Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effects of irrigation regimes, row spacing and phosphorous fertilizer on yield and yield components of *Nigella sativa* L.

Afsaneh Badalzadeh[1], Mohammad Rafieiolhossaini[2*]

[1] M.Sc Graduated in Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Email: abadalzadeh65@gmail.com
[2] Associate Professor, Department of Agronomy, Shahrekord University, Shahrekord, Iran, Email: m_rafiee_1999@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2022/01/12
Revised: 2022/03/12
Accepted: 2022/04/10

Keywords:
Biological yield
Harvest index
Medicinal plant
Plant nutrition
Sustainable agriculture

ABSTRACT

Background and objectives: *Nigella sativa* L. plant is native to southern Europe, North Africa and Asia and has been used by Egyptians and Greek physicians to treat asthma, headache, nasal congestion, allergy, immune boosting, blood pressure, digestive problems, rheumatism and intestinal infections. Plants are faced with various environmental stresses during their growing period. Each of these stresses have different effects on growth, metabolism and yield according to the sensitivity level and stage of the plant growth. Drought stress is one of the environmental factors which has a major impact on the growth and amount of active substances of medicinal plants. Management of nutrients consumption along with water consumption management influences the quantitative and qualitative yield of crops and medicinal plants. Phosphorus is an essential nutrient required for plant growth. It helps in root development, plant maturation, and seed growth. Along with nitrogen and potassium, phosphorus is one of the most important elements for plant life. Therefore, modern farming is dependent to the use of phosphorus based fertilizers. Meanwhile, determining the appropriate plant density requires full knowledge of plant characteristics and its relationship with environmental factors. This density should have enough space for operation and harvest. Also, selecting the appropriate plant density depends on factors such as plant volume, restoration strength, space, weed competition, planting row spacing, production target, soil conditions and environmental production capacity. For this reason, this investigation was conducted to evaluate the effects of irrigation regime, row spacing and phosphorous fertilizer on yield and yield components of *Nigella sativa* L.

Materials and Methods: The experiment was carried out as split plot factorial based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Ziba Andishan company of Esfahan during 2017. The main factor was three levels of irrigation regimes including: 50, 100 and 150 mm evaporation of class A evaporation basin while 3 levels of phosphorous fertilizer application including: 1) no amended fertilizer (control), 2) 75 and 3) 150 Kg ha^{-1} Super phosphate triple and 3 levels of row spacing 20, 30 and 40 cm as factorial were used as subplots.

Results: The maximum number of seed per capsule (115 number), 1000-seed weight (2 g) and grain yield per plant (19.2 g plant) were gained from 50 mm irrigation regime, 150 kg ha^{-1} phosphorus and planting row distance of 30 cm and showed 11.87%, 17.64% and 66.08% increase compared to the control. Their minimum were related to 150 mm irrigation regime, control phosphorus and planting row distance of 20 cm, respectively. The maximum no. capsules per plant (92.9 number) were obtained from the irrigation

regime of 100 mm, 75 kg ha^{-1} phosphorus and planting row distance of 30 cm and showed 45.93% increase compared to the control. Its minimum amount was achieved from the irrigation regime of 150 cm, control phosphorus and row spacing of 20 cm. The maximum grain (5907 kg ha^{-1}) and biological (8650 kg ha^{-1}) yield were obtained from 50 mm irrigation regime, 150 kg ha^{-1} phosphorus and planting row distance of 20 cm and showed 115.6% and 97.80% increase compared to the control. Their minimum amounts were achieved from the 150 mm irrigation regime, control phosphorus and 20 and 40 cm planting row distance. The maximum harvest index (69.9%) were obtained from the irrigation regime of 100 mm, control phosphorus and planting row distance of 40 cm and showed 9.38% increase compared to the control. Its minimum amount was achieved from the irrigation regime of 150 cm, phosphorus 75 kg ha^{-1} and row spacing of 40 cm. According to the obtained results, the most suitable planting row distance is 20 cm.

Conclusion: Based on the results obtained at this experiment, it could be stated that although, by increasing the row spacing and decreasing the density, the portion of each plant from water, nutrients and light increases and this causes that the number of seeds per capsule, 1000-seed weight and seed yield per plant increase, but according to the point that in agronomy, seed yield is the most important evaluation index and the maximum amount of this trait was gained in the treatment of 50 mm irrigation regime, 150 kg per hectare phosphorus and 20 cm row spacing, so in similar conditions this treatment is recommended.

Cite this article: Badalzadeh, A., Rafieiolhossaini, M. 2023. The effects of irrigation regimes, row spacing and phosphorous fertilizer on yield and yield components of *Nigella sativa* L. *Crop Production Journal*, 16 (1), 43-60.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2023.19778.2479
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹x
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷٤۰۳

اثر رژیم آبیاری، فاصله ردیف کاشت و کود فسفره بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه

افسانه بدل‌زاده[۱]، محمدرفیعی الحسینی[۲*]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد در رشته زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: abadalzadeh65@gmail.com

[۲] دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، رایانامه: m_rafiee_1999@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۱۰/۲۲
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۱۲/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰۱/۲۱

واژه‌های کلیدی:
تغذیه گیاه
شاخص برداشت
عملکرد بیولوژیک
کشاورزی پایدار
گیاه دارویی

چکیده

سابقه و هدف: گیاه سیاه‌دانه بومی اروپای جنوبی، آفریقای شمالی و آسیا است که توسط مصری‌ها و پزشکان یونانی برای درمان آسم، سردرد، احتقان بینی، آلرژی، تقویت سیستم ایمنی، فشارخون، مشکلات گوارشی، روماتیسم و عفونت روده‌ای مورد استفاده قرار می‌گرفته است. گیاهان در طی دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند. هر یک از این تنش‌ها می‌توانند بسته به میزان حساسیت و مرحله رشد گونه گیاهی، اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها داشته باشند. تنش خشکی یکی از عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. مدیریت مصرف عناصر غذایی نیز از جمله عواملی است که در کنار مدیریت مصرف آب عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فسفر نیز یک ماده مغذی ضروری برای رشد گیاه است. به رشد ریشه، بلوغ گیاه و رشد بذر کمک می‌کند. فسفر در کنار نیتروژن و پتاسیم یکی از مهمترین عناصر حیات گیاهی است. بنابراین، کشاورزی مدرن متکی به استفاده از کودهای مبتنی بر فسفر است. از طرفی، تعیین تراکم مناسب گیاهی مستلزم آگاهی کامل از ویژگی‌های گیاه و ارتباط آن با عوامل محیطی می‌باشد. این تراکم، باید فضای کافی را برای عملیات داشت و برداشت فراهم کند. همچنین، انتخاب تراکم بوته مناسب به عواملی مانند حجم گیاه، قدرت ترمیم، فضا، رقابت علف‌های هرز، فاصله ردیف‌های کاشت، هدف تولید، شرایط خاک و ظرفیت تولیدی محیط بستگی دارد. به همین دلیل، این مطالعه به منظور بررسی اثر رژیم آبیاری، فاصله ردیف کاشت و کود فسفره بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی شرکت زیباندیشان اصفهان اجرا شد. سه سطح رژیم آبیاری (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی، سه سطح کود فسفر (۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) و سه سطح فاصله ردیف کاشت (۲۰، ۳۰ و ٤۰ سانتی‌متر) به صورت فاکتوریل به‌عنوان فاکتورهای

فرعی مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول (۱۱۵ عدد)، وزن هزاردانه (۲ گرم) و عملکرد دانـه در بوته (۱۹/۲ گرم بر گیاه) از رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلـوگرم در هکتـار و فاصـله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر و به ترتیب ۱۱/۸۷ درصد، ۱۷/٦٤ درصد و ٦٦/۰۸ درصد افزایش را نسبت به شاهد نشان دادند. کم‌ترین آن‌ها نیز مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر بود. بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته (۹۲/۹ عدد) از رژیـم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر، فسفر ۷۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر و نسبت به شاهد ٤٥/۹۳ درصد افزایش را نشان داد. کم‌ترین آن نیز از رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. بیش‌ترین عملکـرد دانـه (۵۹۰۷ کیلـوگرم در هکتار) و بیولوژیک (۸٦۵۰ کیلوگرم در هکتار) از رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر و نسبت به شـاهد بـه ترتیـب ۱۱۵/٦ و ۹۷/۸۰ درصد افزایش را نشان دادند. کم‌ترین آن‌ها از رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصـله ردیف کاشت ۲۰ و ٤۰ سانتی‌متر به‌دست آمد. بیش‌ترین شـاخص برداشـت (٦۹/۹ درصـد) از رژیم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ٤۰ سانتی‌متر و نسبت به شـاهد ۹/۳۸ درصد افزایش را نشان داد. کم‌تـرین آن نیـز از رژیـم آبیـاری ۱۵۰ میلـی‌متـر، فسـفر ۷۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ٤۰ سانتی‌متر حاصل شد. با توجه به نتـایج به‌دسـت آمده مناسب‌ترین فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به‌دست آمده در این آزمایش می‌توان بیان کرد که اگرچه با افـزایش فاصله ردیف و کاهش تراکم، سهم هر بوته از آب، موادغذایی و نور افزایش می‌یابد و این امـر سبب افزایش تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در بوته می‌شود ولی با توجـه به اینکه در زراعت عملکرد دانه به عنوان مهم‌ترین شاخص ارزیابی مـی‌باشـد و حـداکثر ایـن صفت در تیمار رژیم آبیـاری ۵۰ میلـی‌متـر، فسـفر ۱۵۰ کیلـوگرم در هکتـار و فاصـله ردیـف کاشت۲۰ سانتی‌متر بود لذا در شرایط مشابه این تیمار توصیه می‌گردد.

استناد: بدل‌زاده، ا.، رفیعی الحسینی، م. (۱٤۰۲). اثر رژیم آبیاری، فاصله ردیف کاشت و کود فسفره بر عملکرد و اجزای عملکرد سیاه‌دانه. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱٦ (۱)، ٦۰-٤۳.

DOI: 10.22069/ejcp.2023.19778.2479

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده آلاله گیاهی علفی یک‌ساله با ساقه‌های ایستاده به ارتفاع ٦٠ تا ٧٠ سانتی‌متر است. گل‌هایی مایل به آبی با پرچم‌های متعدد، برگ‌ها دارای بریدگی‌های نخی، کاسبرگ‌هایی به رنگ گلبرگ و میوه به‌صورت کپسول است که درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر قرار دارد. این گیاه در درمان افسردگی، بیماری-های دیابت، نارسایی کلیه، بیماری‌های معده، سردرد و دندان درد نقش داشته و دارای اثرات آنتی‌بیوتیکی و تحریک پاسخ ایمنی، ضدانگل، ضدمیکروب، ضدکرم و ضدسرطان می‌باشد (١).

آب یکی از عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای در رشد و نمو و میزان مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد. گیاهان در طی دوران رشد خود با تنش‌های متعدد محیطی مواجه می‌شوند. هر یک از این تنش‌ها می‌توانند بسته به میزان حساسیت و مرحله رشد گونه گیاهی، اثرات متفاوتی بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها داشته باشند. خشکی از مهمترین عوامل محیطی کاهش رشد و عملکرد بسیاری از گیاهان زراعی، باغی و دارویی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا است. تنش خشکی موجب خسارت به غشای سلولی و سیستم فتوسنتزی می‌شود (٢). همچنین، رشد ریشه‌ها و ساقه را تحت تأثیر قرار می-دهد و ممکن است موجب کاهش در سطح برگ گیاهان شود. از طرفی، در طی بروز تنش خشکی گیاهان با ذخیره مواد تنظیم‌کننده اسمزی همانند اسیدهای آمینه، قندها، برخی از یون‌های معدنی، هورمون‌ها و پروتئین‌ها سعی در مقابله با تنش دارند. در این میان پرولین یکی از مهم‌ترین تنظیم‌کننده‌های اسمزی به‌شمار می‌رود که سبب تنظیم فشار اسمزی و کاهش از دست دادن آب از سلول و نگهداری آماس می‌شود (٣). پژوهش‌های متعددی حاکی از کاهش رشد، عملکرد و مرگ گیاه در نتیجه شرایط نامساعد آبی یا تنش آبی وجود دارد. تأثیر تنش بر عملکرد و خصوصیات زراعی سیاه‌دانه طی مطالعاتی بررسی و نشان داده شد که تنش به طور معنی‌داری روی ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه تأثیر دارد و تمامی صفات فوق در تیمارهای آبیاری بالاتر از بدون آبیاری هستند (٤). همچنین، تنش خشکی روی گیاه دارویی سیاه‌دانه سبب کاهش در تعداد شاخه‌های فرعی شده است (٥).

به‌طور مسلم افزایش عملکرد در واحد سطح هدف اصلی اغلب پژوهش‌ها می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های اقلیمی یک منطقه و واریته به کار رفته، تعیین تراکم مناسب گیاه از جمله راه‌های دست‌یابی به این هدف می‌باشد. در واقع، تراکم و آرایش کاشت بوته در واحد سطح بر توزیع تشعشع در پوشش گیاهی تأثیر گذاشته و چنانچه پوشش مزرعه بتواند حداکثر تشعشع ورودی را جذب نماید عملکرد افزایش خواهد یافت. به همین دلیل جهت رسیدن به عملکرد مطلوب علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک و استفاده از ارقام اصلاح شده، تأمین رطوبت کافی از طریق آبیاری و تنظیم تراکم گیاهی در واحد سطح لازم می‌باشد (٦). محققان به این نتیجه رسیدند که فاصله ردیف بیش از ٣٥ سانتی‌متر باعث افزایش قدرت رقابت علف‌های هرز با گلرنگ شده و در نتیجه شاخه‌دهی کاهش می‌یابد (٧). در آزمایشی دیگر اثر تراکم و تنش آبی را بر عملکرد و اجزای آن در زیره سبز بررسی و نشان داد که تنش بیشتر باعث کاهش عملکرد می‌گردد. همچنین، بیان داشتند که با افزایش تراکم در واحد سطح، کارایی مصرف آب نیز افزایش می‌یابد که می‌تواند به علت پوشش بیش‌تر و سایه‌اندازی و تبخیر آب کم‌تر از سطح زمین باشد. تراکم بوته در واحد سطح نیز از طریق کاهش میزان

تبخیر و افزایش سهم تعرق که منجر به تولید عملکرد بالا می‌شود، بر روی کارایی مصرف آب مؤثر است (۸). در آزمایشی تأثیر تراکم بوته بر روی سیاه‌دانه بررسی و مشاهده شد که تراکم بوته از جمله عوامل زراعی مهم و تأثیرگذار بر میزان عملکرد کمی و کیفی می‌باشد و در گیاهان یک‌ساله دلیل اصلی کاهش عملکرد، رشد رویشی ضعیف و در نتیجه سطح برگ کم در ابتدای فصل رشد است. در این حالت بیش‌تر تشعشع خورشیدی توسط زمین جذب شده و غیرقابل استفاده باقی می‌ماند. بنابراین، در چنین شرایطی افزایش تراکم گیاه در واحد سطح می‌تواند به جذب بیش‌تر تشعشع خورشیدی به خصوص در مراحل اولیه رشد کمک نماید (۹).

فسفر یکی از عناصر غذایی محدودکننده است و از آنجا که فقدان فسفر قابل جذب در خاک رشد گیاهان را محدود می‌کند از این عنصر به‌عنوان کلید اصلی کشاورزی نام برده شده است (۱۰). فسفر از عناصری است که در اوایل رشد گیاه بیش‌تر جذب می‌شود. در واقع در گیاه به راحتی انتقال می‌یابد و در صورت کمبود فسفر، انتقال فسفر از برگ‌های مسن به نفع برگ‌های جوان انجام می‌شود و در هنگام تولیدمثل به میوه و دانه انتقال می‌یابد (۱۱). از طرفی، در اراضی دیم فسفر اهمیت زیادی در توسعه ریشه گیاه و در نتیجه تولید محصول سیاه‌دانه دارد، بنابراین کمبود آن ممکن است از جمله مشکلات مهم در راستای تولید سیاه‌دانه در شرایط کمبود آب باشد (۱۲). همچنین، فسفر بر مکانیسم رشد زایشی و عملکرد سیاه‌دانه تأثیر مستقیم دارد اما به دلیل آهکی بودن خاک در بیش‌تر مناطق خشک و نیمه خشک کشور حلالیت فسفر خاک بسیار پایین است (۱۲). سایر بررسی‌ها نشان داده است که در چنین شرایطی کاربرد کود بیولوژیک فسفره که حاوی باکتری‌های مفید حل‌کننده فسفات است با اسیدی کردن ریزوسفر ریشه و ترشح آنزیم‌های فسفاتاز باعث رهاسازی یون فسفات از ترکیبات غیرمحلول فسفردار موجود در اطراف ریشه می‌شود و فسفر مورد نیاز گیاه را از این شیوه به میزان قابل توجهی تأمین می‌کند (۱۳). تحقیقات تأثیر فسفر بر سایر گیاهان نیز بیانگر این بود که کودهای فسفره موجب افزایش تعداد گل، وزن خشک گل و میزان اسانس در گیاه دارویی آویشن می‌شود (۱٤). بنابراین، با توجه به نتایج تحقیقات قبلی، این آزمایش به منظور بررسی واکنش گیاه دارویی سیاه‌دانه تحت تأثیر رژیم آبیاری، فاصله ردیف کاشت و کود فسفره در شرایط آب و هوایی اصفهان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹٦ در مزرعه تحقیقاتی شرکت زیبااندیشان اصفهان اجرا شد. در این آزمایش سه سطح رژیم آبیاری شامل (۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر آب از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان فاکتور اصلی و سه سطح کود فسفر (۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل) و سه سطح فاصله ردیف کاشت (۲۰ سانتی‌متر (۳۳/۳ بوته در مترمربع)، ۳۰ سانتی‌متر (۲۲/۲ بوته در مترمربع) و ٤۰ سانتی‌متر (۱٦/۷ بوته در مترمربع)) به صورت فاکتوریل به‌عنوان فاکتورهای فرعی مورد بررسی قرار گرفت. طول و عرض هر کرت به ترتیب ۲۷ و ۳ متر بود. در بین هر دو کرت اصلی در طول زمین آزمایش، جوی‌های آبیاری ایجاد و در عرض بین کرت‌های اصلی پشته‌هایی به عرض یک متر به منظور جلوگیری از تداخل نتایج در فاصله بین دو کرت تعبیه گردید. در این آزمایش فواصل بوته‌های روی ردیف ثابت و معادل ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. زمان آبیاری برای تیمارهای مختلف

براساس تبخیر از تشتک کلاس A تعیین شد. نیاز آبی به کمک روش FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ تعیین و سپس با در نظر گرفتن راندمان ۸۰ درصد برای پخش آب در مزرعه آبیاری انجام شد. در این روش برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه، ابتدا تبخیر از تشتک روزانه از اداره هواشناسی اخذ و سپس در ضریب تشتک ضرب شد. حاصل‌ضرب این دو مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع بود.

رابطه ۱: $ET_0=K_{pan}\times E_p$

E_p، K_{pan} و ET_0 به ترتیب تبخیر از تشتک، ضریب تشتک (۰/٦٦) و تبخیر و تعرق گیاه مرجع بود. سپس با اعمال ضریب گیاهی (K_c) در تبخیر و تعرق گیاه مرجع پتانسیل نیاز آبی گیاه تعیین گردید (۱۵).

رابطه ۲: $ET_c=K_c\times ET_0$

مقدار K_c نیز با توجه به مرحله رشد گیاه تعیین شد (۱٦). برای جلوگیری از نشت آب بین کرت‌های اصلی و کرت‌های فرعی به ترتیب دو و یک متر فاصله در نظر گرفته شد. آبیاری به روش غرقابی انجام و هنگامی که ۱۰ درصد گل‌ها در مزرعه ظاهر شد، رژیم‌های آبیاری اعمال گردید. علت در نظر گرفتن این زمان حداکثر استفاده گیاه در طول دوره رشد ابتدایی بود. لذا تنش زمانی اعمال شد که بارندگی وجود نداشت و نیاز آبی گیاه در حال افزایش بود. برای هر یک از تیمارها از زمان کاشت تا برداشت با توجه به میزان تبخیر و تعرق و تشتک روزانه، حدوداً ۱۵ نوبت آبیاری صورت گرفت. همچنین، با توجه به اینکه در اولین روز کاشت گونه‌ها پوششی وجود نداشت، طبیعی است که مقدار تبخیر و تعرق برآورد شده در روز اول مربوط به تبخیر از سطح خاک می‌باشد و تعرق در آن صفر است. میانگین ضریب گیاهی منفرد مرحله رشد ابتدایی، میانی و پایانی در طول دوره آزمایش به مدت ۱۲٤ روز به ترتیب ۰/۵۸، ۱/۲۷ و ۰/۷۵ بود. براساس نتایج، کل آب مصرفی گیاه در طول یک دوره کامل رشد در تکرارهای مختلف معادل ٥۳٤/٤٦، ٥۳۰/٤ و ٥۲٥/۱ میلی‌متر برآورد گردید. مقدار آب مصرفی در تیمارهای ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌متر به ترتیب ۲۸۹/۲، ۱۰۰ میلی‌متر ۱٤٤/٦ و ۱۵۰ میلی‌متر ۹٦/٤ بود. در مجموع کل آب مصرفی گیاه به‌طور میانگین در طول یک دوره کامل رشد معادل ۵۳۰ میلی‌متر برآورد گردید. عملیات آماده سازی زمین به‌صورت شخم پاییزه با گاوآهن برگردان‌دار و دو نوبت شخم عمود بر هم بود. پس از آماده‌سازی زمین و قبل از کاشت، کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اعمال گردید. نیاز کودی این گیاه ٦۰ کیلوگرم اوره و ۳۰ کیلوگرم فسفات در هکتار می‌باشد (۱۷).

در تاریخ ۲۵ فروردین ماه کاشت انجام شد. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم مورد نظر، بذور به‌صورت متراکم و سه برابر مورد نیاز روی ردیف‌های کاشت در داخل شیارهایی با عمق ۱-۲ سانتی‌متر به روش دستی پاشیده و روی آن با ضخامت بسیار اندکی از خاک پوشانده شد. مراقبت‌های زراعی لازم در زمان داشت از جمله مبارزه با علف‌های هرز و آفات به موقع انجام گرفت. عملیات تنک به منظور تنظیم تراکم کاشت در اوایل رشد رویشی (چهار برگی) انجام پذیرفت به طوری‌که در هر نقطه کاشت، فقط یک گیاه وجود داشت. پس از استقرار گیاه نیز تنش‌ها اعمال گردید. اولین نمونه‌برداری ۷ تیرماه و برداشت گیاه ۲۵ شهریور ماه با زرد شدن بوته‌ها، برگ‌ها و قهوه‌ای شدن فولیکول‌ها انجام شد. در هنگام برداشت در زمان رسیدگی کامل کپسول، در هر کرت چهار گیاه به‌صورت تصادفی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای انتخاب شدند و تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه،

نسبت وزن دانه به کپسول، عملکرد دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت مورد بررسی قرار گرفتند. جهت اندازه‌گیری تعداد دانه در کپسول از هر بوته تعداد ۱۰ کپسول با دست چیده و سپس تعداد دانه‌های آن‌ها را شمارش و بر تعداد ۱۰ کپسول تقسیم شد. وزن هزاردانه بدین گونه بود که تعداد هزار بذر را شمارش نموده و با ترازوی دقیق ۰/۱ گرم توزین گردید. جهت اندازه‌گیری عملکرد دانه در هر بوته (۱۰ بوته در هر کرت) نیز تعداد دانه‌های موجود در کل کپسول‌های هر بوته جدا و با ترازوی دقیق ۰/۱ گرم توزین گردید (۱۸).

به منظور اندازه‌گیری نسبت وزن دانه به کپسول نیز از هر بوته تعداد ۱۰ کپسول با دست چیده، وزن و حاصل بر تعداد آن تقسیم شد، سپس دانه‌های آن‌ها نیز از کپسول جدا شده، وزن گردید و حاصل آن بر تعداد کپسول‌ها تقسیم و در نهایت حاصل تقسیم وزن دانه به کپسول محاسبه شد. جهت محاسبه عملکرد بیولوژیک نیز تعداد ۱۰ بوته از هر کرت را با دست چیده، در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک نموده و بعد از ٤٨ ساعت توزین شدند. متوسط ۱۰ بوته به‌عنوان عملکرد بیولوژیک در نظر گرفته شد. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد (۱۹). سپس داده‌پردازی در محیط Excel انجام و محاسبات آماری شامل تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS ver 9.4 و تعیین حروف معنی‌داری مقایسه میانگین‌ها (به‌صورت کلی و برش‌دهی) با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C ver 13 براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت بر تمامی صفات مورد مطالعه به جز نسبت وزن دانه به کپسول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جداول ۱ و ۲).

تعداد کپسول در بوته: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین تعداد کپسول در بوته متعلق به رژیم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر، فسفر ۷۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر (۹۲/۹ عدد) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر (٤٦ عدد) بود (جدول ۳). با توجه به اینکه در تیمار ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر گیاه تحت تأثیر تنش، محدودیت غذایی و تراکم بالا بوده است لذا رقابت بین گیاهان بیش‌تر و تعداد کپسول در هر بوته نیز افزایش یافته است. دلیل این امر ممکن است بیش‌تر به کاهش تعداد کپسول در شاخه‌های فرعی مربوط شود زیرا در تراکم‌های بالا به علت رقابت بین بوته‌های مجاور، گیاه تعداد کم‌تری شاخه فرعی تولید می‌کند، در صورتی که در تراکم‌های پایین گیاه فضای کافی در اختیار دارد و تعداد شاخه‌های فرعی را افزایش می‌دهد. در نتیجه تعداد کپسول بر روی شاخه‌های فرعی نیز افزایش پیدا می‌کند و در نهایت تعداد کپسول در بوته افزایش می‌یابد، البته بایستی توجه نمود در صورتی که تراکم زیاد باشد در مراحل اولیه ممکن است تعداد شاخه‌های جانبی افزایش یافته، لذا تعداد جوانه‌های تشکیل کپسول زیاد شده و در نتیجه گیاه در مراحل پایانی ذخیره غذایی مناسب برای حداکثر تولید را نداشته و عملکرد کاهش می‌یابد. در این آزمایش به دلیل کمبود موادغذایی در تراکم‌های بالا احتمالاً تعداد زیادی از جوانه‌های زایشی تولیدکننده کپسول از بین رفته و این دلیل کاهش تعداد کپسول در تراکم‌های بالا می‌باشد (۲۰).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه و نسبت وزن دانه به کپسول در سیاه‌دانه.

Table 1- Results of variance analysis of the effect of evaluated treatments on no. capsules per plant, no. seed per capsules, 1000- seed weight and seed weight/ capsule weight of *Nigella sativa* L.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)			
		تعداد کپسول در بوته No. capsules per plant	تعداد دانه در کپسول No. seeds per capsule	وزن هزاردانه 1000- seed weight	نسبت وزن دانه به کپسول Seed weight/ capsule weight
تکرار Replication	2	31.49 ns	129.31 ns	0.01 ns	0.0009 ns
رژیم آبیاری Irrigation regimes	2	11803.48**	3517.36**	1.50**	0.036**
خطا Error	4	19.85	93	0.03	0.0013
فسفر Phosphorous	2	5313.50**	2186.11*	0.83**	0.0337**
فسفر × رژیم آبیاری Phosphorous× Irrigation regimes	4	114.73*	121.12**	0.02**	0.004**
فاصله ردیف کاشت Row spacing	2	2020.46**	264.32**	0.27**	0.0111**
رژیم آبیاری × فاصله ردیف کاشت Irrigation regimes ×Row spacing	4	429.86**	380.67**	0.09**	0.0032*
فسفر × فاصله ردیف کاشت Phosphorous ×Row spacing	4	518.87**	123.40*	0.04**	0.0005 ns
رژیم آبیاری×فسفر× فاصله ردیف کاشت Irrigation regimes ×Phosphorous× Row spacing	8	150.71**	61.34**	0.02**	0.0017 ns
خطا Error	48	32.07	38.48	0.006	0.0009
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	7.66	5.95	4.57	4.56

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, *,**: shows non-significant, significant at 5 and 1 percent level of probability, respectively.

تعداد دانه در کپسول: مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در کپسول متعلق به رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر (۱۱۵ عدد) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر (۸۷ عدد) بود (جدول ۳). با توجه به اینکه گیاه سیاه‌دانه به شدت تحت تأثیر تنش می‌باشد، لذا بایستی در هنگام کاشت و داشت این گیاه به مسئله آبیاری آن توجه کافی مبذول داشت. در واقع دلیل کاهش تعداد دانه در غلاف را می‌توان کاهش باروری و لقاح در اثر تنش خشکی دانست. همچنین، افزایش تعداد دانه در تنش خشکی احتمالاً به تعداد کپسول بیش‌تر، بزرگ‌تر و رشد بهتر بوته‌ها مربوط می‌باشد. با توجه به این مطلب که تعداد دانه در کپسول در حقیقت ظرفیت مخزن را تعیین می‌کند، لذا هر چه تعداد دانه بیش‌تر باشد، گیاه دارای مخزن بزرگ‌تر و بیش‌تری برای دریافت مواد فتوسنتزی تولید شده است و افزایش این صفت منجر به افزایش عملکرد خواهد شد. در بسیاری از گیاهان زراعی، وقوع تنش آبی به‌ویژه در زمان گلدهی موجب کاهش تعداد

گل‌های بارور، سقط جنین و به دنبال آن کاهش تعداد دانه و در نتیجه سبب کاهش عملکرد به میزان زیادی می‌گردد که به نظر می‌رسد این عوامل نیز در کاهش برخی اجزای عملکرد سیاه‌دانه بی‌تأثیر نبوده است (۲۱).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سیاه‌دانه.

Table 2- Results of variance analysis of the effect of evaluated treatments on seed yield per plant, seed yield, biological yield and harvest index of *Nigella sativa* L.

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)			
		عملکرد دانه در بوته Seed yield per plant	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار Replication	2	0.23 ns	86.98 ns	1.81 ns	0.0001 ns
رژیم آبیاری Irrigation regimes	2	270.58**	151272.23**	1197.94**	0.157**
خطا Error	4	0.37	231.23	1.18	0.0006
فسفر Phosphorous	2	24.44**	13074.85**	490.90**	0.0011 ns
فسفر × رژیم آبیاری Phosphorous× Irrigation regimes	4	0.93*	664.63**	31.23**	0.0033**
فاصله ردیف کاشت Row spacing	2	17.26**	26092.56**	576.16**	0.0007 ns
رژیم آبیاری × فاصله ردیف کاشت Irrigation regimes ×Row spacing	4	2.09**	4786.61**	10.76*	0.0007 ns
فسفر × فاصله ردیف کاشت Phosphorous ×Row spacing	4	2.51**	1300.42**	54.24**	0.0026**
رژیم آبیاری×فسفر× فاصله ردیف کاشت Irrigation regimes ×Phosphorous× Row spacing	8	1.52**	938.88**	11.22**	0.0024**
خطا Error	48	0.27	148.47	3.39	0.0004
ضریب تغییرات (درصد) CV (%)	-	9.12	9.14	6.39	10.99

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

ns, *,**: shows non-significant, significant at 5 and 1 percent level of probability, respectively.

وزن هزاردانه: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین مقدار وزن هزاردانه متعلق به رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۴۰ سانتی‌متر (۲ گرم) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر (۱/٤ گرم) بود (جدول ۳). کاهش وزن هزاردانه در اثر افزایش تنش کمبود آب، عمدتاً به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه است. احتمالاً کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد زایشی سبب انتقال کم‌تر مواد فتوسنتزی ذخیره‌ای به دانه‌ها می‌گردد و وزن هزاردانه کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، مشخص شده که ساقه به‌عنوان منبع ذخیره کربوهیدرات‌های غیرساختمانی متحرک جهت

انتقال به دانه پس از گلدهی، به شمار می‌آید. بروز تنش خشکی به ویژه در دوره رشد رویشی از طریق کاهش سطح برگ و کاهش فتوسنتز، میزان کربوهیدرات‌های غیرساختمانی ذخیره شده در ساقه را کاهش می‌دهد و در نتیجه به علت فقدان موادغذایی ذخیره شده در منابع ثانویه وزن دانه کاهش می‌یابد (۲۲). از طرفی، کاهش نسبت وزن دانه به کپسول در اثر تنش نیز می‌تواند به دلیل کاهش مشاهده شده در وزن دانه در شرایط تنش رطوبتی باشد. وقوع تنش در هنگام پر شدن دانه‌ها بیش‌ترین تأثیر را بر وزن دانه دارد. همچنین، بیان شده که تنش رطوبتی در طول دوره رسیدگی دانه معمولاً سبب کوچک شدن و چروکیدگی دانه‌ها خواهد شد. در واقع به نظر می‌رسد که تنش کمبود آب در مرحله دانه‌بندی سبب سقط جنین در بعضی از کپسول‌ها شده که در نتیجه باعث ریزش آن‌ها و کاهش وزن دانه در بوته شده است. همچنین، گزارش نمودند که افزایش فاصله بین ردیف‌ها به طور مناسب، فضای تغذیه‌ای هر یک از بوته‌ها را افزایش داده و سهم دانه‌ها از مواد فتوسنتزی در این شرایط افزایش می‌یابد. این موضوع منجر به افزایش معنی‌دار در وزن هزاردانه می‌شود. از طرفی به نظر می‌رسد که با کاهش رقابت بین بوته‌ای امکانات محیطی از قبیل فضا، آب و موادغذایی به مقدار بیش‌تری در اختیار هر گیاه قرار گرفته، لذا با افزایش وزن دانه در هر بوته وزن هزاردانه نیز افزایش پیدا کرده است (۲۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین (به‌صورت کلی و برش‌دهی) اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه در سیاه‌دانه.

Table 3- Mean comparison (overall and slice method) of the interactions effect of evaluated treatments on no. capsules per plant, no. seeds per capsule and 1000- seed weight of *Nigella sativa* L.

رژیم آبیاری (میلی‌متر) Irrigation regimes (mm)	فسفر (سوپر فسفات تریپل) (کیلوگرم در هکتار) Phosphorous (TSP) (Kg ha^{-1})	فاصله ردیف کاشت (سانتی‌متر) Row spacing (cm)	تعداد کپسول در بوته No. capsules per plant	تعداد دانه در کپسول No. seeds per capsule	وزن هزاردانه (گرم) 1000- seed weight (g)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	Control شاهد	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	59.4 j-l (d)	102.1 c-g (d)	1.6 e-g (d)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	69.3 g-i (bc)	103.4 b-f (c)	1.7 c-e (cd)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	62.3 i-k (cd)	102.8 b-g (d)	1.8 bc (bc)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	66 h-j (bcd)	108.1 a-d (a)	1.8 cd (c)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	73.5 d-h (ab)	108.1 a-d (a)	1.9 ab (a)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	68 h-j (bcd)	106 a-e (ab)	2 a (a)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	80.8 b-e (a)	111.4 a-c (a)	1.9 ab (a)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	82.5 b-d (a)	115 a (a)	2 a (a)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	69.5 f-i (bc)	110.5 a-c (a)	2 a (a)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	Control شاهد	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	71.9 e-h (cde)	98.6 d-h (a)	1.4 h-j (e)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	89.3 ab (a)	106.2 a-e (bc)	1.5 g-i (de)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	80.6 b-e (bc)	104.8 a-e (bc)	1.6 e-g (cd)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	77.9 c-g (bcd)	106.6 a-e (bc)	1.5 g-i (de)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	92.9 a (a)	112 ab (b)	1.7 d-f (bc)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	85.9 a-c (ab)	110 a-c (bc)	1.7 c-e (ab)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	70.8 f-i (de)	99.6 d-h (a)	1.7 c-e (ab)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	78.8 c-f (bcd)	103.9 b-f (d)	1.8 cd (ab)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	66.9 h-j (e)	103.6 b-f (d)	1.8 bc (a)

		20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	46 n (e)	87.6 i (c)	1.4 ij (de)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	Control شاهد	30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	62 i-l (bc)	89.6 hi (bc)	1.4 j (e)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	50.1 mn (de)	93.2 g-i (bc)	1.5 g-i (cd)
		20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	53 l-n (cde)	93.2 g-i (bc)	1.5 g-i (cd)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	66.8 h-j (b)	94.6 f-i (abc)	1.6 f-h (b)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	56.5 k-m (cd)	96.7 e-i (abc)	1.6 e-g (bc)
		20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	70.8 e-i (ab)	99.6 d-h (ab)	1.7 d-f (ab)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	78.8 c-f (a)	103.9 b-f (a)	1.6 e-g (bc)
		40 cm (۴۰ سانتی‌متر)	66.9 h-j (b)	103.6 b-f (a)	1.7 c-e (a)

حروف مشترک (در هر ستون برای مقایسه میانگین کلی و در هر ستون و هر رژیم آبیاری برای مقایسه میانگین به روش برش‌دهی) نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

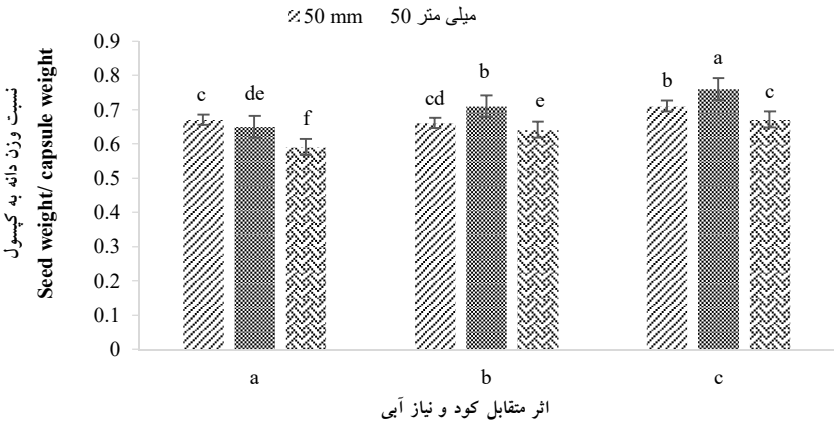
حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

Same letters (in each column for overall mean comparison and in each column and each irrigation regime for mean comparison of slice method) represent no significant difference at 5% probability level based on LSD test.

Letters outside the parentheses show mean comparison of the overall interactions effect and letters inside the parentheses show the mean comparison of slice method.

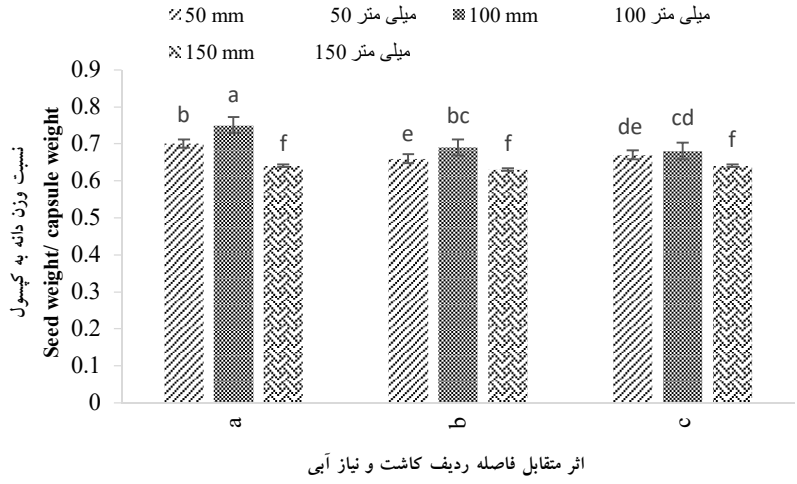
نسبت وزن دانه به کپسول: مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و کود فسفر نشان داد که بیش‌ترین نسبت وزن دانه به کپسول متعلق به رژیم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفر (۰/۷۶) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر و کود شاهد (۰/۵۹) بود (شکل ۱). کاهش نسبت وزن دانه به کپسول در اثر تنش می‌تواند به دلیل کاهش مشاهده شده در وزن دانه در شرایط تنش رطوبتی باشد. وقوع تنش در هنگام پر شدن دانه‌ها بیش‌ترین تأثیر را بر وزن دانه دارد. همچنین، بیان شده که تنش رطوبتی در طول دوره رسیدگی دانه معمولاً سبب کوچک شدن و چروکیدگی دانه‌ها خواهد شد. در واقع به نظر می‌رسد که تنش کمبود آب در مرحله دانه‌بندی سبب سقط جنین در بعضی از کپسول‌ها شده که در نتیجه باعث ریزش آن‌ها و کاهش وزن دانه در بوته شده است.

مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین نسبت وزن دانه به کپسول متعلق به رژیم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر (۰/۷۵) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر و در هر سه فاصله ردیف کاشت (۰/۶) مشاهده شد (شکل ۲). علت این است که در فواصل بسیار زیاد (کم‌ترین تراکم) رقابت بین گیاهان در مراحل اولیه رشد وجود ندارد و لذا تعداد زیادی سلول مولد گل به وجود می‌آید. هر چه رشد ادامه می‌یابد رقابت کمی بین گیاهان مجاور و حتی درون گیاهان تا زمان گلدهی و تشکیل دانه به وجود می‌آید. پس از این مرحله سنبله‌ها و دانه‌های زیاد، سبب رقابت جهت دریافت مواد فتوسنتزی در گل‌آذین و بذر می‌گردد. این کاهش کارایی در تراکم کم بیانگر رقابت بیش‌تر در درون گیاهان می‌باشد. نتیجه این امر تشکیل بذرهای کم‌تر و کوچک‌تر در مقایسه با پوشش متراکم‌تر خواهد بود.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و کود فسفر بر نسبت وزن دانه به کپسول سیاه‌دانه. (a: شاهد، b: ۷۵ کیلوگرم در هکتار و c: ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار). میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Figure 1- Mean comparison of the interaction effect of irrigation regimes and phosphorous fertilizer on seed weight/ capsule weight of *Nigella sativa* L. (a: Control, b: 75 kg h^{-1} and c: 150 kg h^{-1}). Means having the same letter have no statistically significant difference at 5% level based on LSD test.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و فاصله ردیف کاشت بر نسبت وزن دانه به کپسول سیاه‌دانه. (a: ۲۰ سانتی‌متر فاصله ردیف کاشت، b: ۳۰ سانتی‌متر فاصله ردیف کاشت و c: ٤٠ سانتی‌متر فاصله ردیف کاشت). میانگین‌های دارای حروف مشابه براساس آزمون LSD فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند.

Figure 2- Mean comparison of the interaction effect of irrigation regimes and row spacing on seed weight/ capsule weight of *Nigella sativa* L. (a: 20 cm Row spacing, b: 30 cm Row spacing and c: 40 cm Row spacing). Means having the same letter have no statistically significant difference at 5% level based on LSD test.

عملکرد دانه در بوته و عملکرد دانه: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در بوته (۱۹/۲ گرم در گیاه) و عملکرد دانه (۵۹۰۷ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب متعلق به رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۳۰ سانتی‌متر و رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر و کم‌ترین آن‌ها مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۲۰ و ٤٠ سانتی‌متر (به ترتیب ۵/۹ گرم در گیاه و ۱۲۱۸ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ٤). علت این

است که با کاهش فاصله ردیف و در نتیجه افزایش تراکم، سهم هر بوته از آب، موادغذایی و نور کاهش می‌یابد این امر سبب کاهش تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه می‌شود در نتیجه عملکرد دانه که تحت تأثیر اجزای عملکرد قرار دارد کاهش می‌یابد. مطالعات دیگر نشان داد که افزایش تراکم منجر به کاهش جذب نور در تک بوته می‌شود اما میزان کل جذب نور به وسیله جمعیت گیاهی افزایش می‌یابد. افزایش عملکرد دانه در واحد سطح، با کاهش فاصله بین ردیف‌ها، به دلیل افزایش تعداد دانه در غلاف، وزن خشک غلاف و عملکرد بیولوژیکی در واحد سطح می‌باشد. در واقع به نظر می‌رسد، کاهش فاصله بوته‌ها و در نتیجه افزایش بوته در واحد سطح باعث کاهش عملکرد در واحد تک بوته می‌شود، اما افزایش تعداد بوته در واحد سطح، کاهش عملکرد تک بوته را جبران نموده و افزایش عملکرد دانه در واحد سطح را به همراه دارد. با افزایش تراکم در اثر کاهش فاصله روی و بین ردیف‌های کاشت توزیع نهاده‌های محیطی نظیر نور، موادغذایی و رطوبت بین بوته‌ها به شکل مطلوب‌تری صورت گرفته و این عکس‌العمل منجر به افزایش عملکرد در واحد سطح می‌گردد. همچنین، محققین دلیل این امر را افزایش تعداد کپسول در واحد سطح همراه با افزایش تراکم عنوان کردند. کاهش عملکرد در واحد سطح در تراکم‌های کم‌تر به دلیل کم‌تر بودن شاخص سطح برگ، LAD (دوام سطح برگ) و سرعت رشد محصول می‌باشد (۲۴). سایر بررسی‌ها نیز نشان داده است که استفاده از کود فسفر باعث افزایش سرعت و دوام فتوسنتز شده و راندمان انتقال مواد به دانه را افزایش می‌دهد در نتیجه تجمع ماده خشک نیز افزایش می‌یابد که این امر منجر به افزایش عملکرد دانه می‌گردد. از طرفی، کاهش عملکرد دانه در واحد سطح، کاهش اجزای عملکرد دانسته شده است. کاهش طول دوره زایشی و وزن هزاردانه، کاهش سطح فتوسنتزی از طریق کم شدن سطح برگ و کاهش فتوسنتز در واحد سطح برگ به دلیل افت محتوای رطوبت نسبی و پتانسیل آب برگ، منجر به کاهش عملکرد دانه در مترمربع می‌گردد (۲۵). همچنین، کاهش میزان کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید ماده خشک از اثرات قطعی افزایش تنش خشکی می‌باشد. زیرا وقتی گیاه با خشکی مواجه می‌شود، سطح برگ خود را کاهش می‌دهد و این رفتار سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و به دنبال آن سبب افت عملکرد می‌گردد. از طرفی، دیگر با کاهش میزان مواد فتوسنتزی ساخته شده، انتقال مواد به سمت دانه نیز کاهش می‌یابد که به دنبال آن کاهش عملکرد دانه در بوته رخ می‌دهد. کاهش این دو صفت در نهایت منجر به کاهش عملکرد اندام هوایی می‌گردد. همچنین، خشکی منجر به کاهش ارتفاع می‌شود. کاهش ارتفاع روی توسعه ساقه اثر گذاشته و میزان تجمع مواد را در این اندام به شدت کم می‌کند که خود می‌تواند عاملی در جهت کاهش عملکرد اندام هوایی محسوب گردد (۲۴).

عملکرد بیولوژیک: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین عملکرد بیولوژیک متعلق به رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر (۸۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۴۰ سانتی‌متر (۱۹۴۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). گیاه در هنگام تنش سطح برگ خود را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش تولید مواد فتوسنتزی و به تبع آن سبب کاهش عملکرد بیولوژیک می‌گردد. همچنین، کاهش تولید ماده خشک در گیاه را نتیجه کوتاه‌تر شدن طول دوره رویشی و زایشی در اثر تنش رطوبتی و کاهش سطح برگ در گیاه می‌باشد. از طرفی، خشکی باعث می‌شود تا جذب موادغذایی، انتقال یون‌ها و مواد متابولیکی کاهش یابد و

سوخت و ساز هیدرات‌های کربن و پروتئین زیادتر شود. این امر به دلیل افزایش رقابت بر سر منابع و به ویژه آب بین گیاهان در فواصل آبیاری بیش‌تر بوده و تراکم گیاهی بالاتر نیز این موضوع را تشدید می‌کند. همچنین، کاهش رقابت بوته‌ها هنگام افزایش فاصله روی ردیف‌ها منجر به افزایش فضای گیاه برای رشد و تجمع بیش‌تر ماده خشک در مترمربع می‌گردد، به طوری‌که عملکرد بیولوژیک در این شرایط افزایش می‌یابد. به طور کلی، هر عاملی که فتوسنتز را افزایش و تنفس را کاهش دهد می‌تواند عملکرد ماده خشک را افزایش دهد (۲۶).

جدول ٤- مقایسه میانگین (به صورت کلی و برش‌دهی) اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد دانه در بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سیاه‌دانه.

Table 4- Mean comparison (overall and slice method) of the interactions effect of evaluated treatments on seed yield per plant, seed yield, biological yield and harvest index of *Nigella sativa* L.

رژیم آبیاری (میلی‌متر) Irrigation regimes (mm)	فسفر (سوپر فسفات تریپل) (کیلوگرم در بر هکتار) Phosphorous (TSP) (Kg ha^{-1})	فاصله ردیف کاشت (سانتی‌متر) Row spacing (cm)	عملکرد دانه بر بوته (گرم بر گیاه) Seed yield per plant (g plant^{-1})	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Seed yield (kg ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم بر هکتار) Biological yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت (درصد) Harvest index (%)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	Control شاهد	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	10.2 n (g)	3416 h (e)	5916 h (d)	57.7 s (i)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	12.6 j-m (ef)	2814 k (f)	4314 r (f)	65.2 h (d)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	11.9 m (f)	1990 t (i)	2890 x (i)	68.8 c (a)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	13 ij (e)	4352 b (b)	6345 e (c)	68.5 d (b)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	15.6 de (c)	3478 g (d)	5352 m (e)	64.9 i (e)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	14.6 fg (d)	2428 o (h)	4169 t (h)	58.2 r (h)
50 mm ۵۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	17.7 b (b)	5907 a (a)	8650 a (a)	68.2 e (c)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	19.2 a (a)	4277 c (c)	6832 c (b)	62.6 k (f)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	16 cd (c)	2667 m (g)	4277 s (g)	62.3 m (g)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	Control شاهد	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	10.5 n (g)	3519 f (d)	5638 j (e)	62.41 (d)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	14.9 ef (c)	3327 i (e)	5890 i (d)	56.4 u (g)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	14 gh (d)	2328 p (h)	3327 w (i)	69.9 a (a)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	13 i-k (e)	4342 b (a)	6251 f (b)	69.4 b (b)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	18 b (a)	4007 e (c)	6546 d (a)	61.2 o (f)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	16.5 c (b)	27451 (g)	5221 n (g)	52.5 v (h)
100 mm ۱۰۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	12.4 j-m (f)	4159 d (b)	6234 g (c)	66.7 f (c)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	14.9 ef (c)	3307 ij (ef)	53581 (f)	61.7 n (e)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	12.8 i-l (ef)	2139 r (i)	4687 o (h)	45.6 z (i)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	Control شاهد	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	5.9 q (f)	1974 t (f)	3942 u (e)	50 y (h)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	8 p (e)	1778 u (g)	2675 y (g)	66.4 g (a)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	7.3 p (e)	1218 w (i)	1940 z (h)	62.7 j (b)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	75 kg/ha^{-1} ۷۵ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	7.8 p (e)	2604 n (c)	4520 p (c)	57.6 t (e)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	10.1 n (c)	2259 q (d)	4467 q (d)	50.5 x (g)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	9.2 o (d)	1533 v (h)	3652 v (f)	41.9 z (i)
150 mm ۱۵۰ میلی‌متر	150 kg/ha^{-1} ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار	20 cm (۲۰ سانتی‌متر)	12 lm (b)	4019 e (a)	6840 b (a)	58.7 q (d)
		30 cm (۳۰ سانتی‌متر)	13.6 hi (a)	3304 j (b)	5479 k (b)	60.3 p (c)
		40 cm (٤۰ سانتی‌متر)	12.2 k-m (b)	2025 s (e)	3940 u (e)	51.3 w (f)

حروف مشترک (در هر ستون برای مقایسه میانگین کلی و در هر ستون و هر رژیم آبیاری برای مقایسه میانگین به روش برش‌دهی) نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش‌دهی را نشان می‌دهد.

Same letters (in each column for overall mean comparison and in each column and each irrigation regime for mean comparison of slice method) represent no significant difference at 5% probability level based on LSD test.

Letters outside the parentheses show mean comparison of the overall interactions effect and letters inside the parentheses show the mean comparison of slice method.

شاخص برداشت: مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود فسفر و فاصله ردیف کاشت نشان داد که بیش‌ترین شاخص برداشت متعلق به رژیم آبیاری ۱۰۰ میلی‌متر، فسفر شاهد و فاصله ردیف کاشت ۴۰ سانتی‌متر (۶۹/۹ درصد) و کم‌ترین آن مربوط به رژیم آبیاری ۱۵۰ میلی‌متر، فسفر ۷۵ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۴۰ سانتی‌متر (۴۱/۹ درصد) بود (جدول ٤). در این مطالعه تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشت و با افزایش شدت تنش خشکی شاخص برداشت کاهش یافت. علت آن است که تنش خشکی عملکرد دانه را به میزان بیش‌تری نسبت به عملکرد ماده خشک کاهش داد. کمبود آب از جمله عوامل محدودکننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود (۲۷). نتایج این تحقیق با یافته‌هایی که گزارش دادند با کاهش آب مصرفی، ماده خشک تولیدی نقصان می‌یابد، ولی افت عملکرد دانه در پاسخ به کمبود آب بیش از کاهش عملکرد بیولوژیکی است، مطابقت دارد (۲٦). دیگر آزمایشات نیز دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را حساسیت بیش‌تر رشد زایشی در مقایسه با رشد رویشی نسبت به شرایط نامطلوب گزارش کردند (۲۷).

نتایج مطالعات یوسفی‌پور و همکاران نیز نشان داد که استفاده از کود فسفر سبب افزایش توسعه ریشه، جذب بهتر آب و موادغذایی، افزایش فتوسنتز، افزایش انتقال مواد فتوسنتزی و در نهایت افزایش شاخص برداشت خواهد شد (۲۸). همچنین، بیان کردند که با افزایش تراکم، شاخص برداشت به دلیل کاهش شدید توزیع آسیمیلات‌ها به دانه کاهش یافت. در واقع از آنجایی که بین اندام‌های رویشی و زایشی جهت دریافت مواد فتوسنتزی رقابت درون گیاهی وجود دارد با افزایش تراکم و افزایش رقابت میان گیاهان این رقابت داخلی نیز تشدید می‌شود و از این جهت که مخازن زایشی دیرتر از مخازن رویشی به وجود می‌آیند، معمولاً اثرات سوء ناشی از رقابت در درجه نخست بر مخازن زایشی (اقتصادی) اثر گذاشته و در شرایط رقابت شدید ممکن است موجب نازایی تعدادی از اندام‌های زایشی گردد. محققان گزارش نمودند که در تراکم‌های بالای بوته، اگرچه شاخص سطح برگ و عملکرد ماده خشک افزایش می‌یابد، اما به دلیل ایجاد رقابت بین گیاهان از مقدار شاخص برداشت کاسته می‌شود (۲۸). همچنین، نتایج این آزمایش نشان داد که با افزایش تراکم، سطح برگ افزایش می‌یابد که می‌توان آن را به دلیل رقابت گیاه برای دریافت نور بیش‌تر در تراکم‌های بالاتر عنوان کرد. زیرا با افزایش رقابت بین بوته‌ها و کاهش سهم هر بوته جهت استفاده از عناصر غذایی، نور و فضا، عملکرد اندام هوایی کاهش و در نتیجه شاخص برداشت نیز کاهش می‌یابد. گزارش‌های دیگری در خصوص کاهش شاخص برداشت در نتیجه افزایش تراکم بوته ارائه گردیده است که نتایج به‌دست آمده در این تحقیق را تأیید می‌نماید (۲۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج آزمایش نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه رژیم آبیاری، کود و فاصله ردیف کاشت بر تمام صفات مورد مطالعه به جز نسبت وزن دانه به کپسول معنی‌دار بود. مدیریت مصرف عناصر غذایی از جمله عواملی است که در کنار مدیریت مصرف آب و تراکم گیاه، عملکرد کمی و کیفی گیاهان زراعی و دارویی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فسفر باعث تسریع در رشد و رسیدن محصول شده و در مقدار محصول و پیش رس ساختن آن‌ها مؤثر می‌باشد. رژیم آبیاری مناسب

و همچنین، کاربرد تراکم مطلوب می‌تواند ضامن تولید حداکثری در محصولات زراعی گردد. از آنجایی که مهم‌ترین صفت در زراعت عملکرد دانه می‌باشد و در این آزمایش حداکثر آن در رژیم آبیاری ۵۰ میلی‌متر، فسفر ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و فاصله ردیف کاشت ۲۰ سانتی‌متر به‌دست آمد لذا در شرایط مشابه این تیمار توصیه می‌گردد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت‌های شرکت زیباندیشان جهت همکاری در اجرای این پروژه قدردانی می‌گردد.

References

1. Zeinali, H. and Hasanbarani, M. 2021. Evaluation of water stress and phosphorous fertilizer on yield and yield components in *Nigella sativa* L. Ir J Biol Sci. 15: 2. 1-7. (In Persian)
2. Reddy, A.R., Chaitanya, K.V. and Vivekanandan, M. 2010. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. J Plant Physiol. 161: 1189-1202.
3. Yeganehpoor, F., Zehtab-salmasi, S., Ghassemi-golezani, K., Shafagh-kolvanagh, J. and Dastborhan, S. 2017. The impact of nitrokara and salicylic acid on proline content and essential oil composition of coriander under different water supply. Amer J Essential Oils Nat Prod. 5: 32-40.
4. Akbarinia, A., Khosravifard, M., Sharifi Ashoorabadi, E. and Babakhanlou, P. 2017. Effect of Irrigation intervals on yield and agronomic characteristics of Black cumin (*Nigella sativa*). Ir J Med Arom Plant. 21: 1. 65-73. (In Persian)
5. Alaghemand, A., Khaghani, Sh., Bihamta, M.R., Gomarian, M. and Ghorbanpour, M. 2019. Effect of chitosan and nano-chitosan on agronomic properties and omega 3, 6 and 9 fatty acids in some cultivars of *Nigella sativa* L. under drought stress condition. Ecophyt J Med Plant. 28: 4. 83-96. (In Persian)
6. Zarghami, F. and Sadeghi, M. 2017. Effect of plant density on radiation use efficiency, extinction coefficient and grain yield of two sunflower cultivars in northern Khuzestan. J Plant Ecophysiol. 30: 108-117. (In Persian)
7. Alessi, J., Power, J.F. and Zimmerman, D.C. 2016. Effect of seeding date and population on water-use efficiency and safflower yield Agronomy. Environ Sci Agron J. 75: 5. 783-787.
8. Nakhzari Moghadam, A. 2017. The effect of water stress and plant density on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum*). Ir J Field Crop Sci. 40: 3. 63-69. (In Persian)
9. Haghighat, A., Madani, H., Heidari Sharif Abad, H., Majdi Hervani, E. and Mostashari, M. 2020. Effect of plant density and phosphorus resources on yield and yield components of Black cumin (*Nigella sativa* L.) medicinal plant in dryland farming. Ir J Dry Agric. 8: 2. 199-247. (In Persian)
10. Sarikhani, M.R., Malboubi, M.A. and Ebrahimi, M. 2014. Phosphate solubilizing bacteria: Isolation of Bacteria and Phosphate Solubilizing Genes, Mechanism and Genetics of Phosphate Solubilization. Agric Biotechnol J. 6: 1. 77-110. (In Persian)
11. Rousta, M.J., Rasouli, F., Mirabzadeh Ardakani, M., Enayati, K. and Jowkar, L. 2018. Effects of Nitrogen and Phosphorous application on shoot and root yield of madder in saline conditions of Fars province. Soil Manage Sustain Prod. 8: 2. 149-162. (In Persian)
12. Tasdighi, H., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M. and Behzadi, Y. 2015. Survey of Yield, Yield Components and Essential Oil of *Matricaria chamomilla* L. With Application of Vermicompost and Different Irrigation Levels. J Agric Sci Sustain Prod. 25: 3. 62-78. (In Persian)
13. Mottaghi, S., Mottaghi, L., Shiranirad, A. and Lotfifar, O. 2017. Study the efficiency of zeolite in reduce the effect of drought stress on agronomical traits and seed yield of rapeseed in Karaj

region. J Plant Ecophysiol. 36: 256-271. (In Persian)
14. Goshasbi, F., Heidari, M., Sabbagh, S.K. and Makarian, H. 2020. Effect of irrigation interval, bio and non-biofertilizers on yield components and some of biochemical compounds in Thyme (*Thymus vulgaris* L.). J Hortic Plant Nutr. 3: 1. 51-68. (In Persian)
15. Hllen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56 Rome. pp: 174.
16. Snyder, R.L., Lanini, B.J., Shaw, D.A. and Pruitt, W.O. 1989. Using reference evapotranspiration (ET0) and crop coefficients to estimate crop evapotranspiration (ETc) for agronomic crops, Grasses, and vegetable crops. Cooperative Extension, University of California, Berkeley, CA, Leaflet No 21427. pp: 12.
17. Zeinali, H., Kamaliyon, A.R. and Tavaloli, M. 2019. Familiarity with *Nigella sativa* L. Med plant its prod method. Ministry of Agriculture Jahad, Office of National Plan for Medicinal Plants. (In Persian)
18. 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. Ir J Med Arom Plant. 34: 3. 510-526. (In Persian)
19. Karimi, M., and Azizi, M. 2013. Basic growth Analysis: plant growth analysis for beginners. Ferdowsi of university publication. (In Persian)
20. Westagate, M.E. 2013. Water status and development of maize endosperm and emroyo during drought. Crop Sci. 34: 76-83.
21. Rezaei-chiyaneh, E., Pirzad, A., Hosseini, B. and Mahdani, S.H. 2017. Effect of different levels of irrigation and harvesting time on some agronomical characteristics and oil production of *Carum copticum* L. Environ Stress Crop Sci. 9: 4. 329-337. (In Persian)
22. Yousefipor, M., Lack, Sh. and Payandeh, Kh. 2019. Evaluation of the combined effect of Biological and chemical phosphorous fertilizers and Micronutrient on seed and protein yield of Barley (*Hordeum vulgare* L.). J Plant Ecophysiol. 49: 1. 103-120. (In Persian)
23. Richter, J., Stutzer, M. and Schellenberg, I. 2013. Effects of mycorrhization on the essential oil content and composition of aroma components of marjoram (*Marjorana hortensis*), thyme (*Thymus vulgaris* L.) and caraway (*Carum carvi* L.). 36th International Symposium on Essential Oils. 4-7 September, Budapes, Hungary.
24. Setter, T.L. 2013. Transport / harvest index: Photosynthetic partitioning in stressed plants. P 17-36. Stress responses in plant: Adaptation and accumulation mechanism. Wiley-Liss, Inc. New York. 14853p.
25. Moazami, S., Dadashi, M. and Ajam Norouzi, H. 2020. Effect of drought Tension, Nitrogen supply and planting Density on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) Haissan cultivar in the North of Goleston province. J Crop Physiol. 12: 48. 63-79. (In Persian)
26. Mokhtari, A. and Moosavi, S.Gh. 2018. Effect of plant density on some Morphological Traits, yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars. J Plant Ecophysiol. 10: 34. 132-144. (In Persian)
27. Hasanakifard, A., Siadat, A., Fathi, Gh., Alami Saeid, Kh. and Daneshvar, M.H. 2018. Effect of different levels of nitrogen and plant density on yield and yield components of sweet corn. J Plant Ecophysiol. 35: 1-9. (In Persian)
28. Alessi, J., Power, J.F. and Zimmerman, D.C. 2016. Effect of seeding date and population on water-use efficiency and safflower yield Agronomy. Environ Sci Agron J. 75: 5. 783-787.
29. Dutta, P., Jana, K., Bandyopadlhyay, P. and Maity, D. 2014. Reseponse of summer sesame (*Sesamum indicum*). Indian J Agron. 54: 613-616.