University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Effect of Low Irrigation and Foliar Application of Nano Nitrogen Fertilizer on Quantitative and Qualitative Traits of Black Cumin Seeds (*Bunium persicum* L.)

Rezvan Karami Borz-Abad [1]✉| Abolfazl Baghbani-Arani [2]| Babak Paykarestan [3]

1. Coressponding Author, Department of Agriculture Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: r.karami@pnu.ac.ir
2. Department of Agriculture Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: abolfazlbaghbani@pnu.ac.ir
3. Department of Agriculture Science, Payame Noor University, Tehran, Iran. Email: b_paykarestan@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: October 10, 2022
Received in revised form: December 16, 2022
Accepted: December 20, 2022
Published online: April 28, 2023

Keywords:
Essential oil,
irrigation in a fixed interval,
irrigation in an intermittent interval,
irrigation pattern,
nano fertilizer,
seed yield.

ABSTRACT

This research aims to investigate the effect of low irrigation and foliar application of nano nitrogen fertilizer on quantitative (height, biological and seed yield, thousand seed weight and harvest index) and qualitative (essential oil percentage and yield) traits of black cumin seeds in 2018 in a split plot arrangment complete blocks. A random experiment with three replications was carried out on the farm of the Payame Noor Milajerd University. Irrigation levels include: Irrigation of all furrows (control), irrigation once in between furrows (fixed watering of only odd furrows) and intermittent irrigation of furrows (irrigation in rounds of one week for odd furrows and the next week for even furrows) as main plots and levels of nitrogen foliar application include: No foliar application of fertilizer (control of foliar application of distilled water), application of 1.5 and 3 liters per hectare of nanofertilizer were considered as sub-plots. The results of the experiment showed that the interaction effect of the treatments on all studied traits was significant at the one percent level, so the highest values of quantitative traits (plant height, biological and seed yield, 1000-seed weight, and harvest index) in normal furrow irrigation treatments (without drought stress) with the application of nitrogen nanofertilizer was obtained. While the highest and lowest percentage and yield of essential oil (qualitative properties) were obtained, respectively, in the furrow irrigation method with 3 liters of nitrogen nanofertilizer and constant irrigation treatment without nitrogen nanofertilizer. Considering the economic importance of essential oil performance in the production of medicinal plants and in water shortage conditions and the need for optimal consumption of inputs (water and fertilizer) in the direction of sustainable agriculture, the use of an intermittent irrigation pattern and foliar spraying of 3 liters of nitrogen nanofertilizer, while saving consumption water and production of the highest yield of essential oil in black cumin in the study area is recommended.

Cite this article: Karami Borzabad, R., Baghbani-Arani, A., & Paykarestan, B. (2023). Effect of low irrigation and foliar application of nano nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative traits of black cumin seeds (*Bunium persicum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(2), 85-97. DOI: 10.22059/ijfcs.2022.349672.654949.

© The Authors.
Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2022.349672.654949

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۸۰۸۲

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

تأثیر کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکود نیتروژن بر صفات کمی و کیفی دانه زیره سیاه (*Bunium persicum* L.)

رضوان کرمی برزآباد [1]✉ | ابوالفضل باغبانی آرانی [2] | بابک پیکرستان [3]

۱. نویسنده مسئول، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: r.karami@pnu.ac.ir

۲. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: abolfazlbaghbani@pnu.ac.ir

۳. گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: b_paykarestan@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

کلیدواژه‌ها:
آبیاری یک در میان ثابت، آبیاری یک در میان متناوب، الگوی آبیاری، عملکرد دانه، عملکرد اسانس، نانوکود.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر کم‌آبیاری و محلول‌پاشی نانوکود نیتروژن بر صفات کمی (ارتفاع، عملکرد زیستی و دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت) و کیفی (درصد و عملکرد اسانس) دانه زیره سیاه در سال ۱۳۹۷ آزمایشی به‌صورت کرت خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه پیام‌نور میلاجرد استان مرکزی انجام شد. سطوح آبیاری شامل: آبیاری کلیه جویچه‌ها (شاهد)، آبیاری یک در میان جویچه‌ها (آبیاری به‌صورت ثابت فقط جویچه‌های فرد) و آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ها (آبیاری به‌صورت دوره‌ای یک هفته جویچه‌های فرد و هفته بعدی جویچه‌های زوج) به‌عنوان کرت‌های اصلی و سطوح محلول‌پاشی نیتروژن شامل: عدم محلول‌پاشی کود (شاهد محلول‌پاشی آب مقطر)، کاربرد ۱/۵ و ۳ لیتر در هکتار نانوکود به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج آزمایش نشان داد برهمکنش تیمارها بر تمامی صفات مورد مطالعه در سطح یک درصد معنی‌دار بود به‌گونه‌ای‌که بالاترین مقادیر صفات کمی (ارتفاع گیاه، عملکرد زیستی و دانه، وزن هزار دانه و شاخص برداشت) در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای معمولی (بدون تنش کم‌آبی) با کاربرد ۳ لیتر نانوکود نیتروژن حاصل شد درحالی‌که بالاترین و کمترین درصد و عملکرد اسانس (صفات کیفی) به‌ترتیب در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب با ۳ لیتر نانوکود نیتروژن و تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون نانوکود نیتروژن حاصل شد. با توجه به اهمیت اقتصادی صفت عملکرد اسانس در تولید گیاهان دارویی و در شرایط کم‌آبی و لزوم مصرف بهینه نهاده‌ها (آب و کود) در راستای کشاورزی پایدار، استفاده از الگوی آبیاری یک در میان تناوبی و محلول پاشی ۳ لیتر نانوکود نیتروژن، ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب و تولید بالاترین میزان عملکرد اسانس در زیره سیاه در منطقه مورد مطالعه قابل توصیه است.

استناد: کرمی برزآباد، ر.، باغبانی آرانی، ا.، و پیکرستان، ب. (۱۴۰۲). تأثیر کم آبیاری و محلول پاشی نانوکود نیتروژن بر صفات کمی و کیفی دانه زیره سیاه (*Bunium persicum* L.). *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴ (۲): ۹۷-۸۵

DOI: 10.22059/ijfcs.2022.349672.654949

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

زیره سیاه با نام علمی (*Bunium persicum* L.) یکی از گیاهان دارویی ارزشمند از تیره چتریان است که به‌دلیل فصل رشد کوتاه (۸۰ تا ۱۰۰ روز)، نیاز آبی پایین، آفات کم و توجیه اقتصادی بالا به‌طور گسترده در مناطق خشک با روش های کم‌آبیاری کشت می‌شود (Nouri Hosseini & Zabihi, 2014). ایران نیز یکی از مناطق مستعد کاشت زیره سیاه در جهان بوده و در ایران نیز، در استان‌های سمنان، قزوین، هرمزگان، خراسان رضوی، خراسان شمالی و جنوبی، یزد، فارس، مرکزی، و کرمان به صورت وحشی یافت می‌شود (Khorramdel *et al*., 2015). امروزه باتوجه‌به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی و گرایش روزافزون به استفاده از داروهای گیاهی در درمان بیماری‌ها، کشت انبوه انواع گیاهان دارویی مورد توجه قرار گرفته است. تنوع آب و هوایی و شرایط اکولوژیک مختلف موجب شده است که کشور ایران در زمره غنی‌ترین کشورهای دارای منابع ارزشمند گیاهان دارویی و مستعد برای کشت و پرورش این گیاهان قرار گیرد (Baghbani-Arani *et al*., 2017).

یکی از سامانه‌های کم‌آبیاری سطحی که در بسیاری از مناطق مورد استفاده قرار می‌گیرد آبیاری جویچه‌ای است. استفاده از کم‌آبیاری در این روش به دو صورت، کم‌آبیاری معمولی و خشکی موضعی ریشه صورت می‌گیرد (Dehghani *et al*., 2020; Barideh *et al*., 2019). یکی از این روش‌های آبیاری جویچه‌ای، روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان است که روشی جدید برای کاهش مصرف آب می‌باشد (Tafteh & Sepaskhah, 2011). از مزایای روش کم‌آبیاری جویچه‌ای یک در میان نسبت به آبیاری جویچه‌ای معمولی، می‌توان به کاهش آب مصرفی تا نصف در هر آبیاری اشاره کرد و همچنین کل آب مصرفی در فصل رشد ۲۰ تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد، درحالی‌که این کاهش مصرف آب با کاهش اندک عملکرد محصول همراه می‌باشد و هزینه آبیاری کاهش خواهد یافت. البته بهتر است برای روش کم‌آبیاری گیاهانی انتخاب شوند که به کم‌آبی مقاوم باشند (Naderi, 2010). با تغییر آبیاری جویچه‌ای مرسوم به یک در میان ثابت و یا متناوب تا مرحله برداشت علوفه ذرت ۳۹/۱۲ درصد و تا مرحله برداشت دانه ۴۳/۷ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی شد و همچنین نشان داده شد که کاربرد آبیاری جویچه‌ای متناوب در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای مرسوم، هرچند باعث کاهش برخی صفات ریشه (طول، حجم و وزن تر و خشک ریشه) ذرت می‌شود، ولی باتوجه‌به صرفه‌جویی بیشتر آب مصرفی و از طرفی گسترش ریشه‌های ثانویه از طریق تغییر ساختار مورفولوژیک ریشه گیاه (در پاسخ گیاه به تنش خشکی و توسعه ریشه برای جذب آب و عناصر غذایی) می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین روش‌های کم‌آبیاری در شرایط کمبود منابع آب و در راستای کشاورزی پایدار مورد استفاده قرار گیرد (Dehghani *et al*., 2020).

در بررسی اثر زمان تنش کم‌آبی (تنش قبل از گلدهی، زمان گلدهی، زمان پرشدن دانه، زمان سخت شدن دانه و آبیاری کامل) بر عملکرد زیره سبز گزارش کردند که کم‌آبی به‌ویژه در اوایل دوره رشد زایشی، باعث کاهش تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، وزن هزار دانه و عملکرد دانه در هکتار شد (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017). همچنین گزارش شده است که تنش خشکی، سبب کاهش ۱۹ درصدی عملکرد دانه و افزایش ۵۶ درصدی اسانس زیره سبز شد (Kazemi *et al*., 2017).

آب و کود نیتروژن دو عامل بسیار تاثیرگذار در عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی معرفی شده‌اند. قابلیت دسترسی و جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن نیز یکی از عوامل کلیدی در رشد گیاهان محسوب می‌شود که تحت تاثیر میزان رطوبت موجود در خاک قرار می‌گیرد (Baghbani-Arani, 2017). انتقال و آبشویی نمک‌ها یکی دیگر از مؤلفه‌های مهم به شمار می‌رود که در خاک، تحت تأثیر عوامل زیادی مثل ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های نمک‌ها، شرایط آب و هوایی و روش‌های مدیریتی اعمال آب و کود است. روش آبیاری یکی از عوامل تاثیرگذار بر آبشویی و انتقال املاح است و به‌عنوان مثال انتقال املاح در آبیاری بارانی بیشتر به‌صورت یک‌بعدی است، درحالی‌که در روش‌های جویچه‌ای و قطره‌ای، انتقال املاح به‌ترتیب دوبعدی و سه‌بعدی هستند (Hanson *et al*., 2006). محققان گزارش کردند که روش

آبیاری یک در میان متناوب باعث افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه به صورت نیترات و همچنین باعث کاهش آبشویی نیترات آن نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان ثابت شده است (Skinner *et al*., 1999; Barideh *et al*., 2019). در این راستا، Kirda *et al*. (2005) گزارش کردند که در مزارع ذرت که خاک، نیتروژن کمی دارد، روش آبیاری یک در میان باعث کارایی بهتر کوددهی نیتروژن در مقایسه با روش آبیاری کامل و روش کم آبیاری معمولی شده است. Ebrahimian *et al*. (2011) با بررسی هدررفت آب و کود (نیترات) و کارایی مصرف آب در دو رژیم آبیاری جویچه‌ای یک در میان (ثابت و متناوب) تحت شرایط کود آبیاری و مقایسه آن با حالت معمولی آبیاری جویچه‌ای در ذرت بیان داشتند که اختلاف معنی‌داری در مقدار محصول (سبز و خشک) در رژیم‌های آبیاری معمولی و یک در میان متناوب وجود نداشت و آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب نه فقط سبب کاهش هدررفت آب و کود در کودآبیاری شد بلکه سبب افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب شد.

از سویی دیگر، استفاده از فناوری‌های جدید در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در قرن اخیر رشد چشمگیری داشته است. یکی از این موارد، کاربرد عناصر معدنی به شکل‌های مختلف است که می‌توان به فناوری نانو و نقش آن در افزایش کمّی و کیفی محصولات کشاورزی اشاره کرد. یکی از مهمترین کاربردهای فناوری نانو در کشاورزی، استفاده از ترکیبات نانو در تغذیه گیاه است (Yousefzadeh *et al*., 2016; Mirtayebi *et al*., 2022). کودهای نانو می‌توانند جایگزین مناسبی برای کودهای شیمیایی باشند و عناصر یا موادغذایی که به‌شکل نانوکود به گیاهان داده می‌شود به‌تدریج در خاک آزاد می‌شوند. به‌طور کلی، فناوری نانو امکان استفاده از عناصر غذایی و کاهش هزینه‌های حفاظت از محیط زیست را فراهم کرده است (Chinnamuthu & Boopathi, 2009; Shang *et al*., 2019). نانوکودها به کودهایی اطلاق می‌شوند که اندازه عنصر به‌کاررفته در آنها کمتر از ۱۰۰ نانومتر است. در کشاورزی با بهره‌گیری از نانوکودها، عناصر غذایی به‌آرامی و با سرعتی مناسب در طول فصل رشد آزاد می‌شوند، آبشویی به شدت کاهش می‌یابد و گیاهان قادر به جذب بیشترین مقدار مواد غذایی خواهند بود و این مساله بازده استفاده از این کودها را بهبود می‌بخشد (Shang *et al*., 2019). نانو ذرات به روش‌های مختلفی برای گیاهان قابل استفاده می‌باشند، یکی از روش‌های تأمین سریع عناصر غذایی برای گیاه محلول‌پاشی آنها است. در این روش با حذف عوامل مؤثر بر جذب از خاک، مواد غذایی به‌طور مستقیم در اختیار اندام هوایی قرار می‌گیرد. تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی، زیستی و فعالیت‌های کاتالیزوری آنها را تغییر می‌دهد و انحلال‌پذیری را افزایش داده و سبب ایجاد قابلیت نفوذ در غشاهای سلولی در این ذرات می‌شود (Premanathan *et al*., 2011).

در سال‌های اخیر، نحوه تأثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است. مصرف کود نانو اوره موجب افزایش سطح برگ، شاخص برداشت، درصد اسانس گل و عملکرد اسانس گل گاوزبان اروپایی نسبت به تیمار شاهد شد. باتوجه‌به اثرات مطلوب کودهای نانو نسبت به کودهای شیمیایی، استفاده از این نوع کودها در راستای کشاورزی پایدار گامی موثر خواهد بود (Mahmoudi *et al*., 2018). کاربرد نانوکودها، سبب بهبود صفات کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان شد به‌گونه‌ای‌که تیمار کم‌آبیاری و کاربرد نانوکود، سبب افزایش درصد اسانس و موسیلاژ شد (Naderianfar *et al*., 2018).

در گیاهان دارویی عنصر نیتروژن به‌دلیل تاثیر در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس و بیوسنتز اسانس و مواد مؤثره نقش مهمی ایفا می‌کند. باتوجه‌به این‌که اسانس‌ها ترکیباتی از نوع ترپنوئیدها هستند که واحدهای سازنده آنها ایزوترپنوئید هستند و برای تشکیل نیاز به NADPH و ATP دارند، حضور عناصری مانند نیتروژن برای تشکیل آنها لازم است و کودهای نیتروژنه موجب افزایش درصد اسانس می‌شوند. در این راستا، گزارش شده است که مصرف کود نیتروژن برای افزایش عملکرد زیره سیاه ضروری است، اما مصرف زیاد آن سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود و این گیاه با حداقل مقدار نیتروژن مصرفی به رشد و نمو و عملکرد مورد انتظار می‌رسد و این

مقدار تحت شرایط اقلیمی مشهد حدود ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار می‌باشد (Nouri Hosseini & Zabihi, 2014). با افزایش سطوح کود نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و نیز ورمی‌کمپوست (۱۰، ۲۰ و ۳۰ کیلوگرم در هکتار) درصد اسانس زیره سبز کاهش یافت و بالاترین درصد اسانس از کاربرد ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن و یا ۱۰ کیلوگرم کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد (Mohammadi *et al*., 2014). همچنین Faridvand *et al*. (2020) گزارش کردند که در بین تیمارهای مختلف کود نیتروژن (کود مرغی، کود اوره و نانونیتروژن)، تیمار نانونیتروژن (به‌دلیل تاثیرگذاری بیشتر و سریعتر و با بهبود رشد گیاه) بیشترین تاثیر را بر تعداد چترک در چتر، عملکرد محصول، درصد و عملکرد اسانس رازیانه داشت.

پژوهش حاضر به دنبال یافتن اثر متقابل سیستم‌های کم‌آبیاری جویچه‌ای و استفاده از نانوکود نیتروژن بر عملکرد بذر و اجزای زایشی گیاه زیره سیاه و تغییرات درصد اسانس پس از اعمال متقابل کم‌آبیاری و استفاده از نانوکود نیتروژن در راستای استفاده بهینه منابع آب و کود جهت نیل به کشاورزی پایدار در تولید این گیاه دارویی با ارزش اقتصادی می‌باشد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش، به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه پیام نور میلاجرد واقع در شمال‌غرب اراک با مختصات عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۲ دقیقه و ارتفاع ۱۶۷۵ متر از سطح دریا اجرا شد. حداقل درجه حرارت ۵/۴- درجه سلسیوس و حداکثر درجه حرارت ۳۵/۴ درجه سلسیوس با میانگین بارندگی ۲۸۰ میلی‌متر در سال می‌باشد.

پیش از انجام آزمایش به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، نمونه‌برداری از خاک مزرعه انجام شد. نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ نشان داده شده است. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح آبیاری (I) در سه سطح: آبیاری کامل جویچه‌ها (CFI)، آبیاری یک در میان جویچه‌ها (آبیاری به‌صورت ثابت فقط جویچه‌های فرد) (FFI) و آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ها (آبیاری به‌صورت دوره‌ای یک هفته جویچه‌های فرد و هفته بعدی جویچه‌های زوج) (AFI) به‌عنوان عامل اصلی بودند (Dehghani *et al*., 2020). تیمار محلول‌پاشی با نانوکود نیتروژن (N) در سه سطح شامل محلول‌پاشی با آب (N_1) به‌عنوان تیمار شاهد، محلول‌پاشی نانوکود نیتروژن به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار (N_2) و محلول‌پاشی نانوکود نیتروژن به میزان ۳ لیتر در هکتار (N_3) با استفاده از نانوکود شرکت خضرا با غلظت ۱۷ درصد در تیمارهای فرعی قرار گرفت (Shokrani *et al*., 2012).

بر اساس برچسب مشخصات محصول، محلول نانونیتروژن مصرفی حاوی ۱۷ درصد نیتروژن کلاته بود (محلول‌پاشی به نسبت سه در هزار و مصرف خاکی آن به مقدار ۱۰ تا ۲۵ لیتر در هکتار انجام شد). این محصول به شکل کریستال‌های پایدار با خلوص بالا تهیه شده است که در نهایت منجر به تولید ذرات بسیار یکنواخت می‌شود. کاشت به‌صورت جوی و پشته با فواصل ردیفی ۳۰ سانتی‌متر و روی ردیف پنج سانتی‌متر در تاریخ ۵ فروردین ۱۳۹۷ انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل هشت ردیف کاشت به طول چهار متر بود. بذور قبل از کاشت برای پیشگیری از بیماری‌های قارچی توسط سم کاربندازیم (به میزان ۱/۵ گرم در لیتر) ضدعفونی شدند. اولین آبیاری بلافاصله در روز کاشت انجام شد و آبیاری بعدی در زمان استقرار گیاه انجام پذیرفت و به علت شرایط بارندگی در طول فصل رشد و حساس‌بودن زیره سیاه به بیماری بوته‌میری در طول فصل رشد، فقط یک آبیاری تکمیلی در مرحله شروع پرشدن دانه انجام شد.

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Depth (cm)	Soil Texture	K ($mg.kg^{-1}$)	Total Nitrogen (%)	P ($mg.kg^{-1}$)	Organic Carbon (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	Fe ($mg.kg^{-1}$)	Zn ($mg.kg^{-1}$)
0-30	Loamy	354	0.16	26.08	0.63	8.01	1.36	0.82	1.22

وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی صورت گرفت، به‌طوری‌که مزرعه در طول دوره رشد عاری از علف‌های هرز بود. محلول پاشی به‌صورت دستی در مرحله ۲ و ۴ برگی گیاه زیره سیاه صورت گرفت. برای تعیین اجزای عملکرد در هنگام برداشت ۱۰ بوته به‌طور تصادفی از هر کرت انتخاب و صفاتی مانند ارتفاع بوته، عملکرد زیستی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای تعیین عملکرد پس از حذف دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای کرت، بوته‌های موجود پنج متر مربع برداشت شد و عملکرد دانه و عملکرد زیستی تعیین شد.

استخراج اسانس زیره سیاه به روش تقطیر با آب و توسط دستگاه کلونجر انجام شد. بدین منظور، ۳۰ گرم نمونه بذری از هر کرت وزن و پس از آسیاب‌شدن مختصر در۳۰۰ میلی‌لیتر آب در داخل دستگاه کلونجر به‌مدت ۳ ساعت جوشانده شد تا اسانس آن استخراج شود (Benjemaa *et al*., 2018). سپس درصد اسانس به روش وزنی و عملکرد اسانس بر اساس حاصل ضرب عملکرد دانه و درصد اسانس محاسبه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی و اثر متقابل آنها بر تمامی صفات مورد ارزیابی زیره سیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

۱-۳. ارتفاع گیاه

مقایسه میانگین (جدول ۳) اثر متقابل تیمارها نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته زیره سیاه در تیمار آبیاری کامل جویچه‌ها با کاربرد ۳ لیتر در هکتار نانوکود نیتروژن به‌میزان ۲۴/۷ سانتی‌متر و تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون کود با میانگین ۱۴/۲۱ سانتی‌متر به دست آمد. روش کم‌آبیاری جویچه‌ای یک در میان ثابت نسبت به تیمار آبیاری جویچه‌ای معمولی و متناوب، به‌ترتیب سبب کاهش حدود ۲۷/۹ و ۵/۳ درصدی ارتفاع بوته زیره سیاه شد. کاهش معنی‌دار میزان ارتفاع بوته در آبیاری یک در میان (به‌ویژه ثابت) نسبت به شاهد، نشان از وقوع تنش کم‌آبی بر گیاه دارد.

علت کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش کم‌آبی، کاهش فشار آماس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها می‌باشد و با افزایش تنش آب و کاهش فشار آماس سلول‌های محافظ روزنه، هدایت روزنه‌ای کاهش یافته و در اثر آن ارتفاع بوته، سرعت رشد، فتوسنتز و زیست‌تودهٔ گیاه کاهش می‌یابد. تنش کم‌آبی، سبب کاهش ارتفاع شنبلیله و استفاده از کود نیتروژن سبب بهبود ارتفاع آن شد (Baghbani-Arani *et al*., 2017). در تحقیقی دیگر گزارش شده است که تنش کم‌آبی، سبب کاهش ارتفاع زیره سبز شده و بیشترین و کمترین تاثیر منفی تنش آبی به‌ترتیب بر عملکرد دانه و درصد اسانس مشاهده شد (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017).

اگرچه هر دو روش کم‌آبیاری (جویچه‌ای یک در میان ثابت و متناوب) باعث ایجاد تنش کم‌آبی برای گیاه می‌شوند ولی احتمالاً نحوه تأثیرگذاری بر روند گسترش و توزیع ریشه متفاوت است. کم‌آبیاری در روش آبیاری متناوب به‌علت تر و خشک‌کردن محدوده ریشه (جویچه‌ها) به‌صورت متناوب و آبیاری دوباره قسمت‌هایی از ریشه گیاه که در نوبت قبل خشک بوده‌اند، زمینه را برای برخی تغییرات فیزیولوژیکی فراهم آورده و می‌تواند باعث افزایش جذب آب و مواد غذایی شود. افزایش گرادیان هیدرولیکی بین ریشه و خاک در ریشه‌های قدیمی و تولید ریشه‌های شاداب ثانویه از جمله مهمترین تغییراتی است که در نتیجه اعمال تنش به شیوه آبیاری متناوب در گیاه گزارش شده است (Liu *et al*., 2007; Dehghani *et al*., 2020). از طرفی، کم‌آبیاری در روش آبیاری یک در میان ثابت به علت اینکه برخی جویچه‌ها تا انتهای دوره خشک هستند باعث می‌شود که روند رشد و گسترش ریشه گیاه در مواجهه با این ناحیه خشک، متوقف شود و پس از مدتی ریشه‌ها شادابی خود را از دست داده و با ازبین‌رفتن قسمت‌های پوسته ریشه عملاً ریشه‌ها کارایی خود را از دست بدهند (Liang *et al*., 2008; Sepaskhah & Ahmadi, 2010).

همچنین نتایج حاکی از تاثیر مثبت کود نانونیتروژن بر افزایش ارتفاع بوته در اکثر الگوهای آبیاری جویچه‌ای داشت (جدول ۳). استفاده از انواع کود نیتروژن مصرفی (نانوکود، اوره و کود مرغی) نسبت به شاهد سبب افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه رازیانه شد ولی اختلاف معنی‌داری بین انواع کود نیتروژن مصرفی وجود نداشت (Faridvand *et al*., 2020). ازآنجایی‌که کمبود عناصر غذایی یکی از عوامل اصلی در تعیین اندازه ارتفاع بوته می‌باشد، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش دسترسی گیاه به عناصر غذایی شده و از طرفی نیتروژن از طریق تأثیر بر تقسیم و بزرگ‌شدن سلول‌ها، رشد ریشه، تحریک رشد گیاه و در نهایت سبب افزایش ارتفاع بوته‌ها می‌شود (Baghbani- Arani *et al*., 2017).

۳-۲. عملکرد زیستی

بیشترین عملکرد زیستی زیره سیاه در تیمار آبیاری معمولی با کاربرد ۳ لیتر نانوکود نیتروژن به‌میزان ۱۶۵۱/۱۲ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که با کرت‌هایی که با الگوی کم‌آبیاری یک در میان متناوب با همین مقدار کود نانونیتروژن آبیاری شده بودند، اختلاف آماری معنی‌داری نداشت؛ ولی در همین سطح کود نانو، الگوی آبیاری یک در میان ثابت، سبب کاهش معنی‌دار ۱۶ درصدی نسبت به الگوی آبیاری معمولی آن شد (جدول ۳). همچنین تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهایی با الگوی آبیاری معمولی و کم‌آبیاری یک در میان متناوب با کاربرد ۱/۵ لیتر نانوکود نیز مشاهده نشد (جدول ۳).

به نظر می‌رسد چون مرحله اعمال کم‌آبیاری در زمان پرشدن دانه بوده و زیره سیاه، گیاهی مقاوم به کم‌آبی است الگوی آبیاری یک در میان متناوب، اثر کاهشی معنی‌داری بر عملکرد زیستی آن نداشته است. اگر قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه اعمال شود تاثیری بر عملکرد زیستی زیره سبز نخواهد داشت (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017). زیره، به تنش آبی مقاوم است؛ در شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک و در سال‌هایی که بارندگی در حد نرمال باشد نیازی به آبیاری نیست و انجام آبیاری حتی باعث کاهش محصول نیز می‌شود (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2017; Nouri Hosseini & Zabihi, 2014).

Ebrahimian *et al*. (2011) با بررسی دو رژیم آبیاری جویچه‌ای یک در میان (ثابت و متناوب) تحت شرایط کود آبیاری و مقایسه آن با حالت معمولی آبیاری جویچه‌ای در ذرت بیان داشتند که اختلاف معنی‌داری در مقدار محصول (سبز و خشک) در رژیم‌های آبیاری معمولی و یک در میان متناوب وجود نداشت و آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب نه فقط سبب کاهش هدررفت آب و کود در کودآبیاری شد، بلکه سبب افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب شد. همچنین در تحقیقی Emdad *et al*. (2017) در خصوص مناسب‌بودن الگوی کم‌آبیاری یک در میان متناوب در عملکرد ماده خشک ذرت گزارش کردند که مناسب‌ترین تیمار کم‌آبیاری در نقاط کشت متفاوت و در بافت‌های مختلف خاک از نظر حجم آب مصرفی و عملکرد تولیدی (دانه و ماده تر و خشک علوفه ذرت)، آبیاری یک در میان متناوب در مراحل مختلف رشد به همراه آبیاری کامل در مرحله گلدهی عملکرد یکسانی داشتند و همچنین نتیجه گرفتند که یکی از روش‌های مدیریتی، کم‌آبیاری است که باتوجه‌به اقلیم خشک و نیمه‌خشک یکی از مناسب‌ترین شیوه‌های مدیریتی آبیاری در راستای اصلاح الگوی مصرف منابع آب و ارتقای کارایی مصرف آب است (Emdad *et al*., 2017).

همچنین نتایج حاکی از تاثیر مثبت محلول‌پاشی کود نانونیتروژن در هر سه الگوی آبیاری می‌باشد به‌گونه‌ای‌که کرت‌هایی که با ۳ لیتر کود نانونیتروژن تیمار شده بودند بالاترین عملکرد زیستی را دارا بودند (جدول ۳). نتایج محققان مختلف بیان‌گر نقش مثبت کود نیتروژن در افزایش رشد رویشی و عملکرد زیستی گیاهان (از طریق افزایش اندام هوایی و تولید مواد هیدروکربنی بیشتر با افزایش سطح کربن‌گیری) از جمله در زیره سیاه (Nouri Hosseini, 2013)، زیره سبز (Mohammadi *et al*., 2014) و شنبلیله (Baghbani-Arani *et al*., 2017) است.

در شرایط آبیاری معمولی، به‌ترتیب محلول‌پاشی ۱/۵ و ۳ لیتر کود نانونیتروژن در مرحله پرشدن دانه، سبب افزایش ۱۳ و ۱۴ درصدی عملکرد زیستی زیره سیاه نسبت به عدم محلول‌پاشی کود نانونیتروژن شد (جدول ۳). در این راستا، Nouri Hosseini (2013) نشان داد که در شرایط آب و هوایی دشت مشهد زیره سیاه به مصرف نیتروژن پاسخ داده است؛ به‌طوری‌که با مصرف ۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار عملکرد دانه به‌میزان ۱۹/۶ درصد و عملکرد کاه به‌میزان ۲۶/۸ درصد نسبت به شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) افزایش یافت و در اثر مصرف سطوح بیشتر مقدار نیتروژن، پاسخ گیاه منفی بود.

۳-۳. وزن هزار دانه

بالاترین وزن هزار دانه با مقدار ۳/۷۵۴ گرم به تیمار آبیاری جویچه‌ای معمول منطقه با کاربرد ۳ لیتر نانوکود اختصاص یافت که به‌ترتیب نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری یک در میان ثابت و متناوب با کاربرد ۳ لیتر نانوکود، به‌میزان (۶۲/۷ و ۵۸/۷ درصد) افزایش نشان داد (جدول ۳).

باتوجه‌به اینکه تنش کم‌آبی در مرحله پرشدن دانه اعمال شده است این میزان تحت تاثیر قرارگرفتن دانه قابل انتظار بود. در بررسی انواع قطع آبیاری اعمال‌شده از لحاظ صفت وزن هزار دانه زیره سبز گزارش شد که هرچه قطع آبیاری به مراحل پایانی دوره رشد گیاه نزدیک باشد، وزن هزار دانه بیشتر کاهش می‌یابد؛ به‌گونه‌ای‌که بیشترین میزان وزن هزار دانه مربوط به تیمارهای عدم قطع آبیاری و قطع آبیاری در مرحله سبزشدن تا طویل‌شدن ساقه بود و کمترین مقدار آن نیز به قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه تا برداشت تعلق داشت (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017).

تنش خشکی در آبیاری جویچه‌ای با تحت تأثیر قراردادن درجه بازشدن روزنه‌ها، کاهش فعالیت آنزیم‌های چرخه کالوین، می تواند میزان تولید مواد پرورده را به‌میزان زیادی کاهش داده و از این راه به‌طور مستقیم موجب کاهش وزن هر دانه (ظرفیت مقصد فیزیولوژیک) شود (Anandham *et al.*, 2011). کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در تیمارهای کم‌آبی در مرحله پرشدن دانه زیره می‌تواند به‌دلیل کاهش فتوسنتز جاری گیاه، کاهش میزان مواد پرورده و در نتیجه چروکیدگی دانه‌های گیاه اتفاق افتد (Yazdani Cham Heydari *et al.*, 2014). همچنین کاهش وزن هزار دانه گیاهان به‌علت کوتاه‌شدن دوره رشد دانه و در نتیجه زودرسی در اثر تنش خشکی، گزارش شده است (Baghbani-Arani, 2017). همچنین نتایج حاکی از آن است که در تمامی الگوهای آبیاری مورد مطالعه، تیمار ۳ لیتر نانوکود نیتروژن از نظر صفت وزن هزار دانه برتری دارد (جدول ۳). Mohammadi *et al.* (2014) گزارش کردند که بیشترین وزن هزار دانه زیره سبز به مقدار ۳/۷۸ گرم در تیمار ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن حاصل شد. استفاده از کود نانونیتروژن سبب افزایش وزن هزار دانه رازیانه (Faridvand *et al.*, 2020) و ریحان (Naderianfar *et al.*, 2018) شد.

۳-۴. عملکرد دانه

بیشترین مقدار عملکرد دانه در تیمار آبیاری معمولی و ۳ لیتر در هکتار نانوکود با میانگین ۴۳۱/۲۳۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن مربوط به تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون کاربرد کود با مقدار ۲۲۰/۲۰۵ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد مقدار عملکرد دانه به‌شدت تحت تاثیر الگوی کم‌آبیاری (تنش کم‌آبی) قرار گرفت به‌گونه‌ای‌که به‌ترتیب در تیمارهای با کم‌آبی یک در میان ثابت و متناوب جویچه‌ها بدون کاربرد کود نانونیتروژن، مقدار عملکرد کاهش ۳۸ و ۲۶ درصدی نسبت به شاهد داشته است. همچنین نتایج جدول (۳) نشان داد کاربرد ۳ لیتر نانوکود نیتروژن در همه الگوهای آبیاری بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد.

تنش کم‌آبی سبب افت عملکرد دانه زیره سبز شد. با مقایسه مراحل مختلف قطع آبیاری بر عملکرد دانه آن مشاهده شد که گیاهان قطع آبیاری شده در مرحله رشد زایشی تا پرشدن دانه و همچنین از پرشدن دانه تا برداشت، کمترین میانگین عملکرد دانه را داشتند (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017). کمبود آب قابل جذب در گیاه زیره سبز، منجر به بروز تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از جمله کاهش آماس و رشد سلولی و در نتیجه کاهش سطح برگ، کاهش ارتفاع گیاه، بسته‌شدن روزنه‌ها و محدودیت فتوسنتز، افزایش ترکیب‌های محلول جهت تنظیم فشار اسمزی و کاهش جذب مواد غذایی و در نهایت کاهش تولید دانه گیاه می‌شود (Kazemi *et al.*, 2017). به‌طور کلی تنش خشکی از طریق کاهش طول دوره رشد و در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز، کاهش طول دوره اسیمیلاسیون و انتقال شیره پرورده در زیره سبز به‌طور معنی‌داری باعث کاهش عملکرد اقتصادی و زیستی می‌شود (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017; Yazdani Cham Heydari *et al.*, 2014)

در بررسی الگوهای آبیاری، آبیاری یک در میان ثابت و متناوب در همه سطوح محلول‌پاشی با افت عملکرد همراه است که می‌توان گفت نشان از تأثیر آبیاری مناسب در جذب و انتقال عناصر مغذی در گیاه جهت پرشدن دانه دارد. در تیمارهای تنش کم‌آبی زیره سبز، تنش آبی باعث کاهش جذب عناصر نیتروژن، فسفر و پتاس در دانه شده است (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2017; Ahmadian *et al.*, 2011).

همچنین قابل توجه است که در بین تیمارهای تنش آبی، تیمار آبیاری جویچه‌ای یک در میان متناوب با کاربرد ۳ لیتر نانوکود، توانسته نسبت به تیمار آبیاری معمولی و بدون کود نانو، افزایش عملکرد داشته باشد و همچنین با تیمار آبیاری معمول و ۱/۵ لیتر

کود نانو از نظر صفات وزن هزاردانه و عملکرد دانه اختلاف آماری معنی‌داری نداشته باشد (جدول ۳). به نظر می‌رسد تیمار آبیاری یک در میان تناوبی با نانوکود در گیاه زیره با آبگیری دوطرفه ریشه‌ها، توانسته تا حدودی ثبات عملکرد را حفظ کند و از آثار کم‌آبی در کاهش مقدار عملکرد دانه بکاهد. در این راستا، Awad (2013) در تأثیر آبیاری متناوب جویچه‌ها بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت گزارش کرد که حجم آب مصرفی در آبیاری متناوب جویچه‌ها کاهش، و کارایی مصرف آب افزایش یافته است و عملکرد دانه در تیمار آبیاری یک در میان متناوب در مقایسه با روش معمول افزایش یافته است.

۵-۳. شاخص برداشت

مقایسه میانگین اثرات متقابل، حاکی از افزایش شاخص برداشت زیره سیاه با افزایش میزان آبیاری است. همچنین در اکثر ترکیبات تیماری کم‌آبیاری و کود، کاربرد کود نانونیتروژن سبب افزایش شاخص برداشت شد (جدول ۳). در این رابطه گزارش شده است که بیشترین شاخص برداشت زیره سبز در تیمار بدون تنش آبی حاصل شد و بیان شد که تنش خشکی به‌دلیل کاهش وزن دانه، عملکرد دانه را کاهش می‌دهد و این کاهش نسبت به کاهش عملکرد زیستی بیشتر است؛ از این‌رو شاخص برداشت کاهش می‌یابد و هر چه تنش خشکی شدیدتر شود، شاخص برداشت کاهش بیشتری نشان می‌دهد (Yazdani Cham Heydari *et al*., 2014). تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع، سطح برگ، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیستی و شاخص برداشت شنبلیله شد. این کاهش عملکرد دانه و زیستی شنبلیله با کاهش آب مصرفی، می‌تواند مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه باشد. همچنین در خصوص افزایش شاخص برداشت با کاربرد کود نیتروژن، نتایج این تحقیق، در مطابقت با نتایج Baghbani- Arani (2017) در شنبلیله بود.

۶-۳. درصد اسانس

بیشترین درصد اسانس در تیمار آبیاری تناوبی با کاربرد ۳ لیتر در هکتار نانوکود با میانگین ۳/۱۵ درصد و کمترین در تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون کاربرد کود نانو به مقدار ۱/۰۹ درصد به‌دست آمد. همچنین نتایج جدول ۳ حاکی از اثر افزایشی تنش کم‌آبی ملایم (کم‌آبیاری یک در میان متناوب) نسبت به تیمار آبیاری معمول جویچه‌ای به‌میزان (۴۳/۹ درصد) بر درصد اسانس زیره سیاه بود؛ درحالی‌که در تیمار تنش شدید کم‌آبی (الگوی کم آبیاری یک در میان ثابت) نسبت به تیمار شاهد به‌میزان (۸ درصد) کاهش درصد اسانس حاصل شد که معنی‌دار نبود.

افزایش میزان مواد آلی از جمله قندهای محلول، پرولین و اسانس در گیاهان به‌ویژه زیره سبز در معرض تنش خشکی ملایم گزارش شده است (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2017; Ahmadian *et al*., 2011) که ممکن است در این حالت عملکرد برخی از اجزای اسانس‌ها کاهش یابد (Leicacha *et al*., 2010). افزایش تعداد دفعات آبیاری در زیره سبز باعث کاهش معنی‌دار درصد اسانس در زیره سبز شد (Ahmadian *et al*., 2011; Yazdani Cham Heydari *et al*., 2014; Kazemi *et al*., 2017)؛ به‌گونه‌ای‌که این افزایش درصد اسانس تحت تاثیر تنش خشکی در اکوتیپ‌های مختلف زیره سبز تا ۵۶ درصد گزارش شد (Kazemi *et al*., 2017). همچنین در تحقیقی دیگر در زیره سبز گزارش شد که در تیمار عدم قطع آبیاری (شاهد)، کمترین مقدار اسانس و در تیمار قطع آبیاری در مرحله پرشدن دانه تا برداشت بیشترین درصد اسانس به‌دست آمد (Shekofteh & Dehghani Fatehabad, 2017).

تنش خشکی درصد روغن‌های اسانسی بیشتر گیاهان دارویی را افزایش می‌دهد، چون در موارد تنش، متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد، باعث جلوگیری از عمل اکسایش (اکسیداسیون) در یاخته می‌شوند. متابولیت‌های ثانویهٔ گیاهان دارویی نتیجهٔ بارز تنش‌ها هستند. بنابراین محصولات دارویی برخلاف همهٔ محصولات کشاورزی که در اوضاع تنشی از نظر تولید آسیب می‌بینند در این شرایط، تولید شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازدهٔ اقتصادی برتری پیدا می‌کنند. بنابراین در پرورش این گیاهان همان‌قدر که وجود آب، یکی از امکانات زیست‌محیطی است، کمبود آب هم یک واقعیت است که توان افزایش مواد مؤثره را دارد. با این تلقی محدودیت آب نه تنها یک عامل نامساعد، بلکه راهکاری بدون هزینه برای نوعی تولید است (Andalibi *et al*., 2010).

کرت‌هایی که با محلول‌پاشی نانوکود نیتروژن تیمار شده بودند بالاترین درصد اسانس را در هر سه الگوی کم‌آبیاری تولید کردند (جدول ۳). اغلب اسانس‌ها ترکیبات ترپنوئیدی هستند و واحدهای سازنده آن‌ها نیاز ضروری به عنصر نیتروژن دارند. از این‌رو کرت‌هایی که میزان کود نانونیتروژن بیشتری دریافت کرده بودند درصد اسانس بیشتری تولید کردند.

Majnoon Hosseini & Dovazdeh Emami (2007) بیان کردند که ترکیبات شیمیایی اسانس زیره سیاه ایرانی مشابه زیره سبز است ولی درصد اسانس آن بیشتر از زیره سبز است. در تحقیقی گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن، سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس زیره سبز شد (Karimzadeh Asl & Baghbani Arani, 2017). همچنین در بررسی انواع کود نیتروژن (نانونیتروژن، کود مرغی و اوره) بر درصد و عملکرد اسانس رازیانه گزارش شد که تیمار کود نانونیتروژن بیشترین تاثیر را در تعداد چترک در چتر، عملکرد، درصد اسانس و عملکرد اسانس رازیانه داشت (Faridvand *et al*., 2020).

۳-۷. عملکرد اسانس

تنش کم‌آبی ملایم (آبیاری یک در میان متناوب) سبب افزایش عملکرد اسانس و تنش کم‌آبی شدیدتر (آبیاری یک در میان ثابت)، سبب کاهش عملکرد اسانس شد؛ به‌گونه‌ای‌که به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد اسانس مربوط به تیمار آبیاری یک در میان تناوبی و کاربرد ۳ لیتر در هکتار نانوکود و تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون کاربرد کود به‌دست آمد (جدول ۳). همچنین نتایج نشان داد که در اکثر ترکیبات تیماری الگوی کم‌آبیاری، کاربرد کود نانونیتروژن، باعث افزایش عملکرد اسانس زیره سیاه شد؛ به‌گونه‌ای‌که در الگوی آبیاری معمولی به‌ترتیب کاربرد ۱/۵ و ۳ لیتر کود نانونیتروژن، سبب افزایشی در حدود ۲ و ۳ برابری عملکرد اسانس شد (جدول ۳) که می‌تواند نشان‌دهنده اثر مستقیم آبیاری مطلوب در جذب عناصر بهویژه نیتروژن داشته باشد.

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی زیره سیاه تحت تاثیر برهمکنش الگوی آبیاری×سطوح کود نانونیتروژن

S.0.V	df	Height plant	Biological yield	1000-seed weight	Seed yield	Essential oil percentage	Essential oil yield
Block	2	0.004	0.096	0.84	0.0006	3.68	0.00015**
I	2	93.78**	116356.28**	64.18**	1.39**	14.36**	0.0054**
Ea	4	0.35	8670.48	0.027	0.0022	6.47	0.00005
F	2	12.21**	145982.62**	24.73**	0.012**	12.22**	0.0003**
I×F	4	3.038**	215473.63**	1.8**	0.0009**	13.23**	.001**
Eb	12	0.30	8666.24	0.02	0.002	5.80	0.00004
C.V. (%)		3.25	8.8	7.55	10.88	12.11	9.85

الگوی آبیاری (I) و کوددهی (F)، * و **: به‌ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های صفات کمی و کیفی زیره سیاه تحت تاثیر برهمکنش الگوی آبیاری×سطوح کود نانونیتروژن

Irrigation pattern	Fertilizer levels	Height Plant (cm)	Biological yield (kg ha^{-1})	1000-seed Weight (g)	Seed yield (kg ha^{-1})	Harvest index (%)	Essential oil percentage (%)	Essential oil yield (kg ha^{-1})
Control (CFI)	N1	19.71c	1421.12 bc	2.233 b	281.45 e	19.80 b	2.12 b	3.35 fg
	N2	20.01b	1433.14 b	2.693 ab	398.78 b	27.83 a	2.14 b	7.66 c
	N3	24.70 a	1651.12 a	3.754 a	431.23 a	26.12 a	3.15 a	9.19 b
FFI	N1	14.21i	1121.12 f	1.064 f	220.21h	19.64 b	1.09 d	2.40 j
	N2	16.01e	1351.07 e	1.123 e	238.52 gh	17.65 b	1.13 cd	2.70 i
	N3	18.01d	1387.07 d	1.401 d	320.59 d	23.11 ab	1.15 cd	3.69 f
AFI	N1	14.01f	1112.11 fg	1.471 c	260.86 f	23.46 ab	1.19 cd	5.53 d
	N2	14.30f	1425.11 bc	1.452 c	240.41 g	16.87 b	1.92 c	5.14 de
	N3	18.01d	1569.15 ab	1.849 bc	389.50 bc	24.82 a	2.13 b	12.27 a

الگوی آبیاری (I): CFI= آبیاری کلیه جویچه‌های آبیاری(شاهد)، FFI = آبیاری یک در میان ثابت جویچه‌ها، AFI= آبیاری یک در میان متناوب جویچه‌ها. محلول‌پاشی کود نانونیتروژن (N): N_1 = محلول‌پاشی با آب (شاهد)، N_2 = ۱/۵ لیتر در هکتار، N_3 = ۳ لیتر در هکتار. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون برای هر تیمار اختلاف معنی‌دار در آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بالاترین درصد اسانس رازیانه (خانواده چتریان)، تحت تاثیر تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه حاصل شد؛ درصورتی‌که تنش خشکی در مرحله گلدهی با تیمار آبیاری مطلوب از لحاظ این صفت تفاوت آماری معنی‌داری نداشتند و همچنین بالاترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری مطلوب (شاهد با ۱۲/۴۱ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد ولی اختلاف آماری معنی‌داری با تیمار تنش خشکی در مرحله پرشدن دانه (با ۸/۵۱ کیلوگرم در هکتار) نداشت و علت این موضوع کاهش بسیار زیاد عملکرد دانه تحت تاثیر تنش خشکی بیان شد (Moosavi *et al*., 2014). در تحقیقی دیگر Bender & Olle (2010) بیان کردند که افزایش درصد اسانس در

میوه گیاهان دارویی خانواده چتریان، می‌تواند یک مکانیسم سازگاری گیاه در برابر تنش کم‌آبی باشد. Shazhong *et al*. (2000) در تحقیقی آبیاری یک در میان ذرت را تحت تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری به‌مدت دو سال مورد بررسی قرار دادند و نتایج آنها نشان داد که توسعه ریشه، تعداد ریشه اولیه، وزن خشک ریشه و تراکم ریشه گیاه ذرت در تیمار آبیاری یک در میان متغیر به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمارهای یک در میان ثابت و مرسوم بود و کم‌آبیاری، وزن خشک ریشه و ارتفاع گیاه را در دو تیمار یک در میان ثابت و مرسوم کاهش داده ولی اثری در آبیاری یک در میان متغیر نداشت. پس می‌توان بیان کرد که روش کم آبیاری متناوب به‌دلیل توسعه سیستم ریشه‌ای خود نسبت به الگوی کم‌آبیاری یک در میان ثابت، توانسته تا حدودی اثرات تنش کم‌آبی بر زیره سیاه را تعدیل کند. در خصوص تاثیر مثبت کود نیتروژن بر عملکرد اسانس محققان مختلفی بیان داشتند که کاربرد نیتروژن در گیاهان دارویی و معطر با افزایش فتوسنتز، میزان کلروفیل، فعالیت آنزیم رابیسکو، بیوماس و رشد و توسعه برگ عملکرد اسانس را افزایش می‌دهد (Leicacha *et al*., 2010; Baghbani-Arani., 2017; Faridvand *et al*., 2020).

۴. نتیجه‌گیری

بالاترین مقادیر صفات کمی (ارتفاع گیاه، عملکرد زیستی، وزن هزار دانه و عملکرد دانه و شاخص برداشت) در تیمارهای آبیاری جویچه‌ای معمولی (بدون تنش کم‌آبی) با کاربرد نانوکود نیتروژن حاصل شد؛ درحالی‌که به‌ترتیب بالاترین و کمترین درصد و عملکرد اسانس (صفات کیفی) در روش آبیاری جویچه‌ای یک در میان تناوبی با ۳ لیتر نانوکود نیتروژن و تیمار آبیاری یک در میان ثابت بدون کود نیتروژن حاصل شد. آبیاری جویچه‌ای یک در میان تناوبی با کاهش حدود ۳۳ درصدی آب مصرفی نسبت به شاهد، روشی موثر در کاهش مصرف آب با بالاترین میزان در تولید صفات کیفی (اسانس و عملکرد اسانس) در زیره سیاه در راستای مصرف بهینه نهاده‌ها (آب و کود) در راستای کشاورزی پایدار می‌باشد. در شرایط کم‌آبی، آبیاری تناوبی و کاربرد نانوکود نیتروژن (کاربرد ۳ لیتر نانوکود) ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب، با تولید عملکرد اسانس مناسب و باتوجه‌به دوره رشد کوتاه زیره سیاه به عنوان کشت دوم پس از برداشت محصولاتی همچون گندم و جو پاییزه در منطقه تحقیق (میلاجرد استان مرکزی) قابل ترویج و توصیه می‌باشد.

۵. منابع

Ahmadian, A., Ghanbari, A., Gholavi, M., Siahsar, B., & Arazmjo, E. (2011). The effect of different irrigation regimes and animal manure on nutrient, essential oil and chemicals in cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Crop Ecophysiology (Agricultural Science)*, *4*(16), 83-94. (In Persian)

Anandham, R., Sridar, R., Nalayini, P., Poonguzhali, S., Madhaiyan, M., & Tongmin, S. (2011). Potential for plant growth promotion in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cv. ALR-2 by co-inoculation of sulfur-oxidizing bacteria and rhizobium. *Microbiological Research*, *162*: 139- 153.

Andalibi, B., Zehtab Salmasi, S., Ghassemi Gholezani, K., & Saba, J. (2010). Changes in essential oil yield and composition at different parts of dill (*Anethum graveolens* L.) under limited irrigation conditions. *Journal of Agricultural Science (University of Tabriz)*, *21*, 11-22. (In Persian)

Awad, A.H. (2013). Impact of alternate furrow irrigation with different irrigation intervals on yield, water use efficiency and economic return of corn. *Chilean Journal of Agricultural Research*, *73*(2), 175-180.

Baghbani-Arani, A. (2017). *Quantitative and qualitative assessment of (Trigonella foenum-graecum) under drought stress during the vegetative and reproductive stage in response to zeolite and vermicompost*. Ph.D. Thesis Tarbiat Modares University Faculty of Agriculture**.** pp. 567. (In Persian)

Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., Mashhadi Akbar Boojar, M., & Mokhtassi Bidgoli, A. (2017). Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops & Products*, *109*, 346–357.

Barideh, R., Besharat, S., & Nasimi, F. (2019). The effect of different alternate furrow irrigation methods on water uptake and nitrate leaching in corn cultivation. *Water Management in Agriculture*, *6*(2), 65-76. (In Persian)

Benjemaa, M., Neves, M., Falleh, H., Isoda, H., Ksouri, R., & Nakajima, M. (2018). Nanoencapsulation of *Thymus capitatus* essential oil: Formulation process, physical stability characterization and antibacterial efficiency monitoring. *Industrial Crops & Products*, *113*, 414 -421.

Chinnamuthu, C.R., & Boopathi, P.M. (2009). Nanotechnology and agroecosystem. *Madras Agricultural Journal, 96*(1/6), 17-31.

Dehghani, M., Nouri Imamzadei, M.R., Shahnazari, A., & Kaysari, M. (2020). The effect of furrow irrigation management on terend of corn root growth. *Water and Soil Research of Iran, 50*(5), 1255-1264. (In Persian)

Ebrahimian, H., Liaqat, A., Parsinjad, M., Abbasi, F., & Nawabian, M. (2011). Investigating water and nitrate losses and water consumption efficiency in one-in-one furrow irrigation fertilizer. *Journal of Water Research in Agriculture*, *25*(1), 21-29. (In Persian)

Emdad, M.R., Nawabi, F., & Dehghani, M. (2017). The combined effect of irrigation management of alternating one-to-one harrows in different stages of growth on the yield and efficiency of corn water consumption in different soil textures. *Iranian Water Research Journal*, *11*(2), 71-78. (In Persian)

Faridvand, S., Amirnia, R., & Tajbakhsh Shishvan, M. (2020). Effect of nano nitrogen, magnetic water, urea and chicken manure foliar application on yield, yield components and essential oil of different fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) landraces. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *29*(4), 103-116. (In Persian)

Hanson, B.R., Simunek, J., & Hopmans, J.W. (2006). Evaluation of urea–ammonium–nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modeling. *Agriculture Water Management*, *86*: 102-113.

Karimzadeh Asl, K., & Baghbani Arani, A. (2018). The effect of different irrigation regimes and biofertilizers on seed yield, essential oil content, some characteristics of cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 817-830. (In Persian)

Kazemi, H., Mortazavian, S.M.M., & Ghorbani Javid, M. (2017). Physiological responses of cumin (*Cuminum cyminum* L.) to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(4), 1099-1113. (In Persian)

Kirda, C., Topcu, S., Kaman, H., Ulger, A.C., Yazici, A., Cetin, M., & Derici, M.R. (2005). Grain yield response and N-fertilizer recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research*, *93*, 132-141.

Khorramdel, S., Asadi, G.A., Rezwani Moghadam, P., Seidi, S.M., & Azizi, H. (2015). The effect of manure levels and tuber weight on yield, yield components and the amount of black cumin essential oil (*Bunium persicum* Bioss.). *Journal of Plant Production Research*, *22*(4), 133-155. (In Persian)

Leicacha, S.R., Garaub, A.M., Guarnaschellib, A.B., Yaber Grassa, M.A., Sztarkera, N.D., & Analia Dato, A. (2010). Changes in *Eucalyptus camaldulensis* essential oil composition as response to drought preconditioning. *Journal of Plant Interactions*, *5*(3), 205-210.

Liang, A.H., Ma, F.Y., Liang, Z.S., & Mu, Z.X. (2008). Studies on the physiological mechanism of functional compensation effect in maize root system induced by re-watering after draught stress. *Journal of North Science Technology*, *36*, 58–64.

Liu, F., Liang, J., Kang, S., & Zhang, J. (2007). Benefits of alternate partial root-zone irrigation on growth, water and nitrogen use efficiencies modified by fertilization and soil water status in maize. *Plant and Soil*, *295*, 279-291.

Mahmoudi, P., Rashidi, V., Yarnia, M., Amirnia, R., & Tarinjad, A.R. (2018) The effect of the type and application method of nano and chemical fertilizers on the yield of European borage seed and essential oil (*Borago officinalis* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, *13*(51), 95-107. (In Persian)

Majnoon Hosseini, N., & Dovazdeh Emami, S. (2007). *Book of agriculture and production of some medicinal plants*, Tehran University Printing and Publishing Institute, 1-127. (In Persian)

Mirtayebi, M., Bostani, A., Diyanat, M., & Azadi, A. (2022). Effect of drought stress, biofertilizer and potassium nano fertilizer on leaf area index, 1000-seed weight, harvest index and quality of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) seed. *Journal of Crop Production and Processing*, *12*(1), 133-150. (In Persian)

Mohammadi, S., Mirshkari, B., Rashidi, R., & Alimohammadi, R. (2014). The effect of different levels of vermicompost fertilizer and nitrogen fertilizer on the growth and yield of cumin essential oil. *Crop Ecology Quarterly*, *11*(1), 45-53. (In Persian)

Moosavi, S.M., Moosavi, S.G.R., & Seghatoleslami, M.J. (2014). Effect of drought stress and nitrogen levels on growth, fruit and essential oil yield of fennel (*Foenicolum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(4), 453-462. (In Persian)

Naderi, N. (2010). *The use of low irrigation in conditions of water shortage and drought*. Promotional publication of the Agricultural Research and Education Organization. 20 p. (In Persian)

Naderianfar, M., Karimi, H., Ansari, H., & Azizi, M. (2018). Effect of deficit irrigation and nano fertilizer on reproductive characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Water and Soil Conservation*, *25*(4), 93-111. (In Persian)

Nouri Hosseini, S.M., & Zabihi, H.R. (2014). Optimum management of fertilizer recommendation in the lands cultivated with black cumin (*Bunium persicum*). *Journal of Land Management*. *3*(1), 49-60. (In Persian)

Nouri Hosseini, S.M. (2013). *Investigating the effects of nitrogen, phosphorus and potassium on seed yield and yield components of black cumin (Bunium persicum)*. Publication No. 1878, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Promotion Organization. (In Persian)

Olle, M., & Bender, I. (2010). The content of oils in umbelliferous crops and its formation. *Agronomy Research*, 8(Special Issue III), 687-696.

Premanathan, M., Karthikeyan, K., Jeyasubramanian, K., & Manivannan, G. (2011). Selective toxicity of ZnO nanoparticles toward gram-positive bacteria and cancer cells by apoptosis through lipid peroxidation. *Nanomedicine*, *7*, 184-192.

Sepaskhah, A.R., & Ahmadi, S.H. (2010). A review on partial root-zone drying irrigation. *International Journal of Plant Production*, *4*(4), 241-258.

Shang, Y., Hasan, M., Ahammed, G.J., Li, M., Yin, H., & Zhou, J. (2019). Applications of nanotechnology in plant growth and crop protection: A review. *Molecules*, *24*(14), 2558.

Shazhong, K., Shi, W., & Zhang, Z. (2000). An improved water use efficiency for maize grown under regulated deficit irrigation. *Field Crops Research*, *67*(3), 207-214.

Shekofteh, H., & Dehghani Fatehabad, R. (2017). Effect of water stress and potassium on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Plant Production Technology*, *8*(2), 167-178. (In Persian)

Skinner, R.H., Hanson, J.D., & Benjamin, J.G. (1999). Nitrogen uptake and partitioning under alternate- and every-furrow irrigation. *Plant Soil*, *210*, 11-20.

Tafteh, A., & Sepaskhah, A.R. (2011). Analysis of economic water and nitrogen productivity in alternate furrow irrigation for canola production. *Journal of Water and Soil Resources Protection*, *1*(1), 1-9. (In Persian)

Yazdani Cham Heydari, Y., Ramroudi, M., & Asgharipour, M.R. (2014). Drought stress study on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) under the influence of iron and zinc foliar application. *Journal of Applied Researches of Plant Ecophysiology*, *1*(3), 81-96.

Yousefzadeh, S., Naghdi Badi, H.A., Sabaghnya, N., & Jahmohammadi, M. (2016). The effect of foliar application of nano-iron chelate on physiological and chemical traits of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *4*(60), 152-160. (In Persian)