Journal of Agroecology
Homepage:https://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 485-507

Effects of Nitroxin Biofertilizer on Morpho-Physiological Characteristics of Blackseed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Drought Stress

Z. Saydi[1], N. Abbasi[2*], M.J. Zarea[3] and B. Zarei[4]

Received: 02-08-2020
Revised: 30-05-2021
Accepted: 01-06-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Saydi, Z., Abbasi, N., Zarea, M.J., and Zarei, B., 2022. Effects of nitroxin biofertilizer on morpho-physiological characteristics of blackseed (*Nigella sativa* L.) ecotypes under drought stress. Journal of Agroecology 14(3):485-507.
DOI: 10.22067/agry.2021.20298.0

Introduction

Following climate change, drought stress has become the most important limiting factor for crop production. Plants become dry when the water available to the roots is limited or the water loss through transpiration is very high. Decreased photosynthetic active radiation absorption, impaired light consumption efficiency, and reduced harvest index are the most important factors reducing yield in soil moisture deficit conditions. On the other hand, the adverse effects of the use of chemical drugs in recent years have led to much attention to the cultivation of medicinal plants, which with the increase in their use requires the development of cultivation, management, and proper planning. Bio-fertilizers as an alternative in some cases and in most cases as a complement to chemical fertilizers can help to ensure the sustainability of agricultural production systems.

Materials and Methods

The study aimed to evaluate the effect of nitroxin biological fertilizer on the ecotypes of black seed under drought stress. The experiment was conducted as a split-split plot with three replicates at Ilam University during the growing season of in 2018. Drought stress levels including no stress (Irrigation based on 100% of plant water needs), moderate stress (Irrigation based on 50% of plant water needs), and severe stress (Irrigation based on 35% of plant water needs) as the main plot, nitroxin fertilizer treatments including no nitroxin (control) and application of 1 liter ha^{-1} nitroxin as subplot and ecotype treatments including Neyshabour, Mashhad, Semirom and Isfahan Sub-plots were considered as sub-plots. Measured traits included plant height, number of sub-branches, yield, grain yield components (number of follicles and number of seeds per follicle), relative leaf water content, ion leakage, and photosynthetic pigments.

Results and Discussion

The results showed that the main effect of drought stress, nitroxin, and ecotype on all treats was significant ($p\leq0/01$). The highest plant height and the first sub-branch height of the Mashhad ecotype were obtained under

1- Ph.D. Student of Agronomy Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Agronomy Physiology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
3- Associate Professor, Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
4- Laboratory Expert, Ph.D. in Genet fresh weightic Engineering, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
*Corresponding author: n.abbasi@ilam.ac.ir

Irrigation based on 100% of plant water needs conditions under moderate stress. The highest number of branches per plant of the Neyshabur ecotype was obtained under nitroxin under drought stress conditions. The highest number of capsules per plant was obtained from Mashhad ecotype treatment with no nitroxin and Irrigation based on 100% of plant water needs. The highest number of seeds in the main capsule, seed yield, and harvest index were obtained from the Semirom ecotype under nitroxin under Irrigation based on 50% of plant water needs. The highest biological yield was obtained in Isfahan ecotype, nitroxin consumption, and Irrigation based on 50% of plant water needs. The results of this study showed that drought stress caused a significant reduction ($p \leq 0.01$) in the values of chlorophyll a, b and total chlorophyll traits and relative moisture content of leaves Meanwhile, the use of nitroxin biological fertilizer in most cases improved these traits in different ecotypes, which can be due to the positive effects of biological fertilizer in helping to better absorb water and nutrients under drought stress and reduce the negative effects of water deficiency on Physiological traits of the plant**.**

Conclusion

Since better absorption of nutrients depends on the existence of an extensive root system, it seems that the lack of expansion of the plant root system under drought stress and the lack of use of chemical fertilizers is the ground for the activity of microorganisms. This has led to the improvement of the root system and consequently better absorption of water and nutrients needed by the plant in conditions of moisture stress. In general, the results of this study indicate that the application of biological fertilizers may have had a positive effect on improving the yield and quantitative properties of the herbicide under drought stress conditions, however, this issue needs further investigation. From the results, it can be concluded that moderate drought stress can be applied in weather conditions in Ilam province in addition to reducing water consumption will lead to better outcomes.

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Dr. Hajinia for her help in conducting this research.

Keywords: Water requirements, Yield, Chlorophyll, Relative Water Content, Electrolyte Leakage

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: https://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی

زهرا صیدی[۱]، نصرت‌اله عباسی[۲*]، محمد جواد زارع[۳]و بتول زارعی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

صیدی، ز.، عبا سی، ن.، زارع، م.ج.، و زارعی، ب.، ۱۴۰۱. اثر کود زیستی نیتروکسین بر برخی ویژگی‌های مورفو-فیزیولوژیکی اکوتیپ¬های سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) تحت تنش خشکی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۵۰۷-۴۸۵.

چکیده

عوارض ناشی از استفاده داروهای شیمیایی در سال های اخیر توجه زیادی را به کشت گیاهان دارویی جلب کرده است. خشکی منجر به اثرات نامطلوب بر عملکردهای فیزیولوژیکی مختلف گیاه، متابولیسم، عملکرد رشد و عملکرد می شود. تحقیقات نشان داده است که کودهای زیستی می توانند اثرات نامطلوب تنش خشکی را کاهش دهند. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر کود زیستی (نیتروکسین) بر کاهش اثر نامطلوب تنش خشکی بر چهار اکوتیپ زیره سیاه (نیشابور، مشهد، سمیرم و اصفهان) انجام شد. آزمایش مزرعه ای در قالب طرح کرت های خرد شده با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در سال ۱۳۹۷ انجام شد. کرت اصلی شامل سطوح تنش خشکی: آبیاری کامل(آبیاری براساس ۱۰۰درصد نیاز آبی گیاه) و تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و تنش شدید (آبیاری بر اساس ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه). دو تیمار اصلی دیگر، نیتروکسین به عنوان کرت فرعی و ارقام سیاه‌دانه به عنوان کرت فرعی فرعی بودند. صفات زراعی و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی در اکوتیپ‌های سیاهدانه تحت تاثیر نیتروکسین و تنش خشکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که اثرات اصلی نیتروکسین، تنش خشکی و اکوتیپ بر تمام صفات معنی دار($p\leq0.01$) بود. بیشترین ارتفاع بوته و ارتفاع اولین شاخه فرعی مربوط به اکوتیپ مشهد در شرایط عدم استفاده از نیتروکسین تحت آبیاری کامل گیاه و تنش متوسط به دست آمد. بیشترین تعداد کپسول در بوته در واحد سطح از تیمار اکوتیپ مشهد عدم نیتروکسین و آبیاری کامل گیاه حاصل گردید. بیشترین تعداد دانه در کپسول، عملکرد دانه و شاخص برداشت از اکوتیپ سمیرم تحت تاثیر نیتروکسین و در شرایط تنش متوسط به‌دست آمد. اگرچه تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار رنگدانه‌های کلروفیل و محتوای آب نسبی برگ شد، اما کاربرد نیتروکسین می‌تواند تا حدودی اثر تنش خشکی بر صفات ذکر شده را کاهش دهد. در این پژوهش، عملکرد و واکنش رشد گیاه اکوتیپ‌های سیاه‌دانه به شرایط آبیاری کامل و تنش

۱- دانشجوی دکترای فیزیولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳- دانشیار اکولوژی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۴- کارشناس آزمایشگاه، دکترای تخصصی مهندسی ژنتیک، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: n.abbasi@ilam.ac.ir)

DOI: 10.22067/agry.2021.20298.0

خشکی به‌طور معنی‌داری تفاوت داشتند. اکوتیپ سمیرم از نظر تحمل به تنش خشکی نسبت به سایر ارقام عملکرد بهتری داشت. استفاده از نیتروکسین می تواند تا حدی تحمل به تنش خشکی را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی، عملکرد، کلروفیل، نشت الکترولیت، نیاز آبی

مقدمه

به‌دنبال تغییرات آب و هوایی، تنش خشکی تبدیل به مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات گیاهی و در نهایت، امنیت غذایی شده است (Lobell et al., 2011). گیاهان زمانی تحت خشکی قرار می‌گیرند که آب در دسترس ریشه‌ها محدود شود یا از دست دادن آب از طریق تعرق بسیار بالا باشد (Anjum et al., 2011). تأثیر خشکی در رشد، جذب مواد مغذی و آب، فتوسنتز، تسهیم اسیمیلات‌ها تداخل ایجاد کرده و در نهایت، باعث کاهش قابل‌توجهی در عملکرد محصول می‌شود (Praba et al., 2009). پاسخ گیاه به تنش خشکی به‌طور کلی، از گونه‌ای به گونه دیگر بسته به مرحله رشد گیاه و دیگر عوامل محیطی متفاوت است (Demirevska et al., 2009). کاهش جذب تشعشع فعال فتوسنتزی، اختلال در راندمان مصرف نور و کاهش شاخص برداشت مهم‌ترین عوامل کاهش عملکرد در شرایط کمبود رطوبت خاک است (Earl & Davis, 2003). گیاهان مختلف طی دوره رشد خود با تنش‌های زنده و غیرزنده مختلفی مواجه می‌شوند که آن‌ها را به واکنش‌های فیزیولوژیک در برابر این تنش‌ها وادار می‌کند (Tas & Ttas, 2007). این تغییر در صفات فیزیولوژیک به‌نوعی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها جهت سازگاری گیاه با شرایط خشکی هست (Liu et al., 2011). گیاهان هنگامی‌که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند با پاسخ‌های موفولوژیک و فیزیولوژیکی که از خود نشان می‌دهند، با شرایط پیش‌آمده سازگار می‌شوند (Wang & Huang, 2004). تنش خشکی موجب آسیب به سیستم فتوسنتزی گیاه شده که در پی آن سطح کلروفیل گیاه نسبت به شرایط فراوانی آب کاهش می‌یابد (Fu & Huang, 2001).

انسان در طول تاریخ وابسته به گیاهان دارویی بوده و برای قرن‌ها، گیاهان دارویی در درمان بسیاری از بیماری‌ها در شاخه‌های مختلف دارویی و همچنین در طب سنتی مورد استفاده قرار می‌گرفتند (Ahmad & Beg, 2013) با توجه به اثرات سوء ناشی از مصرف داروهای شیمیایی، در سال‌های اخیر توجه زیادی به کشت گیاهان دارویی شده که با افزایش مصرف آن‌ها نیاز به توسعه کشت، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح می‌باشد (Norouzpour & Rezvani).

سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی علفی (Moghaddam, 2006) و بومی نواحی جنوب غربی آسیا از جمله ایران، هند و پاکستان است. حداکثر ارتفاع گیاه ۷۰–۴۰ سانتی‌متر، دارای برگ‌های بریده بریده و گل‌های به رنگ آبی کم‌رنگ و سفید است. از میوه‌های کپسول‌مانند تعداد زیادی دانه‌های سیاه تولید می‌شود. سیاه‌دانه به‌طور گسترده‌ای برای بیش از دو هزار سال به‌عنوان دارو و پیشگیری‌کننده در برابر بسیاری از بیماری‌ها در آسیای مرکزی و برخی دیگر از کشورهای آسیایی (Goreja, 2003) به‌عنوان مسکن، اشتهاآور، بادشکن، هاضم، تب‌بر و به‌عنوان مسهل و همچنین به‌عنوان کاهنده ضعف و ضدافسردگی و افزاینده مقاومت بدن گزارش‌شده است (Razavi & Hosseinzadeh, 2014). همچنین مشخص‌شده که مواد مؤثره سیاه‌دانه دارای اثرات ضدباکتریایی، ضدقارچی، ضددیابتی، ضدالتهابی، ضددرد، ضدویروسی، آنتی‌اکسیدانی، ضدانعقادی، ضدفشارخون و غیره می‌باشد (Entok et al., 2014; Singh et al., 2014). بذرهای سیاه‌دانه بسته به منطقه، حاوی (۰/۴۵– ۰/۴۰ درصد) روغن فرار و (۴۰–۳۲ درصد) روغن غیرفرار، (۲۰/۸۵– ۱۶ درصد) پروتئین، (۳۳/۹–۳۱ درصد) کربوهیدرات‌ها، (۷/۹۴– ۵/۵ درصد) فیبر، آلکالوئیدها، تانن‌ها، ساپونین‌ها، مواد معدنی مانند آهن، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، روی و مس (۳/۴۴– ۱/۷۹ درصد)، ویتامین A و C، تیامین، نیاسین، پیریدوکسین و فولات می‌باشد. روغن فرار حاوی اجزای اساسی فعال مانند تیموکینون، دیتیووکوینون و تیمو هیدروکینون است (Güllü & Gülcan, 2013).

به دنبال آشکار شدن اثرات مخرب کودهای شیمیایی در کشاورزی رایج و اثرات زیان‌بار آن بر سلامت انسان و محیط زیست در سال‌های اخیر تلاش‌های گسترده‌ای به‌منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی آغازشده است؛ به‌گونه‌ای که امروزه کودهای زیستی به‌عنوان گزینه‌ای جایگزین پایدار برای کودهای شیمیایی، به‌منظور افزایش حاصلخیزی خاک در تولید محصولات در کشاورزی پایدار مطرح شده‌اند (Caob et al., 2005). کودهای زیستی در حقیقت ماده‌ای شامل انواع مختلف ریزموجودات آزادزی هستند (Vessey et al., 2013) که توانایی تبدیل عناصر غذایی

پرمصرف را از فرم غیرقابل دسترس به فرم قابل دسترس طی فرآیندهای زیستی داشته و منجر به توسعه سیستم ریشه‌ای و جوانه‌زنی بهتر بذور می‌گردند (Rajendran et al., 2004). در میان این باکتری-ها، *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* به‌دلیل پراکنش وسیع جغرافیایی، گستردگی دامنه گیاهان میزبان و به‌ویژه توان برقراری ارتباط همیاری با گیاهان مهم زراعی مانند برنج (*Oryza sativa* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، سورگوم (*Sorghum bicolor* L.) و نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) توجه بیشتری را به خود جلب کرده و به‌عنوان یک پتانسیل در تهیه کودهای زیستی شناخته شده‌اند (Youssef et al., 2004). کود زیستی نیتروکسین از جمله کودهای زیستی می‌باشد که حاوی مؤثرترین باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* می‌باشد که علاوه‌بر تثبیت نیتروژن هوا و متعادل کردن جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف موردنیاز گیاه، با سنتز و ترشح مواد محرک رشد گیاه مانند اکسین، همچنین ترشح اسیدهای آمینه مختلف سبب رشد و توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (Por Akbar et al., 2008). افزایش حاصلخیزی خاک با کودهای زیستی، نظیر *ازتوباکتر* و *سودوموناس*، باعث بهبود خصوصیات رشدی گیاه دارویی سیاه‌دانه می‌شود (Shaalan, 2005). نتایج پژوهش نجات زاده (Negat Zadeh, 2015) روی شوید (*Anethum graveolens* L.) نشان داد ارتفاع بوته، عملکرد زیستی و اجزای عملکرد دانه به‌جز شاخص برداشت تحت تأثیر کودهای زیستی نیتروکسین قرارگرفته و بالاترین میزان این صفات مربوط به کاربرد کود زیستی نیتروکسین بود. دهقانی مشکان و همکاران، (Dehghani Meshkan et al., 2011) طی تحقیقی اعلام داشتند که تیمارهای کود زیستی (*ازتوباکتر*، *آزوسپیریلوم* و *باسیلوس*) نسبت به تیمار کود شیمیایی کامل و شاهد به‌طور معنی‌داری سبب افزایش ارتفاع بوته بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) شده‌اند. استفاده از کود زیستی حاوی *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر*، در گیاه مریم‌گلی (*Salvia officinalis*) سبب افزایش ارتفاع بوته، وزن‌تر و خشک اندام‌های هوایی گیاه در چین‌های اول و دوم طی دو فصل گردید (Youssef et al., 2004).

نتایج جابری و همکاران (Jaberi et al., 2015) نشان داد که تیمار دور آبیاری و کود زیستی بر اکثر صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار آبیاری و کود زیستی در سطح احتمال پنج درصد بر عملکرد دانه و در سطح یک درصد بر عملکرد برگ شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) معنی‌دار بود. بهترین دور آبیاری برای حصول حداکثر عملکرد دانه (۴۸/۱۶ گرم در مترمربع) و عملکرد برگ (۱۵۹/۵۰ گرم در مترمربع)، دور آبیاری با فواصل شش روز یک‌بار بود. افزایش دور آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه، برگ و سایر صفات مورفولوژیک گیاه دارویی شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گردید. همچنین نتایج پژوهش جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2013) بر روی گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) نشان داد اثر خشکی، کود زیستی نیتروژنه نیتروکسین و اثر برهم‌کنش آن‌ها بر تمام صفات به‌جز ارتفاع بوته و وزن ریشه تأثیر معنی¬داری داشت ($P<0.01$)، به‌طوری‌که با افزایش سطح خشکی، طول ریشه (۱۶ درصد)، محتوی آنتوسیانین (۲۳ درصد)، کاروتنوئید (۷۱ درصد)، قندهای محلول (۳۶ درصد)، محتوی پرولین (۴۷ درصد) و رنگیزه‌های فتوسنتزی (۶۳ درصد) افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پرولین در تنش نسبتاً شدید و استفاده از نیتروکسین حاصل شد. همچنین اثر برهمکنش دو تیمار نشان داد که در شرایط تنش ملایم و تنش نسبتاً شدید، با مصرف نیتروکسین به‌صورت بذرمال، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل حاصل شد.

نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006) طی تحقیقی در گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) گزارش کردند که با افزایش فواصل آبیاری به‌طور معنی-داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد زیستی و عملکرد دانه کاسته شد. در یک بررسی دیگر ارتفاع بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد فولیکول در بوته، عملکرد زیستی، عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت تنش خشکی کاهش یافت. در تحقیقی دیگر در گیاه همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) مشخص شد که در شرایط تنش خشکی، ارتفاع گیاه، تعداد گل و عملکرد دانه این گیاه به‌شدت کاهش یافت (Moradi &Goldani, 2011). لاریبی و همکاران (Laribi et al., 2009) در مطالعه‌ای روی زیره سیاه (*Carum carvi* L.) یافتند که تنش خشکی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته داشت. کاهش سرعت جوانه‌زنی، وزن خشک و تر و همچنین طول گیاهچه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش خشکی توسط معافی پاشاکلایی (Maafi Pashaklaei, 2010) نیز گزارش‌شده است. در شرایط تنش خشکی محتوای رطوبت نسبی برگ یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای تعیین وضعیت آب گیاه می‌باشد (Nayyar & Walia, 2003). قابلیت حفظ RWC بالا در پتانسیل آب پایین می‌تواند نشان‌دهنده بالا بودن استحکام دیواره سلولی و تحمل

بالای آن در برابر آسیب‌های ناشی از این تنش باشد (Irigoyen et al., 1992). نتایج مطالعه فرهودی و مدحج (Farhoudi & Modhej, 2018) بر روی گیاه دارویی سیاه‌دانه نشان داد که تنش خشکی ملایم، متوسط و شدید به‌ترتیب عملکرد دانه سیاه‌دانه توده کاشمر را ۲/۴، ۲۰/۲ و ۴۰/۱ درصد و عملکرد دانه توده شهرضا را ۶/۲، ۳۸/۱ و ۶۳ درصد در مقایسه با شرایط نرمال کاهش داد. نتایج تجزیه واریانس داده‌های سرداری و همکاران (Sardari et al., 2020) نیز حاکی از آن بود که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار در تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌جز تاریخ گل‌دهی شد. مقایسه میانگین داده‌های این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه و درصد روغن را به‌ترتیب اکوتیپ‌های سمیرم و کاظمین دارند. از سوی دیگر، نتایج تحقیق کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2014) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک اندام هوایی محتوای نسبی آب برگ، رنگیزه‌های فتوسنتزی آنتوسیانین‌ها، ترکیبات پلی فنلی، فلاونوئیدها و پروتئین و افزایش نشت یونی، مقدار مالون دی‌آلدئید و سایر آلدئیدها، فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز و محتوای قندهای محلول گیاه سیاه‌دانه گردید.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر فواصل مختلف آبیاری و کود زیستی بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه و معرفی بهترین اکوتیپ در شرایط ذکر شده برای شهرستان ایلام می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت طرح آزمایشی کرت‌های دو بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل در سه تکرار در سال ۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام انجام شد. طول جغرافیایی منطقه مورد آزمایش ۴۶ درجه و ۲۸ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۱۷۴ متر، می¬باشد. آب و هوای منطقه نیمه‌مرطوب با تابستان گرم و زمستان نسبتاً سرد است. با میانگین بارندگی سالانه ۶۰۰ میلی¬متر و میانگین دما ۱۶/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شرایط اقلیمی این منطقه در جدول ۱ نشان داده‌شده است. تیمارهای آزمایش شامل؛ تنش خشکی در سه سطح (آبیاری کامل (آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش متوسط (آبیاری بر اساس ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه)، تنش شدید (آبیاری بر اساس ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت اصلی، مصرف کود زیستی نیتروکسین در دو سطح (شاهد (عدم مصرف کود نیتروکسین)، مصرف بذر مال کود نیتروکسین به‌میزان ۰/۸ میلی‌لیتر در هر کرت) به‌عنوان کرت فرعی و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه در چهار سطح (مشهد، نیشابور، اصفهان و سمیرم) به‌عنوان کرت فرعی– فرعی بودند.

برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع از داده‌های تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و ضرایب تشتک استفاده شد.

معادله (۱) $ET_0=Kp \times Epan$

در این معادله، Kp، Epan و ET_0: به‌ترتیب تبخیر از تشت، ضریب تشت و تبخیر و تعرق گیاه مرجع است. در این روش ضریب تشتک محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو ۵۶، به‌طور میانگین ۰/۶۵ منظور شد.

معادله (۲) $ETcrop=Kc \times ET_0$

در این معادله، ETcrop: تبخیر و تعرق گیاه سیاه‌دانه (میلی‌متر در روز) و Kc: ضریب گیاهی (بدون واحد) است (Allen et al., 1998).

برای تعیین ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد از دستورالعمل‌های فائو استفاده گردید.

در این آزمایش، برای محاسبه میزان آب آبیاری از معادله زیر استفاده شد (Allen et al, 1998).

معادله (۳) $I\ (mm)= ETcrop \times A(m^2)$

در این معادله، ETcrop: تبخیر و تعرق گیاه سیاه‌دانه (میلی‌متر در روز) و A: مساحت هر کرت می‌باشد. میزان نیاز آبی سیاه‌دانه سالانه ۶۶۶/۰۲ میلی‌متر در مترمربع برآورد گردید.

حجم آب مورد نیاز در هر بار آبیاری با در نظر گرفتن بارندگی مؤثر، مساحت هر کرت، راندمان آبیاری (۸۰ درصد) و ۴۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی در منطقه توسعه ریشه برآورد گردید (Doorenbos & Kassam, 1979). نیاز آبی گیاه هم‌زمان با رشد آن و به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و مقدار آب مصرفی در تیمارهای مختلف تعیین شد. تعیین دور آبیاری بر اساس درصد حجمی نیاز آبی گیاه به‌صورت ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه صورت گرفت.

جدول ۱- میانگین شاخص‌های آب و هوایی در طول دوره رشد گیاهان مربوط به سال ۱۳۹۷ در شهرستان ایلام

Table 1- Average climatic indices during the growth period of plants related to 2018 in Ilam city

سال	ماه‌های سال	بارندگی Rainfall (mm)	حداقل رطوبت نسبی Minimum relative humidity (%)	حداکثر رطوبت نسبی Maximum relative humidity (%)	میانگین حداقل دما Average minimum temperature(^{0}C)	میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (^{0}C)
2018	فروردین April	103.3	28	69	8.7	21.8
	اردیبهشت May	114.9	40	84	11	22.5
	خرداد June	0.2	17	47	16.8	32.2
	تیر July	0	14	30	21.1	37.8
	مرداد August	0	14	35	21.2	38.2
	شهریور September	0	13	31	19.3	36
	مهر October	45.6	20	46	15.2	29.5

جدول ۲- نتایج خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک

Table 2- Results of soil physical and chemical characteristics

عمق Depth (cm)	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.cm^{-1})	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل خاک Total soil nitrogen (%)	فسفر P (mg.kg^{-1})	پتاسیم قابل‌تبادل K exchangeable (mg.kg^{-1})
0-30	لومی سیلتی silt loam	7.06	0.15	0.37	.125	5.05	**259.2**

برای اجرای آزمایش ابتدا زمین در اردیبهشت‌ماه شخم زده شده و بعد از ایجاد جوی و پشته توسط کولتیواتور کرت‌بندی صورت گرفت. ابعاد هر کرت ۲×۴ مترمربع، فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله تکرارها از یکدیگر یک متر در نظر گرفته شد. کاشت در تاریخ ۱۳۹۷/۲/۲۷ و در وسط پشته‌ها بافاصله بین پشته ۵۰ سانتی‌متر صورت گرفت.

کود زیستی نیتروکسین از شرکت زیست‌فناوری مهر آسیا تهیه گردید. بذور اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. اعمال تیمار کود زیستی نیتروکسین روی بذور به‌گونه‌ای بود که از قبل بذرهای مربوط به هر کرت را به‌مدت یک ساعت به‌میزان ۰/۸ میلی‌لیتر در هشت مترمربع در سایه محلول‌پاشی گردید و بذرمال بذرها صورت گرفت. کاشت بذور در ابتدا به‌صورت متراکم بود و پس از رسیدن به مرحله چهار برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب (۲۵۰ بوته در مترمربع) (Norozpoor & Rezvani Moghaddam, 2006) به فاصله دو سانتی‌متر تنک صورت گرفت. آبیاری به‌روش نوار تیپ انجام گردید. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بود و بنا بر نتایج حاصل از آزمایش‌های آزمایشگاهی به‌دلیل حساسیت بذور سیاه‌دانه به تنش خشکی، اعمال تنش خشکی پس از استقرار گیاهچه‌ها انجام گرفت. به‌منظور اعمال تنش خشکی از دور آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه استفاده شد.

جهت انجام آزمون خاک نمونه‌هایی از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و جهت تعیین خصوصیات خاک در آزمایشگاه گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس آزمون خاک (جدول ۲) صورت گرفته، مقادیر کودی پایه برای

هر کرت اعمال شد. کودهای پایه فسفر و پتاسیم به‌ترتیب (N-P-K) از منابع سوپر فسفات تریپل (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود پتاسه (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) در یک قسط و به‌صورت پیش‌کاشت اعمال گردید و کود نیتروژن از منبع کود اوره ۴۶ درصد به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سه قسط، یک قسط به‌صورت پیش‌کاشت و دو قسط دیگر پس از استقرار گیاهچه به خاک اضافه گردید. کودهای پیش‌کاشت پس از تهیه اولیه زمین و قبل از تهیه جوی و پشته به خاک اضافه گردید تا کود در محل ریشه و عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک قرار گیرد.

مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و در چند نوبت صورت گرفت. جهت نمونه‌برداری از هر کرت آزمایشی پنج بوته در مترمربع به‌طور تصادفی انتخاب گردید و صفات ارتفاع بوته، ارتفاع شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد کپسول در شاخه فرعی و تعداد دانه در کپسول اصلی اندازه‌گیری شد، عملیات برداشت گیاه در زمان زرد شدن برگ‌ها و کپسول‌ها در تاریخ ۱۳۹۷/۶/۵ انجام شد. پس از رسیدگی فیزیولوژیک عملکرد دانه و عملکرد زیستی در سطح یک مترمربع با حذف اثر حاشیه، از ردیف‌های میانی هر کرت تعیین گردید.

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل برگ به‌روش آرنون (Arnon, 1975) عمل شد. ابتدا ۰/۵ گرم از بافت برگ را با استفاده از پنج میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد با استفاده از دستگاه هموژن، هموژن کرده سپس آن را با استفاده از استون ۸۰ درصد به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسانده سپس نمونه‌ها درون دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شد. ابتدا از استون ۸۰ درصد به‌عنوان شاهد در دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Visible مدل Cary-50 ساخت شرکت Varian) استفاده گردید

سپس میزان جذب محلول رویی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر به‌ترتیب برای کلروفیل a و کلروفیل b قرائت گردید. میزان کلروفیل با استفاده از معادله‌های زیر محاسبه شد (Arnon, 1975).

معادله (۱ تا ۳)

$$Chla(mg/gFW)=(12.7\ (A\ 663)-2.69\ (A\ 645))\times V/W\times 1000$$

$$Chlb(mg/gFW)=(22.9\ (A\ 645)-4.69\ (A\ 663))\times V/W\times 1000$$

$$Chl\ a+b\ (mg/gFW)=(20.2\ A(645)+8.02\ (663))\times V/W\times 1000$$

V= حجم نهایی نمونه مورداستفاده = ۱۰ میلی‌لیتر

W = وزن‌تر نمونه = ۰/۵ گرم

برای سنجش میزان آسیب به غشا، میزان نشت یونی از روش شیفراو و باکر (Shiferaw & Baker, 1996) اندازه‌گیری شد. به این منظور میزان ۰/۲ گرم از بافت سالم و تازه اندام هوایی گیاه را بعد از شست‌وشو با آب مقطر برای شست‌وشوی یون‌های احتمالی از سطح گیاه، درون فالکن ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده و ۲۰ میلی‌لیتر آب یون‌گیری شده به آن اضافه گردید. سپس فالکن‌ها را به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده؛ پس از آن، میزان هدایت الکتریکی آب مقطر همراه نمونه به‌عنوان نشت اولیه (EC_1) اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها را به‌مدت یک ساعت درون حمام آب گرم در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و زمانی که نمونه‌ها به دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد رسیدند، مجدد میزان هدایت الکتریکی نمونه‌ها (EC_2) با استفاده از دستگاه ECمتر اندازه‌گیری شد و با استفاده از معادله زیر درصد نشت یونی محاسبه گردید.

معادله (۴)

$$\text{درصد نشت یونی}=\frac{EC1}{EC2}\times 100$$

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ، ۰/۱ گرم از بافت برگی با ترازوی دقیق آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۰۱ وزن گردید (FW[1]). سپس بافت برگی در فالکن‌های حاوی آب مقطر برای مدت ۵-۴ ساعت غوطه‌ور گردید. در طول این مدت ظروف در نور قرار داشتند. سپس نمونه‌ها از ظروف خارج گردید و با استفاده از کاغذ صافی خشک گردیدند، مجدد مورد توزین قرار گرفتند تا وزن بافت گیاهی در حالت تورژسانس کامل (TW) به‌دست آید. برای محاسبه وزن خشک (DW) بافت‌های برگی درون فویل آلومینیوم پیچیده شدند و به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار داده شدند و پس از طی این مدت نمونه‌ها مجدد توزین گردیدند و در نهایت، محتوای نسبی آب برگ (RWC) از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Wheutherley, 1950).

معادله (۵)

$$RWC=\frac{FW-DW}{TW-DW}\times ۱۰۰$$

تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام گرفت. میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار(LSD[2]) در سطح احتمال

1- Fresh weight

2- Least significant difference

پنج درصد مقایسه شدند. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 صورت گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر صفت ارتفاع بوته دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت ارتفاع بوته بیانگر آن بود که اکوتیپ‌های مشهد (۵۲/۵ سانتی‌متر) و سمیرم (۵۲/۱ سانتی‌متر) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بدون اختلاف معنی‌دار بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۲۹/۴ سانتی‌متر) در تیمار نیتروکسین تحت تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین ارتفاع بوته بود (جدول ۵).

طی بروز تنش خشکی، کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز موجب کاهش پتانسیل فشاری به حدی کمتر از میزان لازم برای بزرگ شدن سلول‌ها می‌گردد (Zavareh & Imam, 2005). ازآن جا که اندام‌های هوایی حساسیت بیشتری به تنش کم‌آبی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد. هر گونه کمبود آب موجب تقلیل بیشتر آماس سلولی، کاهش تقسیم و توسعه سلولی به‌خصوص در ساقه و برگ‌ها می‌شود. به همین دلیل، اولین اثر محسوس کم‌آبی روی گیاه را می‌توان از روی کاهش ارتفاع یا اندازه کوچک‌تر برگ‌ها تشخیص داد (Blum, 2005). از سوی دیگر، دسترسی به مواد غذایی در نتیجه استفاده از باکتری‌های محرک رشد گیاهی، از طریق افزایش طول میان‌گره‌ها موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود. باکتری‌های محرک رشد گیاهی با ترشح ترکیبات مختلفی مانند اکسین‌ها، سیتوکنین‌ها، ریبوفلاوین‌ها و ویتامین‌ها موجب افزایش رشد و طول سلول‌های اندام هوایی و در نتیجه، موجب افزایش ارتفاع بوته می‌گردد (Besh et al., 2018). شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Galavi, 2011) در آزمایش خود بر روی گیاه سیاه‌دانه بیان داشتند که دور آبیاری هفت‌روزه بیش‌ترین و دور آبیاری ۲۱ روزه کم‌ترین ارتفاع بوته را داشته است. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) نیز بالاترین ارتفاع بوته سیاه‌دانه را تحت تأثیر دور آبیاری شش‌روزه گزارش نمودند. رضایی‌چیانه و همکاران (Rezaie Chianeh et al., 2012) در تحقیق خود گزارش کرد که با افزایش سطوح آبیاری گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه اختصاص می‌دهد. در نتیجه سهم مواد فتوسنتزی به اندام‌های هوایی از جمله ساقه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش ارتفاع بوته رازیانه(*Foeniculum vulgare* L.) شد. جعفرزاده و همکاران (Jafarzadeh et al., 2013) در تحقیق خود عنوان داشتند، در شرایط بدون تنش و تنش ملایم، استفاده از کود زیستی نیتروکسین همراه آب آبیاری بر ارتفاع گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) مفید بود. نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006) در آزمایش اثر دورهای مختلف آبیاری و تراکم بر عملکرد و اجزای عملکرد در سیاه‌دانه دریافتند که رقابت بیش از حد بین بوته‌ها برای به‌دست آوردن آب در تیمارهای تنش خشکی کاهش تخصیص مواد فتوسنتزی به ساقه را به دنبال داشته که این امر کوتاه قدی گیاه را سبب شد. بیش‌ترین ارتفاع بوته رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill L.) از برهم‌کنش تیمار آبیاری با ۸۰ درصد ظرفیت زراعی و کود زیستی بیوفسفر و کم‌ترین مقدار آن‌ها از تیمار آبیاری با ۴۰ درصد ظرفیت زراعی و عدم مصرف کود (شاهد) به‌دست آمد(Gorgini Shabankare et al., 2017). لاریبی و همکاران (Laribi et al., 2009) در زیره سیاه، رضاپور و همکاران (Rezapor et al., 2011) در سیاه‌دانه، موسوی‌نیک (Mousavi Nick, 2011) در اسفرزه (*Plantago psyllium* L.) و اکرنا و همکاران (Ekrena et al., 2012) در ریحان (*Ocimum basilicum* L.) نیز اثر معنی‌دار تنش خشکی را بر ارتفاع بوته گزارش نموده‌اند.

ارتفاع شاخه فرعی

نتایج اثرات ساده و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه بر صفت ارتفاع شاخه فرعی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت ارتفاع شاخه فرعی بیانگر آن بود که اکوتیپ مشهد (۴۷/۵ سانتی‌متر) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه و اکوتیپ مشهد (۲۷ سانتی‌متر) در تیمار نیتروکسین تحت تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع شاخه فرعی بود (جدول ۵).

تعداد شاخه فرعی در واحد سطح

نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی،

نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بر صفت تعداد شاخه فرعی در مترمربع دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت تعداد شاخه فرعی در مترمربع بیانگر آن بود که اکوتیپ نیشابور (۱۹۳۷/۵ بوته در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه دارای بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۹۵۸/۳ بوته در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین تعداد شاخه فرعی بود (جدول ۵).

وقوع تنش، سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و توسعه رویشی در گیاه می‌شود، از علائم کاهش توسعه رویشی می‌توان به کاهش تعداد شاخه فرعی در گیاه اشاره کرد. شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، بیش‌ترین تعداد شاخه در بوته سیاه‌دانه از دور آبیاری هفت‌روزه و کم‌ترین آن از دور آبیاری ۲۱ روزه به‌دست آمد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) عنوان کردند، فاصله آبیاری یک هفته باعث رشد رویشی بهتر، توسعه کانوپی و در نتیجه استفاده بهتر از تشعشع خورشید و فتوسنتز بالاتر می‌شود و در نهایت، شاخه‌های فرعی بیش‌تری تولید می‌شود.

تعداد کپسول در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ-های سیاه‌دانه بر صفت تعداد کپسول در مترمربع دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت تعداد کپسول در بوته بیانگر آن بود که اکوتیپ مشهد (۱۶۳۱۳ کپسول در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ نیشابور (۴۰۲۱ کپسول در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه کم‌ترین تعداد کپسول در بوته را به خود اختصاص دادند (جدول ۵).

افزایش فواصل آبیاری سبب کاهش تعداد کپسول در بوته گردید که می‌تواند به‌دلیل اثرات سوء تنش ناشی از افزایش فواصل آبیاری بر سیاه‌دانه باشد. به نظر می‌رسد که هم‌زیستی سیاه‌دانه با این ریزجانداران به‌دلیل تولید هورمون‌های محرک رشد و مواد بیولوژیکی فعال باعث افزایش رشد رویشی و به‌تبع آن تعداد شاخه جانبی و کپسول در بوته شده است (Shaalan, 2005). تعداد کپسول در گیاه یکی از اجزای مهم عملکرد می‌باشد، زیرا کپسول از یک طرف، دربرگیرنده تعداد دانه بوده و از طرف دیگر، تأمین‌کننده مواد فتوسنتزی مورد نیاز برای دانه‌ها می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج برخی تحقیقات تطابق دارد. اکبری‌نیا و همکاران (Akbarinia et al., 2005) در تحقیق خود عنوان داشتند با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته سیاه‌دانه کاهش یافت. همچنین شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، دور آبیاری هفت‌روزه نسبت به ۲۱ روزه بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته را داشت. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2018) بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته سویا (*Glycine max* L.) در شاهد مشاهده گردید و کم‌ترین تعداد غلاف در بوته در تنش شدید دیده شد و با تنش‌های ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت.

تعداد دانه در کپسول اصلی در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دو و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت تعداد دانه در کپسول اصلی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود، ولی اثر متقابل دوگانه تنش با نیتروکسین فاقد اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل سه‌گانه برای صفت تعداد دانه در کپسول اصلی نیز حاکی از آن بود که اکوتیپ نیشابور (۳۰۶۴۴ دانه در کپسول اصلی در مترمربع) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ-های مشهد (۱۶۸۷۳ دانه در کپسول اصلی در مترمربع) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین تعداد دانه در کپسول اصلی در مترمربع بود (جدول ۵).

به نظر می‌رسد، تنش خشکی ناشی از افزایش فواصل آبیاری قبل و هنگام گل‌دهی به‌دلیل اختلال در عمل گرده‌افشانی، سبب کاهش تعداد دانه گردیده است. کودهای آلی به‌دلیل اینکه مواد غذایی موجود در خاک را به آهستگی آزاد کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهند، دسترسی بهتر به عناصر غذائی و وجود مواد آلی باعث فراهمی شرایط بهتری برای انجام فتوسنتز و در نتیجه، رشد گیاه می‌شود. کاربرد کود زیستی نیتروکسین می‌تواند مقابله با تنش رطوبتی را افزایش دهد و موجب افزایش نیتروژن در دسترس گیاه گردد. افزایش نیتروژن در شرایط مطلوب تا حد مشخصی، موجب افزایش میزان پروتئین می‌گردد. با افزایش پروتئین‌ها، گیاه به توسعه رویشی مانند سطح برگ، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع و قطر ساقه می‌پردازد و در نهایت، می‌تواند تأثیر

مثبتی بر تعداد دانه به‌عنوان محصول نهایی رشد گیاه داشته باشد. شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند، افزایش فواصل آبیاری از هفت روز به ۲۱ روز سبب کاهش ۴۶ درصدی تعداد دانه در کپسول گردید. قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2018) در تحقیق خود بیان کردند، بین رژیم‌های مختلف آبیاری بیش‌ترین تعداد دانه در غلاف سویا (*Glycine max* L.) در شاهد مشاهده گردید که با تنش ملایم تفاوت معنی‌داری نداشت و کم‌ترین تعداد دانه در غلاف در تنش شدید بود.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین، اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دو و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت عملکرد دانه دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت عملکرد دانه بیانگر آن بود که اکوتیپ سمیرم (۲۲۳۶/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۱۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین عملکرد دانه بود (جدول ۵).

تأثیر خشکی بر هر یک از اجزای عملکرد می‌تواند در نهایت، منجر به تغییر در عملکرد دانه تولیدی در گیاهان و از جمله سیاه‌دانه شود. کاهش میزان عملکرد تولیدی طی افزایش خشکی مربوط به کاهش ارتفاع گیاه، کاهش سطح برگ و افزایش اختصاص مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت به بخش هوایی گیاه است (Sreevalli et al., 2001). این نتایج نشان‌دهنده این است که افزایش در مقدار نیتروژن در دسترس گیاه می‌تواند در افزایش تعداد دانه در سنبله مؤثر باشد و تعداد آن را نسبت به شاهد افزایش دهد و متعاقباً باعث افزایش عملکرد دانه شود (Maliki & Sinki, 2005). نتایج تحقیق شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بر روی گیاه سیاه‌دانه حاکی از آن بود که تیمار دور آبیاری هفت‌روزه بیش‌ترین و تیمار دور آبیاری ۲۱ روزه کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند. در تیمارهای کم آبیاری عملکرد دانه سیاه‌دانه دچار کاهش گردید (Banayan et al., 2009). خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2010) نیز در تحقیق خود گزارش دادند که کودهای زیستی *Azospirillum brasilense*، *Azotobacter paspali* و قارچ مایکوریزا *Glomus Intraradices* و ترکیب آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه گیاه دارویی سیاه‌دانه گردید. نتایج مطالعه فرهودی و مدحج (Farhoudi & Modhej, 2018) بر روی گیاه دارویی سیاه¬دانه نشان داد که تنش خشکی ملایم، متوسط و شدید به‌ترتیب عملکرد دانه سیاه¬دانه توده کاشمر را ۲/۴، ۲۰/۲ و ۴۰/۱ درصد و عملکرد دانه توده شهرضا را ۶/۲، ۳۸/۱ و ۶۳ درصد در مقایسه با شرایط نرمال کاهش داد. توده کاشمر دارای میزان کربوهیدرات و پرولین بیشتری در شرایط تنش نسبت به توده شهرضا بود. این ویژگی باعث شد که توده کاشمر از محتوی نسبی آب بیشتر و شیب تغییرات عملکرد دانه کمتری نسبت به توده شهرضا برخوردار باشد. رضایی چیانه و پیرزاد (Rezaei Chianeh & Pirzad, 2014) در بررسی واکنش سیاه¬دانه به تنش خشکی نشان دادند که تنش خشکی با اثر منفی بر تعداد کپسول در بوته و دانه در کپسول سبب کاهش معنی¬دار عملکرد دانه این گیاه دارویی شد. نتایج بش و همکاران (Besh et al., 2018) حاکی از کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه سیاه¬دانه در اثر افزایش تنش کمبود آب بود، به‌طوری‌که افزایش تنش کمبود آب (تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) سبب کاهش ۲۸ درصدی عملکرد دانه شد. تنش خشکی باعث کاهش ۷/۳۰ درصد عملکرد دانه هیبریدهای مورد مطالعه ذرت نسبت به شرایط بدون تنش خشکی گردید (Yousefi et al., 2016). شریفی و محمدخانی (Sharifi & Mohammadkhani, 2017) در تحقیق خود عنوان کردند، تأثیر تنش خشکی بر عملکرد دانه گندم (*Triticum aestivum* L.) معنی‌دار ($p\leq 0.05$) بود و بیش‌ترین عملکرد دانه در شرایط عدم تنش حاصل گردید.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین

Table 3- Analysis of variance (mean of squares)of morphological pigments of black cumin ecotypes under drought stress and nitroxin biological fertilizer

	میانگین مربعات Mean of squares								
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	ارتفاع اولین شاخه فرعی Height of the first branch	تعداد شاخه فرعی No. of branch perplant	تعداد کپسول در بوته No. of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول اصلی No. of seed per follicle	عملکرد دانه Garin yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	1.01	7.21	84038.6	1111979.2	518042.7	1469.097	671.1	148.01350
تنش Stress	2	294.38**	249.39**	1841030.8**	74942057.3**	158909976.4**	4039042.014**	13412859.7**	6723.8**
تنش × بلوک Stress ×block	4	2.97	5.26	2534.7	322835.3	385872.3	1054.514	6365.9	78.24
نیتروکسین Nitroxin	1	513.33**	159.01**	255314.6 ns	52745008.7**	121993134.9**	4797253.125**	86220334.7**	15157.4**
تنش × نیتروکسین Stress× nitroxin	2	48.17**	16.61**	192202.6**	18329644.1**	20284653.6**	1189951.042**	11995822.2**	4106.01*
نیتروکسین × بلوک (تنش) Nitroxin× block (Stress)	6	1.98	2.41	38656.6	263834.6	346364.7	947.569	5019.1	101.7
اکوتیپ Ecotype	3	145.16**	121.03**	29348.2 ns	26792317.7**	8620743.2**	1317820.718**	15764798.6**	2590.9**
تنش × اکوتیپ Ecotype×stress	6	48.03**	20.74**	29717.1 ns	12594401**	5625820.5**	532034.606**	2516141.6**	603.9**
اکوتیپ × نیتروکسین Ecotype×nitroxin	3	188.62**	104.64**	16691.9 ns	64490234.4**	1783023.3**	420314.236**	6315830**	1635.04**
تنش × نیتروکسین × اکوتیپ Ecotype×stress×nitroxin	6	50.81**	71.79**	54187.6**	16191189.2**	7419858.5**	279839.931**	1215841.2**	760.92**
خطا Error	36	2	2.54	16251.4	332338.7	158947.6	887.27	5305	96.65
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.52	4.41	8.58	6.57	1.75	4.3 7	3.8	4.67

*، ** و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns: are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.

عملکرد زیستی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ-های سیاه‌دانه بر صفت عملکرد زیستی دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت عملکرد زیستی بیانگر آن بود که اکوتیپ اصفهان (۶۵۵۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در تیمار نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ نیشابور (۲۰۵ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین عملکرد زیستی بود (جدول ۵).

افزایش عملکرد زیستی در دور آبیاری کم‌تر (عدم تنش) به‌دلیل بهبود وضعیت رطوبتی خاک و عدم ایجاد خشکی فیزیولوژیکی می‌باشد. افزایش عملکرد بیولوژیک را می‌توان به رشد بهتر، گسترش سایه‌انداز و در نتیجه، استفاده بهتر از تابش خورشیدی و فتوسنتز بالاتر در شرایط مطلوب آبیاری نسبت داد (Norouzpour & Rezvani Moghaddam, 2006). *آزوسپیریلوم* و *ازتوباکتر* با توان تثبیت زیستی نیتروژن، گسترش سطح ریشه، کمک به جذب بهینه آب و عناصر غذایی و تولید هورمون‌های رشد و برخی ویتامین‌ها، رشد کیفی و کمّی گیاهان را تقویت می‌کنند، که نتیجه آن به‌صورت افزایش عملکرد نمایان می‌گردد (Kapulnik et al.,1985). در تحقیق شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) تیمارهای دور آبیاری ۷ و ۲۱ روزه به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد زیستی سیاه‌دانه را داشتند. کودهای زیستی *Azospirillum brasilense*، *Azotobacter paspali* و قارچ *مایکوریزا* *Glomus intraradices* و ترکیب آن‌ها منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد زیستی گیاه دارویی سیاه‌دانه گردید (Khorram Del et al., 2010). بش و همکاران (Besh et al., 2018) در تحقیق خود کاهش ۱۸ درصدی عملکرد زیستی سیاه‌دانه در اثر تنش کمبود آب را اعلام کردند.

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بین آن‌ها بر صفت شاخص برداشت دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود، در این بین اثر متقابل دوگانه بین تنش و نیتروکسین دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بود (جدول ۳). نتایج مقایسه‌های میانگین اثرات متقابل برای صفت شاخص برداشت بیانگر آن بود که اکوتیپ نیشابور (۱۴۶/۹۲ درصد) در تیمار عدم نیتروکسین تحت شرایط ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه بیش‌ترین و اکوتیپ مشهد (۱۱/۷ درصد) در تیمار نیتروکسین تحت ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین شاخص برداشت بود (جدول ۵).

افزایش در وزن کل گیاه به‌وسیله ریزوباکترها به‌واسطه افزایش در جذب عناصر غذایی و در نتیجه، رشد بهتر گیاه می‌باشد که می‌تواند موجب شاخص برداشت بالاتری گردد (Döbereiner, 1997). شعبان‌زاده و گلوی (Shabanzadeh & Golavi, 2011) بیان کردند تیمار دور آبیاری هفت روزه بالاترین مقدار شاخص برداشت را دارا بود. کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی در گیاهان دارویی خار مریم (*Silybum marianum* L.)، همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) و سیاه‌دانه توسط احیایی و همکاران (Ehyaii et al., 2010) گزارش‌شده است، که علت آن می-تواند حساسیت بیش‌تر رشد زایشی به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی و کاهش تخصیص مواد پرورده به دانه بوده باشد (Pandey et al., 2000).

نشت الکترولیت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که اثرات ساده، دوگانه و سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفت نشت الکترولیت‌ها دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای صفت هدایت الکتریکی نشان داد که بیش‌ترین میزان نشت یونی در بین سطوح مختلف تنش خشکی مربوط به تیمار ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه و کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه بود و در این بین بوته‌هایی که تیمار کود زیستی نیتروکسین روی آن‌ها اعمال گردیده بود، میزان نشت یونی کمتری در مقایسه با بوته‌هایی که تیمار عدم نیتروکسین داشتند، از خود نشان دادند. در کل، طی شرایط اعمالی اکوتیپ سمیرم در تیمار عدم اعمال نیتروکسین در ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه با EC= ۶۴/۵۴۶ بیش‌ترین و اکوتیپ سمیرم با اعمال کود زیستی نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با EC=۱۷/۴۹۲ کم‌ترین میزان EC را به خود اختصاص دادند. هرچند این میزان با تیمارهای اکوتیپ‌های اصفهان در عدم اعمال کود زیستی

نیتروکسین (۱۷/۹۱۲درصد) و اکوتیپ نیشابور (۱۸/۰۷۳ درصد) با اعمال کود زیستی نیتروکسین تحت شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه خشکی فاقد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۶).

در شرایط طبیعی بین میزان تولید ROS و فعالیت مکانیسم‌های از بین برنده ROS تعادل وجود دارد، امّا در تنش‌های زیستی و غیرزیستی این تعادل به هم می‌خورد و موجب تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌گردد (Sharma & Dubey, 2005). گیاهان برای مقاومت در برابر تنش اکسیداتیو ایجاد شده توسط تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی باید از سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی آنزیمی یا غیرآنزیمی استفاده کنند. اصلی‌ترین علت اثرات تخریبی و مضر ROS، توانایی آن‌ها برای شروع واکنش‌های زنجیره‌ای اتواکسیداتیو اسیدهای چرب غیراشباع است که منجر به پراکسیداسیون لیپید و تخریب غشا می‌شود (Sharma & Dubey, 2005). غشای سلولی یکی از هدف‌های اولیه بسیاری از تنش‌های محیطی از جمله خشکی به‌حساب می‌آید و حفظ این غشا تحت شرایط تنش خشکی یکی از نشانه‌های تحمل به خشکی می‌باشد. در اثر آسیب‌پذیری غشای سیتوپلاسمی محتویات سلول به بیرون تراوش کرده که مقدار این خسارت را می‌توان با اندازه‌گیری مقدار نشت یونی تعیین نمود (Hamed et al., 2007). به نظر می‌رسد افزایش نشت یونی در اکوتیپ‌های مختلف سیاه‌دانه با افزایش میزان تنش خشکی ناشی از افزایش تولید ROS در شرایط تنش اکسیداتیو باشد که از بین بردن آن‌ها خارج از توان دفاعی گیاه بوده که حاکی از آن است که مکانیسم‌های دفاعی گیاه در برابر تنش اکسیداتیو کافی نبوده است، البته لازم به ذکر است که در این شرایط در بین اکوتیپ‌های مختلف، اکوتیپ‌هایی که تحت تیمار با کود زیستی نیتروکسین قرارگرفته‌اند در مقایسه با اکوتیپ‌هایی که با عدم تیمار کود زیستی نیتروکسین مواجه بوده‌اند، واکنش نسبتاً بهتری در شرایط تنش خشکی از خود نشان داده‌اند که آن می‌تواند ناشی از اثرات مثبت این کود باشد. *آزوسپیریلوم* نیز که همانند *ازتوباکتر* به‌عنوان یک دی‌ازوتروف فیزیولوژیکی و هوازی شناخته می‌شود، علاوه‌بر تثبیت نیتروژن، می‌تواند در تولید هورمون‌های تحریک‌کننده رشد مانند جیبرلین و اکسین و نیز افزایش حلالیت و فراهمی عناصری مانند پتاسیم، فسفر و آهن مؤثر باشد (Dordipour et al., 2010). در این ارتباط دست‌برهان و همکاران (Dastborhan et al., 2010) گزارش کردند که تلقیح با باکتری‌های *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلوم* به‌طور معنی‌داری سبب بهبود ارتفاع بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد گل در بوته، وزن خشک گل، برگ، ساقه و وزن خشک بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) گردید.

محتوای رطوبت نسبی برگ

در رابطه باصفت میزان رطوبت نسبی برگ نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تیمارهای مختلف تنش خشکی، نیتروکسین و اکوتیپ‌های سیاه‌دانه و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه بین آن‌ها دارای اختلاف معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف بود، به‌گونه‌ای که تیمارهای ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان RWC را نشان دادند، همچنین تیمارهای اعمال و عدم اعمال کود زیستی نیتروکسین نیز در اکثر موارد دارای تفاوت بودند و از بین اکوتیپ‌های مختلف اکوتیپ‌های سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و اصفهان در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه با کاربرد کود زیستی نیتروکسین به‌ترتیب بیش‌ترین (۷۳/۲۸۷ درصد) و کم‌ترین (۳۰/۶۵۷ درصد) میزان RWC را به خود اختصاص دادند، هرچند این میزان با اکوتیپ نیشابور در شرایط تنش خشکی شدید با عدم کاربرد کود زیستی نیتروکسین (۳۰/۹۱۹ درصد) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

در طول زمان تنش خشکی میزان تعرق گیاه بیش‌تر از جذب آب توسط گیاه می‌باشد که منجر به بر هم خوردن تعادل آبی گیاه شده و در نهایت، موجب کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی می‌گردد. در این شرایط، گیاه به‌عنوان یک مکانیسم دفاعی روزنه‌ها را بسته که موجب کاهش هدایت روزنه‌ای و ورود دی‌اکسید کربن به گیاه شده که در نهایت، کاهش راندمان فتوسنتزی گیاه را در پی دارد (Lawlor & Cornic, 2002). برای تداوم ورود آب به سلول، سلول‌ها می‌بایست پتانسیل آبی خود را نسبت به محیط اطراف منفی‌تر کنند که می‌توانند جهت ایجاد این حالت از اسمولیت‌ها استفاده کنند، امّا بر طبق نتایج حاصله در شرایط تنش شدید سلول‌ها نتوانسته‌اند به کمک اسمولیت‌ها به‌طور کامل بر اثرات تنش خشکی فائق آیند.

نتایج تحقیق شانفیلد (Schonfeld et al., 1988) بر روی گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) حاکی از این بود که محتوای نسبی آب برگ با افزایش میزان تنش خشکی کاهش یافت. الله‌مرادی و همکاران (Allahmoradi et al., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی ارقام عدس (*Lens esculinaris* L.) به این نتیجه رسیدند که

در بین ارقام ازنظر محتوای آب نسبی اختلاف وجود دارد.

محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تمام اثرات ساده، متقابل دوگانه و متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف به‌جز اثر متقابل دوگانه اکوتیپ با نیتروکسین برای تیمار کلروفیل a دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تمام اثرات ساده، متقابل دوگانه و متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف برای صفت کلروفیل b و کلروفیل کل دارای تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بود (جدول ۴).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of physiological pigments of Black seed ecotypes affected by drought stress and nitroxin biological fertilizer

		میانگین مربعات Mean of squares				
منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	نشت الکترولیت Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ Relative water content	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیلb Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyl
بلوک Block	2	3.9	2.28^{ns}	0.00037^{ns}	0.00018^{ns}	0.00005^{ns}
تنش Stress	2	3417.24**	2813.8**	1.53016**	0.73988**	4.29733**
تنش × بلوک Stress ×block	4	0.34^{ns}	1.42	0.00017^{ns}	0.00016^{ns}	0.00052^{ns}
نیتروکسین Nitroxin	1	21.77**	251.37**	0.73812**	0.14134**	1.52543**
تنش × نیتروکسین Stress× nitroxin	2	26.59**	134.92**	0.00343**	0.01133**	0.02282**
نیتروکسین × بلوک (تنش) Nitroxin× block (Stress)	6	0.51*	0.58	0.00074^{ns}	0.00014^{ns}	0.00063^{ns}
اکوتیپ Ecotype	3	464.94**	196.41**	0.141256**	0.17283**	0.61625**
تنش × اکوتیپ Ecotype×stress	6	64.15**	83.77**	0.02539**	0.02235**	0.07239**
اکوتیپ × نیتروکسین Ecotype×nitroxin	3	280.9**	121.09**	0.0009^{ns}	0.00541**	0.00347**
تنش × نیتروکسین × اکوتیپ Ecotype×stress×nitroxin	6	134.04**	82.07**	0.0141**	0.00136**	0.01445**
خطا Error	36	0.53	1.21	0.00041	0.00018	0.00057
ضریب تغییرات CV	-	2.39	2.41	4.62	3.13	2.92

***، **و ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم اختلاف معنی‌دار**

***, ** and ns: are significant at the 0.05 and 0.01 levels of probability and no significant, respectively.**

جدول ۵- مقایسه میانگین تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین بر صفات مورفولوژیک اکوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 5- Mean comparison drought stress and nitroxin biological fertilizeron on morphological characteristics of Black cumin ecotypes

تیمار Treatment			ارتفاع بوته Plant height (cm)	ارتفاع اولین شاخه فرعی Height of the first branch (cm)	تعداد شاخه فرعی در مترمربع Number of branch perplant	تعداد کپسول در بوته در مترمربع Number of follicle perplant	تعداد دانه در کپسول اصلی در مترمربع Number of seed perfollicle	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد زیستی Biological yield ($kg.ha^{-1}$)	شاخص برداشت Harvest index (%)
عدم تنش آبی No stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	42.7^{ef*}	39.17^{cde}	1412.50^{ij}	12375^{b}	23697^{ef}	475^{i}	1045^{ij}	45.47^{d}
		مشهد Mashhad	34.8^{hij}	31.67^{ij}	1416.67^{ij}	7000^{ghi}	22159^{hi}	818.3^{f}	2595^{d}	31.53^{defgh}
		سمیرم Semirom	36.7^{gh}	32.25^{hij}	1604.17^{ghi}	10479^{de}	25446^{c}	783.3^{f}	2205^{f}	$35.53d^{efg}$
		اصفهان Esfahan	42.8^{ef}	39.33^{cd}	1570.83^{def}	12542^{b}	24558^{d}	1860^{b}	5178.3^{b}	35.93^{defg}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	30.4^{kl}	27.5^{kl}	1937.50^{a}	7146^{ghi}	22950^{g}	416.6^{j}	1066.6^{ij}	39.05^{def}
		مشهد Mashhad	46.3^{b}	41.67^{bc}	1812.50^{abc}	16313^{a}	22247^{hi}	228.3^{on}	533.3n	42.89^{de}
		سمیرم Semirom	43^{def}	39.67^{cd}	1637.50^{cde}	9854^{e}	22820^{gh}	366.6^{k}	948.3^{jk}	38.66^{defg}
		اصفهان Esfahan	35.8^{bc}	40.75^{c}	1691.67^{bcd}	11000^{cd}	21733^{ij}	1145^{e}	2591.6^{d}	44.18^{d}
تنش متوسط آبی Moderate stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	45.3^{ij}	31.58^{j}	1562.50^{hi}	6458^{ijk}	30644^{a}	528.3^{h}	1325^{g}	39.82^{def}
		مشهد Mashhad	44.5^{hi}	35.42^{fg}	1458.33^{efg}	4375^{mn}	27123^{b}	1591.6^{d}	5155^{b}	30.88^{defgh}
		سمیرم Semirom	41.7^{bcd}	41.25^{c}	1625^{cdef}	7667^{fg}	26566b	2236.6^{a}	5026.6^{c}	44.49^{d}
		اصفهان Esfahan	44.5^{bcde}	43.92^{b}	1637.50^{cde}	11646^{bc}	25367^{c}	1810^{c}	6551.6^{a}	27.63^{efghi}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	41.7^{f}	37.25^{def}	1570.83^{def}	7458^{fgh}	23054^{fg}	425^{j}	298.3^{op}	146.92^{a}
		مشهد Mashhad	52.5^{a}	47.5^{a}	1791.6^{abc}	10313^{de}	23969^{de}	690^{g}	735^{m}	93.91^{b}

	سمیرم Semirom	52.1^{a}	36.67^{efg}	1862.50^{ab}	11708^{bc}	21496^{jk}	306.6^{l}	550^{n}	62.76^{c}
	اصفهان Esfahan	42.7^{cf}	39.75^{cd}	1729.17^{abcd}	12000^{b}	22225^{hi}	773.3^{f}	1205^{gh}	64.24^{c}
نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	32.8^{ij}	30.25^{ij}	1250^{ghi}	5854^{jkl}	21433^{jk}	246.6^{mn}	1095^{hi}	22.52^{ghi}
	مشهد Mashhad	29.4^{l}	27^{l}	1145.83^{ijl}	5333^{lm}	21332^{jk}	286.6^{ml}	2453.3^{e}	11.7^{i}
	سمیرم Semirom	32.6^{ijk}	29.75^{ijk}	1116.67^{fgh}	5750^{jkl}	20929^{k}	210^{nop}	895^{lk}	23.58^{fghi}
	اصفهان Esfahan	38.5^{gf}	34.25^{ghi}	1308.33^{cdef}	5563^{kl}	18933^{m}	425^{j}	2598.3^{d}	16.68^{hi}
تنش شدید آبی Severe stress	نیشابور Neyshabour	35.8^{hi}	34.58^{gh}	1166.67^{ijl}	4021^{n}	19807^{l}	168.3^{pq}	205^{p}	82.9^{b}
	مشهد Mashhad	44.1^{bcde}	35.17^{fg}	958.33^{j}	10958^{cd}	16873^{n}	141.6^{q}	398.3^{o}	35.4^{defg}
عدم نیتروکسین Non-nitroxin	سمیرم Semirom	35.9^{hi}	31.67^{ij}	1162.50^{fgh}	6521^{hij}	20005^{l}	230^{no}	780^{lm}	29.5^{defgh}
	اصفهان Esfahan	43.6^{cdef}	39.33^{cd}	1216.67^{def}	8292^{f}	19971^{l}	185^{opq}	548.3^{n}	33.24^{defg}

جدول ٦- مقایسه میانگین تنش خشکی و کود زیستی نیتروکسین بر صفات فیزیولوژیکی اکوتیپ‌های سیاه‌دانه

Table 6- Mean comparisons of drought stress and nitroxin biological fertilizer on physiological characteristics of Black seed ecotypes

تیمار Treatment			کلروفیل a Chlorophyll a ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($mg.g^{-1}$)	نشت الکترولیت Electrolyte Leakage (٪)	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (٪)
عدم تنش آبی No stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.768^{c*}	0.563^{c}	1.331^{c}	18.073^{l}	55.489^{c}
		مشهد Mashhad	0.673^{d}	0.455^{d}	1.127^{e}	19.961^{k}	52.156^{de}
		سمیرم Semirom	0.953^{a}	0.717^{a}	1.67^{a}	17.492^{l}	73.287^{a}
		اصفهان Esfahan	0.864^{b}	0.677^{b}	1.541^{b}	23.13^{ij}	64.113^{b}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.541^{e}	0.453^{d}	0.994^{f}	19.549^{k}	50.373^{e}
		مشهد Mashhad	0.459^{f}	0.351^{e}	0.809^{h}	20.588^{k}	47.844^{f}
		سمیرم Semirom	0.864^{b}	0.667^{b}	1.53^{b}	28.002^{h}	46.321^{fg}
		اصفهان Esfahan	0.655^{d}	0.554^{c}	1.209^{d}	17.912^{l}	64.68^{b}
تنش متوسط آبی Moderate stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.531^{e}	0.445^{d}	0.976^{f}	22.762^{j}	45.778^{gh}
		مشهد Mashhad	0.343^{g}	0.34^{e}	0.683^{i}	32.116^{f}	41.623^{ij}
		سمیرم Semirom	0.549^{e}	0.552^{c}	1.101^{e}	33.828^{e}	45.995^{gh}
		اصفهان Esfahan	0.449^{f}	0.449^{d}	0.897^{g}	22.491^{j}	52.341^{d}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.251^{h}	0.34^{e}	0.59^{j}	27.622^{h}	44.365^{h}
		مشهد Mashhad	0.131^{i}	0.145^{h}	0.276^{n}	23.421^{ij}	42.445^{i}
		سمیرم Semirom	0.335^{g}	0.45^{d}	0.785^{h}	30.757^{g}	41.796^{i}
		اصفهان Esfahan	0.236^{h}	0.343^{e}	0.579^{j}	24.288^{i}	46.892^{fg}
تنش شدید آبی Severe stress	نیتروکسین Nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.31^{g}	0.17^{g}	0.479^{kl}	34.643^{e}	37.936^{lm}
		مشهد Mashhad	0.256^{h}	0.241^{f}	0.497^{k}	48.329^{c}	31.577^{o}
		سمیرم Semirom	0.45^{f}	0.346^{e}	0.796^{h}	47.475^{c}	39.809^{jk}
		اصفهان Esfahan	0.326^{g}	0.14^{hi}	0.465^{kl}	39.07^{d}	30.657^{o}
	عدم نیتروکسین Non-nitroxin	نیشابور Neyshabour	0.254^{h}	0.125^{i}	0.379^{m}	50.867^{b}	30.939^{o}
		مشهد Mashhad	0.101^{i}	0.133^{hi}	0.234^{o}	27.028^{h}	35.503^{n}
		سمیرم Semirom	0.112^{i}	0.339^{e}	0.45^{l}	64.546^{a}	38.636^{kl}
		اصفهان Esfahan	0.102^{i}	0.134^{hi}	0.235^{o}	37.987^{d}	36.122^{mn}

نتایج مقایسه‌های میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای کلروفیل a نشان داد که بیش‌ترین (۰/۹۹۵۳ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و کم‌ترین(۰/۱۰۱ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) میزان کلروفیل a به‌ترتیب مربوط به اکوتیپ‌های سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی

گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین و اکوتیپ مشهد در شرایط ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه و عدم اعمال کود زیستی نیتروکسین بود (جدول ۶). همین‌طور نتایج مقایسه‌های میانگین سه‌گانه تیمارهای مختلف برای کلروفیل b نشان داد که اکوتیپ سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین بیش‌ترین (۰/۷۱۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و اکوتیپ نیشابور در شرایط عدم نیتروکسین و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه کم‌ترین (۰/۱۲۵ میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ) را دارا بودند (جدول ۶). نتایج مقایسه میانگین سه‌گانه تیمارها نشان داد، اکوتیپ سمیرم در شرایط ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و اعمال کود زیستی نیتروکسین بیش‌ترین (۱/۶۷ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) و اکوتیپ مشهد در شرایط عدم اعمال کود نیتروکسین و ۳۵ درصد نیاز آبی گیاه دارای کم‌ترین (۰/۲۳۴ میلی‌گرم در گرم وزن‌تر برگ) میزان کلروفیل کل بود (جدول ۶).

کلروفیل‌ها مولکول‌های ضروری هستند که مسئول دریافت انرژی خورشیدی در سیستم‌های فتوسنتزی می‌باشند و غلظت آن به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی قدرت منبع شناخته شده است، لذا کاهش در آن در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیر روزنه‌ای به‌حساب آید (Tanaka & Tanaka, 2006). کاهش مقدار این رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی می‌تواند عمدتاً به‌دلیل تخریب ساختمان کلروپلاست و دستگاه فتوسنتزی، فتواکسیداسیون کلروفیل‌ها، واکنش آن‌ها با ROS، تخریب پیش-ماده‌های سنتز کلروفیل و ممانعت از بیوسنتز کلروفیل‌های جدید و فعال شدن آنزیم‌های تجزیه‌کننده کلروفیل و اختلالات هورمونی باشد (Sultana et al., 1999).

نتایج کریم‌زاده اصل و باغبانی آرانی (Karim Zadeh Asl & Baghbani Arani, 2019) بر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) نشان دادند که با افزایش شدت تنش خشکی کلروفیل کل، کلروفیل a و b کاهش یافت از طرفی، کودهای زیستی موجب افزایش کلروفیل کل، کلروفیل a و b گردیدند. همچنین اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و کود زیستی بر میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b معنی‌دار گردید، به‌گونه‌ای که بیش¬ترین میزان کلروفیل کل، کلروفیل a و b در تیمار آبیاری در ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر با کاربرد کود زیستی نیتروکسین و بیوفسفر به‌دست آمد. نتایج تحقیق کبیری و همکاران (Kabiri et al., 2014) نیز نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل گیاه سیاه¬دانه گردید شفتاوی و تاوسفکی (Sheteawi & Tawfik, 2007) در گزارش خود کاهش کلروفیل a در گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) بر اثر تنش خشکی را مربوط به افزایش تولید رادیکال‌های اکسیژن در سلول عنوان کردند. این رادیکال سبب پر اکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، می‌توان نتیجه گرفت که بخشی از کاهش عملکرد دانه در سیاه‌دانه می‌تواند به‌دلیل کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه در شرایط تنش خشکی باشد که منجر به کاهش فتوسنتز در گیاه می‌گردد. مطابق با نتایج این آزمایش، محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی و عملکرد دانه سیاه‌دانه تحت اعمال تنش خشکی تحت کاربرد کود زیستی نیتروکسین در مقایسه با عدم اعمال آن افزایش یافتاثرات مثبت این کود زیستی بر عملکرد نهایی را می‌توان به‌دلیل بهبود صفات فیزیولوژیک (میزان کلروفیل برگ، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ) ارتباط داد. همچنین کاربرد کود زیستی نیتروکسین میزان نیاز آبی سالانه گیاه را به نحو مطلوبی کاهش داد و این در حالی بود که این کاهش در میزان آب آبیاری مصرفی موجب کاهش فراوان ای در عملکرد اقتصادی حاصل از گیاه نگردید. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد کودهای زیستی می‌تواند موجب بهبود عملکرد و خصوصیات کمی گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت محدودیت آبی گردد، با این‌وجود، این موضوع نیاز به بررسی‌های بیش‌تر خواهد داشت.

References

Ahmad, S., and Beg, Z.H., 2013. Hypolipidemic and antioxidant activities of thymoquinone and limonene in atherogenic suspension fed rats. Food Chemistry 138(2): 1116-1124. 10.1016/j.foodchem.2012.11.109.

Akbarinia, A., Khosravifard, M., Sharifi Ashoorabadi, E., and Babakhanlou, P., 2005. Effect of irrigation intervals on yield and agronomic characteristics of black cumin (*Nigella sativa*). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research 2(1): 65-73. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2005.115208.

Allahmoradi, P., Mansourifar, C., Saidi, M., and Jalali Honarmand, S., 2013. Water deficiency and its effects on grain

yield and some physiological traits during different growth stages in lentil (*Lens culinaris* L.) cultivars. Annals of Biological Research 4(5): 139-145.

Anjum, S.A., Wang, L.C., Farooq, M., Hussain, M., Xue, L.L., and Zou, C.M., 2011. Brassinolide application improves the drought tolerance in maize through modulation of enzymatic antioxidants and leaf gas exchange. Journal of Agronomy and Crop Science 197: 177–185. 10.1111/j.1439-037X.2010.00459.x

Arnon, D.I., 1975. Physiological principles of dryland crop production. Gupta, U. S. (Eds.). Physiological aspects of dryland farming. Oxford Press. p. 3-14.

Bannayan, M., Najafi, N., Azizi, M., Tabrizi, L., and Rastgoo, M., 2009. Yield and seed quality of *Plantago ovata* and *Nigella sativa* under different irrigation treatments. Industrial Crops and Products 27: 11-16. 10.1016/j.indcrop.2007.05.002.

Besh, Z., Danesh shahraki, A., Qobadynya, M., and Saeedi, K., 2018. Effect of plant growth-promoting bacteria on agromorphological traits of black seed under water deficit stress. Journal of Environmental Stresses in Crop Science. 2: 525-537. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2018.1347.1282.

Blum, A., 2005. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential-are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? Australian Journal of Agricultural Research 56: 1159-1168. 10.1071/AR05069.

Caob, Z.H., Lib, Z.G., Cheunga, K.C., and Wong, M.H., 2005. Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. Geoderma 125: 155-166. 10.1016/j.geoderma.2004.07.003.

Dastborhan, S., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., and Tavassoli, A.R., 2010. Effect of some plant growth promoting rhizobacteria and nitrogen fertilizer on morphological characteristics of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Agroecology 2: 565-573. (In Persian with English Summary). 10.22067/JAG.V2I4.8785.

Dehghani Meshkani, M.R., Naghdi Badi, H.A., Darzi, M.T., Mehr Afarin, A., Rezazadeh, S., and Kadkhoda, Z., 2011. The effect of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria recutita* L.). Journal of Medicinal Plants 2(38): 35-48. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.2717204.2011.10.38.4.7.

Demirevska, K., Zasheva, D., Dimitrov, R., Simova-Stoilova, L., Stamenova, M., and Feller, U., 2009. Drought stress effects on rubisco in wheat: Changes in the rubisco large subunit. Acta Physiologiae Plantarum 31: 1129-1138. 10.1080/07352680590910410.

Döbereiner, J., 1997. A importância da fixação biológica de nitrogênio para a agricultura sustentável. BiotecnologiaCiência and Desenvolvimento. Encarte Especial 1: 2-3

Dordipour, E., Farshadirad, A., and Arzanesh, M.H., 2010. Effect of *Azotobacter chrococoum* and *Azospirillum lipoferum* on the release of soil potassium in pot culture of soybean (*Glycine max* var. Williams). Journal of Agroecology 2: 593–599. (In Persian with English Summary). 10.22067/jag.v2i4.8797.

Earl, H., and Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696. 10.2134/agronj2003.6880.

Ehyaii , H.R., Rezvani Moghadam, P., and Amiri Deh Ahmadi, S.R., 2010. Investigation of the effect of drought stress on some morphological indices of three medicinal plants of thistle, evergreen and blackberry in greenhouse conditions. First National Conference on Environmental Stress in Agricultural Sciences. 137. (In Persian with English Summary)

Ekrena, S., Sonmez, C., Ozcakal, E., Kurttas, Y.S.K., Bayram, E., and Gurgulu. H., 2012. The effect of different irrigation water levels on yield and quality characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). Agricultural Water Management 109: 155-161. 10.1016/j.agwat.2012.03.004.

Entok, E., Ustuner, M.C., Ozbayer, C., Tekin, N., Akyuz, F., Yangi, B., and Gunes, H.V., 2014. Anti-inflammatuar and antioxidative effects of *Nigella sativa* L. 18FDG-PET imaging of inflammation. Molecular Biology Report 41(5): 2827- 2834. 10.1155/2012/429320.

Farhoudi, R., and Modhej, A., 2018. Effect of drought stress on seed yield, essential oil yield and ability of reactive oxygen species scavenging in *Nigella sativa* L. ecotypes. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 34(3): 511-525. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2018.116805.2224.

Fu, J., and Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool season grasses to localized drought stress. Environmental and Experimental Botany 45: 105-114. 10.1016/S0098-8472(00)00084-8.

Ghanbari, M., Khoshti Bidgoli, A., and Talebii seah saran, P., 2018. Effect of biofertilizers on yield components, yield, protein and soybean oil (*Glycine max* Merrill.) under different irrigation regimes. Journal of Plant Environmental

Physiology 13(52): 1-15. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.76712423.1397.13.52.1.0.

Goreja, W.G., 2003. Black Seed: Nature's Miracle Remedy. New York, NY7 Amazing Herbs Press. pp. 46.

Gorgini Shabankare, H., Fakheri, B.A., and Mohammadpour Vashvaei, R., 2017. The effect of bio-fertilizers on growth, grain and essential oil yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress. Journal of Agroecology 9(1): 50-62. (In Persian with English Summary). 10.22067/JAG.V9I1.35321.

Güllü, E.B., and Gülcan, A., 2013. Timokinon: *Nigella sativa*' lınn biyoaktif komponenti. Kocatepe Veterinary Journal 6(1): 51-61. http://hdl.handle.net/11630/2330.

Hamed, K.B., Castagna, A., Salem, E., Ranieri, A., and Abdelly, C., 2007. Sea fennel (*Crithmum maritimum* L.) under salinity conditions: A comparison of leaf and root antioxidant responses. Plant Growth Regulation 53(3): 185-194. 10.1007/s10725-007-9217-8.

Irigoyen, J.J., Einerich, D.W., and Sánchez-Díaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60. 10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x.

Jaberi, M., Baradaran, S.G., and Aghhavani Shajari, M., 2015. Effect of biofertilizers and irrigation intervals on yield component and yield of fenugreek (*Trigonella foenum- graecum* L.). Iranian Journal of Horticultural Science 29(3): 426-437. (In Persian with English Summary). 10.22067/jhorts4.v0i0.32414.

Jafarzadeh, L., Omidi, H., and Bostani, A.A., 2013. Effect of drought stress and bio-fertilizer on flower yield, photosynthesis pigments and proline content of Marigold (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(3): 666-680. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2013.4049.

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 30(4): 600-610. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2014.9841.

Kapulnik, Y., Gafny, R., and Okon, Y., 1985. Effect of *Azospirillum* spp. inoculation on root development and NO_3^- uptake in wheat in hydroponic system. Canadian Journal of Botany 63: 627-631. 10.1139/b85-078.

Karim Zadeh Asl, K.H., and Baghbani Arani, A., 2019. The effect of different irrigation regimes and biofertilizers on grain yield, essential oil content, some physiological traits and uptake of minerals in cumin. Journal of Environmental Stresses in Crop Science 12: 817-830. (In Persian with English Summary). 10.22077/escs.2019.1565.1352.

Khorram Del, S., Koocheki, A.R., Nasiri Mahalati, M., and Ghorbani, R., 2010. Effect of biological fertilizers on yield and yield components of *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Field Crops Research 8(5): 768-776. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V8I5.8017.

Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A., and Brahim, M., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oils and fatty acids composition. Industrial Crops and Products 30: 372-379. 10.1016/j.indcrop.2009.07.005.

Lawlor, D.W., and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25: 275-294. 10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x.

Liu, C., Liu, Y., Guo, K., Fan, D., Li, G., Zheng, Y., Yu, L., and Yang, R., 2011. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China. Environmental and Experimental Botany 71: 174–183. 10.1016/j.envexpbot.2010.11.012.

Lobell, D.B., Schlenker, W., and Costa-Roberts, J., 2011. Climate trends and global crop production since 1980. Science 333: 616-620.

Maafi Pashaklaei, R., 2010. Evaluation of drought tolerance in germination stage of safflower cultivars. National Conference on New Achievements in Oilseed Crop Production, p. 1-4. Bojnurd. (In Persian)

Maliki, A., and Sinki, G.M., 2005. Effect of irrigation intervals and nitrogen splitting on yield and yield components of spring canola. Ecology of Crop Plants 1(1): 35-43.

Moradi Marjana, E., and Goldani, M., 2011. Evaluation of different levels of salicylic acid on some growth indices of *calendula officinalis* L. under irrigated conditions. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 4(1): 33-45. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2011.97.

Mousavi Nick, M., 2012. Effect of different levels of sulfur fertilizer on the quantitative and qualitative yield of medicinal plant (*Plantago ovata* L.) under drought stress in Baluchistan. Journal of Agroecology 4(20): 170-182. (In Persian with English Summary)

Nayyar, H., and Walia, D.P., 2003. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected

by calcium and abscisic acid. Biologia Plantarum 46: 275–279.

Negat Zadeh, F., 2015. Effect of nitrogen biological and chemical fertilizers on growth, yield and composition of plant essential oil (*Anethum graveolens* L.).New Molecular Cell Biotechnology 5(19): 77-84. (In Persian with English Summary). 20.1001.1.22285458.1394.5.19.7.9.

Norouzpour, G., and Rezvani Moghaddam. P., 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essential oil of *Nigella sativa*. Research and Construction 19(4): 133-138. (In Persian with English Summary). 10.22067/GSC.V3I2.1313.

Pandey, R.K., Marienville, J.W., and Adum, A., 2000. Deficit irrigation and nitrogen effect on maize in an aphelia environmental grain yield components. Agricultural Water Management 46: 1-13. 10.1016/S0378-3774(00)00073-1.

Por Akbar, L., Khayami, M., and Jalil, J., 2008. The interaction of Cu and EDTA on K+ Leakage and some metals content in root and shoot of corn rootstocks. Journal of Science (Kharazmi University) 8(2): 121-123. (In Persian with English Summary)

Praba, M.L., Cairns, J.E., Babu, R.C., and Lafitte, H.R., 2009. Identification of physiological traits underlying cultivar differences in drought tolerance in rice and wheat. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 30-46. 10.1111/j.1439-037X.2008.00341.x.

Rajendran, K., and Devaraj, P., 2004. Biomass and nutrient distribution and their return of *Casuarina equisetifolia* inoculated with biofertilizers in farm land. Biomass and Bioenergy 26: 235-249. 10.1016/j.biombioe.2003.07.001.

Razavi, B., and Hosseinzadeh, H., 2014. A review of the effects of *Nigella sativa* L. and its constituent, thymoquinone, in metabolic syndrome. Journal of Endocrinological Investigation 37(11): 1031-1040. 10.1007/s40618-014-0150-1.

Rezaei Chianeh, A., and Pirzad, A.R., 2014. The effect of salicylic acid on yield, yield components and black seed essential oil under dehydration stress. Iranian Journal of Field Crops Research 12(3): 427-437. (In Persian with English Summary)

Rezaie Chianeh, I., Zahhtab Salmasi, S., Ghasemi Golzani, K., and Del Azar, A., 2012. Effects of different irrigation treatments on essential oil accumulation, its components and some ecophysiological traits in fennel. Government - Ministry of Science, Research, and Technology - Tabriz University- Faculty of Agricultural Science (In Persian with English Summary)

Rezapor, A.R., Heidari, M., Galavi, M., and Ramrodi. M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(3): 384-396. (In Persian with English Summary). 10.22092/IJMAPR.2011.6380,

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(34): 138-150. (In Persian with English Summary). 10.29252/jcb.12.34.138.

Schonfeld, M.A., Johnson, R.C., Carver, B.F., and Mornhinweg, D.W., 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. Crop Science 28: 526-531. 10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x.

Shaalan, M.N., 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83: 811-828. 10.21608/EJAR.2005.245568.

Shabanzadeh, S.H., and Golavi, M., 2011. Effect of foliar application and irrigation period on agronomic characteristics and yield of black seed. Environmental Stresses in Agricultural Sciences 4(1): 1-9. (In Persian with English Summary). 10.22077/ESCS.2011.94.

Sharifi, P., and Mohammadkhani, N., 2017. Physiological responses and antioxidant activities in flag leaf and spike of wheat genotypes under drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology 12(46): 15-30.

Sharma, P., and Dubey, R.S., 2005. Drought induces oxidative stress and enhances the activities of antioxidant enzymes in growing rice seedlings. Plant Growth Regulation 46(3): 209-221. 10.1007/s10725-005-0002-2

Sheteawi, S.A., and Tawfik. K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbean (*Vigna radiate*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research 3(3): 251-262.

Shiferaw, B., and Baker, D.A., 1996. An evaluation of drought screening techniques for Eragrostis tef. Tropical Science 36: 74-85.

Singh, S., Das, S., Singh, G., Schuff, C., de Lampasona, M.P., and Catalán, C.A., 2014. Composition, in vitro antioxidant and antimicrobial activities of essential oil and oleoresins obtained from black cumin seeds (*Nigella sativa* L.). BioMed Research International.1-10. 10.1155/2014/918209.

Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R.,kuikkarni, R., Sushil Hasan, A., Samresh, D., Kukre,J., Ashok, A.,

Sharma Singh, K., Srikant, S., and Rakesh, T., 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in Periwinkle. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences 22: 356-358.

Sultana, N., Ikeda, T., and Itoh, R., 1999. Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. Environmental and Experimental Botany 42(3): 211-220. 10.1016/S0098-8472(99)00035-0.

Tanaka, A., and Tanaka, R., 2006. Chlorophyll metabolism. Plant Biology 9: 248-255.

Tas, S., and Tas, B., 2007. Some physiological responses of drought stress in wheat genotypes with different ploidity in Turkiye. World Journal of Agriculture and Science 3: 178-183.

Vessey, J.K., 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. Plant and Soil 255: 571-586.

Wang, Z., and Huang, B., 2004. Physiological recovery of Kentucky bluegrass from simultaneous drought and heat stress. Journal of Crops Science 44: 1729-1736. 10.2135/cropsci2004.1729.

Wheutherley, P.E., 1950. Studies in water relations of cotton plants. The field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist 49: 81-87. 10.1111/j.1469-8137.1950.tb05146.x.

Yousefi, M., Nasrollahzadeh, A.V., and Moharramnejad, S., 2016. Evaluation of grain yield, chlorophyll content, osmolality, total polyphenol content, and catalase activity of maize (*Zea mays* L.) in response to drought stress. Journal of Plant Environmental Physiology 12(46): 1-14. (In Persian with English Summary)

Youssef, A.A., Edris, A.E., and Gomaa, A.M., 2004. A comparative study between some plant growth regulators and certain growth hormones producing microorganisms on growth and essential oil composition of *Salvia officinalis* L. Plant Annals of Agricultural Sciences 49: 299-311.

Zavareh, M., and Imam, Y., 2005. Drought Tolerance in Excellent Plants. University Publication Center. pp. 194.