on weeds and yield of Dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32: 245-259.
- Arnon DE. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). Plant Physiology, 24: 1-15.
- Attarzadeh M, Balouchi H, Rajaie M, Dehnavi MM and Salehi A. 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. Industrial Crops and Products, 154: 112763.
- Attarzadeh M, Balouchi H, Rajaie M, Movahhedi Dehnavi M and Salehi A. 2019. Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas florescent* bacterium under different irrigation regimes. Journal of Environmental Management, 231: 182-188.
- Behzadnejad J, Tahmasebi-Sarvestani Z, Aein A and Mokhtassi-Bidgoli A. 2020. Wheat straw mulching helps improve yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. International Journal of Plant Production, 14: 389-400.
- Bouyoucos C J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soil. Agronomy Journal, 54: 406-465.
- Bower C A, Reitmeir R F and Fireman M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. Soil Science, 73(4): 251-261.

- Bremner J M and Mulvaney C S. 1965. Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis: part 2, chemical and microbiological properties. page, a. l. (ed). 1982. Second Edition. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wisconsin USA. Agronomy Series, 9 (2): 596-622.
- Chalker-Scott L. 2007. Impact of mulches on landscape plants and the environment-a review. Journal of Environmental Horticulture, 25: 239-249.
- Chatterjee S, Bandyopadhyay K, Pradhan S, Singh R and Datta S. 2018. Effects of irrigation, crop residue mulch and nitrogen management in maize (*Zea mays* L.) on soil carbon pools in a sandy loam soil of Indo-gangetic plain region. Catena, 165: 207-216.
- Cheikh-Rouhou S, Besbes S, Hentati B, Blecker C, Deroanne C and Attia H. 2007. *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. Food Chemistry, 101: 673-681.
- Dotaniya ML and Meena VD. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 85: 1-12.
- Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, Fujita D and Basra S. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29(1): 185-212.
- García-Caparrós P, Mirza H and María Teresa L. 2019. Oxidative Stress and Antioxidant Defense in Plants under Salinity', Reactive Oxygen, Nitrogen and Sulfur Species in Plants: Production, Metabolism, Signaling and Defense Mechanisms, 291-309.
- Gholami R and Arji I. 2018. Effect of mulch and irrigation interval on morph-physiological characteristics of Olive (*Olea europaea* cv. Sevillana) under field condition. Plant Production Technology, 19 (2): 157-166.
- Guo J, Fan J, Zhang F, Yan S, Wu Y, Zheng J and Xiang Y. 2021. Growth, grain yield, water and nitrogen use efficiency of rainfed maize in response to straw mulching and urea blended with slow-release nitrogen fertilizer: A two-year field study. Archives of Agronomy and Soil Science, 1-14.
- Hosseini SS, Nadjafi F, Asareh MH and Rezadoost H. 2018. Morphological and yield related traits, essential oil and oil production of different landraces of black cumin (*Nigella sativa*) in Iran. Scientia Horticulturae, 233: 1-8.
- Hosseinzadeh SR, Amiri H and Ismaili A. 2018. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. Journal of Integrative Agriculture, 17: 2426-2437.
- Ijaz H, Tulain UR, Qureshi J, Danish Z, Musayab S, Akhtar MF, Saleem A, Khan KAR, Zaman M and Waheed I. 2017. *Nigella sativa* (Prophetic Medicine): A Review. Pakistan journal of pharmaceutical sciences, 30.
- Iqbal R, Raza MAS, Valipour M, Saleem MF, Zaheer MS, Ahmad S, Toleikiene M, Haider I, Aslam MU and Nazar MA. 2020. Potential agricultural and environmental benefits of mulches-a review. Bulletin of the National Research Centre, 44: 1-16.
- Jabran K. 2019. Mulches for enhancing biological activities in soil. Role of Mulching in Pest Management and Agricultural Sustainability. Springer, pp. 41-46.
- Jackson M L. 1958. Soil chemical analysis. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Jalil Sheshbahreh M, Movahhedi Dehnavi M, Salehi A and Bahreininejad B. 2019. Effect of irrigation regimes and nitrogen sources on biomass production, water and nitrogen use efficiency and nutrients uptake in coneflower (*Echinacea purpurea* L.). Agricultural Water Management, 213: 358-367.
- Javadi Hedayat Abad F, Nezami A, Kafi M and Shabahang J. 2014. Effects of Sowing Time on Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Mashhad Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research, 12: 632-640.

- Jones JR, Wolf JB and Mkks HA. 1991. Plant analysis: A practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro and Macro publishing Inc. Athens, Georgia.
- Kabiri R, Farahbakhsh H and Nasibi F. 2014. Effect of drought stress on physiological and biochemical characteristics of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 30: 600-610.
- Kader MA, Singha A, Begum MA, Jewel A, Khan FH and Khan NI. 2019. Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. Bulletin of the National Research Centre, 43: 1-6.
- Kazemi M. 2014. Phytochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity of *Nigella sativa* L. essential oil. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17: 1002-1011.
- Khorasaninejad S, Alizadeh Ahmadabadi A and Hemmati K. 2018. The effect of humic acid on leaf morphophysiological and phytochemical properties of *Echinacea purpurea* L. under water deficit stress. Scientia Horticulturae, 239: 314-323.
- Lang CA. 1958. Simple micro determination of kjeldahl nitrogen in biological materials. Analytical Chemistry, 30: 1692-1694.
- Lindsay W L and Nortvell W A. 1987. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Science Society of American Journal, 42: 421-428.
- Loreto F and Centritto M. 2008. Leaf carbon assimilation in a water-limited world. Plant Biosystems, 142: 154-61.
- Majeed A, Muhammad Z, Ahmad H, Hayat SSS, Inayat N and Siyyar S. 2020. *Nigella sativa* L.: Uses in traditional and contemporary medicines—An overview. Acta Ecologica Sinica.
- Mirabi E, Nemati S, Davarynejad G, Aroiee H. 2012. The effect of mulch on weed dry weight and soil humidity and temperature in Pepino (*Solanum muricatum*). Journal of Horticultural Science, 26 (3): 271-276.
- Moradian A, Yousefi A, Jamshidi K and Andalibi B. 2018. Evaluation of the effect of wheat mulch and nitrogen fertilizer on weed growth and some agronomic traits of *Dracocephalum moldavica*. Iranian Journal of Field Crop Science, 48: 1055-1068.
- Najafi N, Ahmadinezhad R, Aliasgharzad N, Oustan S. 2019. Effects of urea integration with manure and two types of compost (municipal waste and sewage sludge) on concentrations of micronutrients and sodium in wheat leaf stem and seed. Journal of Water and Soil Conservation, 26: 1-27.
- Niu G, Zheng Y, Han F and Qin H. 2019. The nexus of water, ecosystems and agriculture in arid areas: A multiobjective optimization study on system efficiencies. Agricultural Water Management, 223: 105697.
- Rahma AE, Warrington DN and Lei T. 2019. Efficiency of wheat straw mulching in reducing soil and water losses from three typical soils of the Loess Plateau, China. International Soil and Water Conservation Research, 7: 335-345.
- Rahman MA, Chikushi J, Saifizzaman M and Lauren JG. 2005. Rice straw mulching and nitrogen response of no-till wheat following rice in Bangladesh. Field Crops Research, 91: 71-81.
- Ray RL, Ampim PA and Gao M. 2020. Crop protection under drought stress. Crop protection under changing climate. Springer, pp. 145-170.
- Rezaei Pour Z, Vaezi AR and Baba Akbari M. 2018. Investigating the effect of wheat straw mulch on soil water retention in rainfed condition. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49: 955-964.
- Sairam RK, Dharmar K, Chinnusamy V and Meena RC. 2009. Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mung bean (*Vigna radiata*). Journal of Plant Physiology, 6: 602-616.

- Sanchez FJ, Manzanares M, De Andres EF, Tenorio JL and Ayerbe L. 1998. Turgor maintenance, osmotic adjustment and soluble sugar and proline accumulation in 49 pea cultivars in response to water stress. *Field Crop Research*, 59: 225-235.
- Sardari H, Asghari Zakaria R, Zare N, Ghafarzadeh Namazi L and Moghaddaszadeh M. 2020. Evaluation of Black Cumin (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress Conditions at Flowering Stage. *Journal of Crop Breeding*, 12: 138-150.
- Shahriari S, Azizi M, Aroiee H and Ansari H. 2013. Effect of different irrigation levels and mulch application on growth parameters and essential oil content of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 29: 568-582.
- Singh M, Sharma S and Ramesh S. 2002. Herbage, oil yield and oil quality of patchouli [*Pogostemon cablin* (Blanco) Benth.] influenced by irrigation, organic mulch and nitrogen application in semi-arid tropical climate. *Industrial Crops and Products*, 16: 101-107.
- Wang X, Fan J, Xing Y, Xu G, Wang H, Deng J, Wang Y, Zhang F, Li P and Li Z. 2019. The effects of mulch and nitrogen fertilizer on the soil environment of crop plants. *Advances in Agronomy*, 153: 121-173.
- Watanabe F S and Olsen S R. 1965. Test of an ascorbic acid method for determining phosphorous in water and NaHCO₃ extract from soil. *Soil Science of American Procedure*, 29: 677-678.
- Weatherly P E. 1950. Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. *New Phytologist*, 49: 81- 87.
- Yu-Zheng Z, Han-Qin, Z, Ping L, Dong-Sheng Z, Xing-Yu H and Zhi-Qiang G. 2021. Leaf nitrogen have a better relationship with photosynthesis performance across wheat species under elevated CO₂ and drought. *Plant Physiology and Biochemistry*, 166: 964-973.
- Zgallai H, Steppe K and Lemeur R. 2005. Photosynthetic, physiological and biochemical responses of tomato plants to polyethylene glycol-induced water deficit. *Journal of Integrative Plant Biology*, 47: 1470-1478.