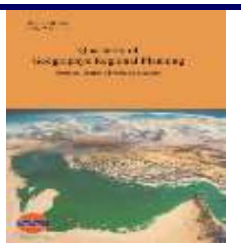
Iranian Association of Geopolitical

Geography (Regional Planning)

Spring 2025. Vol 15. Issue 58

2112-ISSN (Print): 2228-6462-ISSN (Online): 2783-

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/



Research Paper

Evaluation of Sesame Tillage and Fertilization practices with respect to water deficit Stress Conditions

Seyed Behzad Moeini[1], Hamidreza Tohidi Moghadam[*2], Porang Kasraei[3], Mohammad Nasri[2], Farshad Ghooshchi[2]

1. Ph.D. Student of Agriculture Department, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch Islamic Azad University, Varamin, Iranin
2. Associate Professor of Agriculture Department, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch Islamic Azad University, Varamin, Iran.
3. Professor of Agriculture Department, Faculty of Agriculture, Varamin-Pishva Branch Islamic Azad University, Varamin, Iran.

ARTICLEINFO

PP: 344-367

Use your device to scan and read the article online

Keywords:

Tillage, fertilization, sesame, Influenceability, drought stress.

Abstract

The aim of the current research is to evaluate tillage and fertilization methods on yield, sesame plant with the impact of water stress conditions in order to provide suitable solutions to maintain its yield (2022-2023). The experiment was performed as a split plot in the form of a randomized complete block design with three replications. The main factors included three tillage methods (no tillage, low tillage and conventional tillage), the sub-factor of two irrigation levels (normal and low irrigation) and the sub-factor of four fertilization methods (no fertilizer, nitrogen fertilizer, vermicompost and combination of nitrogen and vermicompost). The results showed that the reactions of the traits to water deficit stress were different in different combinations of fertilizers and tillage. In 2022, the reduction of grain yield in different treatments ranged from 14.3% (low tillage with combined nitrogen fertilizer and vermicompost) to 23% (conventional tillage without fertilizer). Photosynthesis showed a decrease between 13.2% (low tillage with integrated fertilizer) and 24% (conventional tillage without fertilizer). The relative content of leaf water decreased between 8.9% (low tillage with integrated fertilizer) and 12% (conventional tillage without fertilizer). In 2023, the decrease in grain yield was between 9.8% (low tillage with integrated fertilizer) and 20% (conventional tillage without fertilizer). Photosynthesis decreased between 12.7% (low tillage with combined fertilizer) and 23% (conventional tillage without fertilizer). Transpiration in different treatments decreased between 17.0% (low tillage with integrated fertilizer) and 29% (conventional tillage without fertilizer). The non-enzymatic antioxidants including anthocyanin (24-28%), total phenol (18-21%) and alkaloid (16-19%) showed the highest increase in fertilizer treatments, especially in low tillage with combined fertilizer. In both years, the least negative effect was observed in the low tillage treatment with combined nitrogen fertilizer and vermicompost and the highest negative effect was observed in the conventional tillage treatment without fertilizer. Treatments without tillage and treatments with separate application of nitrogen fertilizer or vermicompost showed moderate results. Based on the results of this two-year study, the use of low-tillage method along with the combined application of nitrogen fertilizer and vermicompost is recommended for managing sesame fields in water-limited conditions. This method can significantly reduce the negative effects of drought stress on the yield, physiological and biochemical characteristics of sesame, as well as soil characteristics.

Citation: Moeini, S. B. , Tohidi Moghadam, H. , Kasraei, P. , Nasri, M. and Ghooshchi, F. (2025). Evaluation of sesame tillage and fertilization practices with respect to water deficit stress conditions. Geography (Regional Planning), 15(58), 344-367

DOI: 10.22034/jgeoq.2025.486227.4161

Extended Abstract

[*] **Corresponding Author:** Seyed Behzad Moeini, **Email:** infomoeini@gmail.com

Copyright © 2024 The Authors. Published by Qeshm Institute. This is an open access article under the CC BY license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Sesame is one of the oldest and most important oil plants, which has a special importance in the world's agricultural production due to its high nutritional value and diverse applications in the food, pharmaceutical and cosmetic industries. This plant is a rich source of oil (contains about 50% oil) and protein (contains about 25% protein) and due to the presence of natural antioxidants such as sesamol and sesamulin, its oil has high stability. In addition, sesame contains important minerals such as calcium, iron, magnesium and zinc, which play an important role in human nutrition. In addition to production and economic challenges, attention to the environmental aspects of sesame cultivation has become increasingly important. Traditional agricultural methods, especially the indiscriminate use of chemical fertilizers and pesticides, can have devastating effects on natural ecosystems, water and soil quality, and biodiversity. Studies show that the unbalanced use of chemical fertilizers in sesame fields can lead to groundwater pollution, soil acidification, and a decrease in the activity of beneficial soil microorganisms. In Iran, sesame has been considered as one of the strategic products in agricultural development programs. According to the statistics of the Ministry of Agricultural Jihad, the area under sesame cultivation in the crop year 2022-2023 was about 42 thousand hectares, which resulted in the production of approximately 28 thousand tons of crops. However, the average yield of sesame in Iran (about 670 kg/ha) is lower compared to the world average (about 1000 kg/ha). This performance gap is caused by several challenges that Iranian farmers are facing. According to the mentioned contents, it seems that the combination of tillage protection methods with the integrated nutrition system based on the use of organic materials such as vermicompost along with chemical fertilizers can be a suitable strategy to increase the tolerance capacity of sesame to drought stress and improve the performance of this valuable plant in limited conditions. are water resources, it is expected that these methods of agricultural management of soil and nutrition, by improving the structure and fertility of the soil, increasing the moisture reserve, facilitating the absorption of water and nutrients and strengthening the root growth, will provide the conditions for better adaptation of the sesame plant to drought stress.

Methodology

This research was conducted during two consecutive agricultural years (2022-2023) in the research farm of the Faculty of Agriculture of Islamic Azad University located in Karaj city with latitude 35 degrees 59 minutes north and longitude 50 degrees 75 minutes east and an altitude of 1313 meters above sea level. Became the average annual rainfall of the region is 244 mm and the average annual temperature is 14.3 degrees Celsius. Rainfall distribution is irregular throughout the year and the most rains occur in autumn and winter. The average annual maximum temperature is 21.7 degrees Celsius and the average annual minimum temperature is 6.9 degrees Celsius. The average annual relative humidity is 55% and the average annual sunny hours is 2864 hours. According to Dumarten classification, the climate of the region is semi-arid and cold. The soil of the test site had a clay loam texture (35% clay, 40% silt and 25% sand) with an acidity of 7.8 and an electrical conductivity of 1.2 decisiemens/meter. The amount of soil organic carbon was 0.85%, total nitrogen was 0.09%, absorbable phosphorus was 8.5 mg/kg and absorbable potassium was 220 mg/kg.

Results and Discussion

In general, the results of this research during two years of testing and in both normal and low irrigation conditions showed that the no-tillage system in combination with the

combined application of nitrogen fertilizer and vermicompost significantly increased the amount of total chlorophyll in the sesame plant. On the other hand, the conventional tillage method without the use of any fertilizer had the lowest amount of total chlorophyll regardless of the year and humidity conditions. These findings indicate that removing or reducing the intensity of tillage along with the combined use of organic and chemical fertilizers, by improving the plant's growth conditions, causes a significant increase in the amount of total chlorophyll in the sesame plant. On the other hand, doing conventional tillage and not using fertilizer, by limiting the availability of food and plant growth, results in a significant reduction of this important vital pigment. Therefore, adopting the correct management of tillage and fertilization can play an important role in achieving the maximum amount of total chlorophyll, which is an indicator of the health and photosynthetic efficiency of the plant.

Conclusion

In general, the results of this research during two years of testing and in both normal and low irrigation conditions showed that the no-tillage system in combination with the integrated application of nitrogen fertilizer and vermicompost significantly increased the soil moisture content. On the other hand, the conventional tillage method without the use of any fertilizer had the lowest amount of soil moisture, regardless of the year and moisture conditions. These findings indicate that the removal of tillage operations and the combined use of organic and chemical fertilizers, by improving the soil structure, increasing the water holding capacity and reducing evaporation, lead to a significant increase in soil moisture. On the other hand, doing conventional tillage and not using fertilizer leads to a significant decrease in soil moisture by destroying the soil structure and increasing water losses; therefore, adopting the correct management of tillage and fertilization can play a significant role in maintaining and improving the soil moisture condition.

References

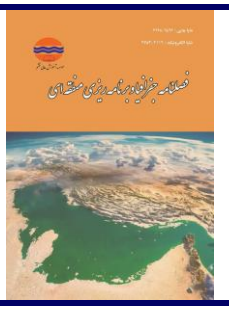
1. Aboelsoud, H. M., & Ahmed, A. A. (2020). Effect of biochar, vermicompost and polymer on wheat and maize productivity in sandy soils under drought stress. Environment, biodiversity and soil security, 4(2020), 85-102.
2. Ahmad, A., Aslam, Z., Ahmad, M., Zulfiqar, U., Yaqoob, S., Hussain, S., ... & Elshikh, M. S. (2024). Vermicompost application upregulates morpho-physiological and antioxidant defense to conferring drought tolerance in wheat. Plant Stress, 11, 100360.
3. Azimi, S., Khoshravesh, M., Darzi Naftchali, A., & Abedinpour, M. (2023). Investigating the effects of different amounts of A200 hydrogel and vermicompost on wheat crop under deficit irrigation.4(46).98-8.
4. Baghery, M. A., Kazemitabar, S. K., Dehestani, A., & Mehrabanjoubani, P. (2023). Sesame (Sesamum indicum L.) response to drought stress: susceptible and tolerant genotypes exhibit different physiological, biochemical, and molecular response patterns. Physiology and Molecular Biology of Plants, 29(9), 1353-1369.
5. Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2021). Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under

drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 200-208.

6. Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2021). Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 200-208.
7. Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Bahador, M., & Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. Plant Stress, 5, 100087.
8. Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.
9. Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.
10. Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.
11. Jaswal, R., & Sandal, S. K. (2023). Effect of tillage and irrigation on growth and productivity in maize-wheat sequence. Journal of Agriculture and Food Research, 12, 100594.
12. Jeyaraj, S., & Beevy, S. S. (2024). Insights into the Drought Stress Tolerance Mechanisms of Sesame: The Queen of Oilseeds. Journal of Plant Growth Regulation, 1-22.
13. Khodabin, G., Jalilian, A., Khayat Moghadam, M. S., & Kazemi, S. (2024). Management of Tillage and Fertilizer Systems on Seed Yield and Nitrogen Efficiency Indices of Rapeseed in Sandy Soil under Drought Stress Conditions. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION, 33(4), 327-342.
14. Khodabin, G., Jalilian, A., Khayat Moghadam, M. S., & Kazemi, S. (2024). Management of Tillage and Fertilizer Systems on Seed Yield and Nitrogen Efficiency Indices of Rapeseed in Sandy Soil under Drought Stress Conditions. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION, 33(4), 327-342.
15. Lahbouki, S., Hashem, A., Kumar, A., Abd_Allah, E. F., & Meddich, A. (2024). Integration of Horse Manure Vermicompost Doses and Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Fruit Quality, and Soil Fertility in Tomato Field Facing Drought Stress. Plants, 13(11), 1449.
16. Pandey, B. B., Ratnakumar, P. B. U. K., Usha Kiran, B., Dudhe, M. Y., Lakshmi, G. S., Ramesh, K., & Guhey, A. (2021). Identifying

traits associated with terminal drought tolerance in sesame (Sesamum indicum L.) genotypes. Frontiers in Plant Science, 12, 739896.

17. Piri, H., Naserin, A., & Albalasmeh, A. A. (2022). Interactive effects of deficit irrigation and vermicompost on yield, quality, and irrigation water use efficiency of greenhouse cucumber. Journal of Arid Land, 14(11), 1274-1292.
18. Rajanna, G. A., Dass, A., Suman, A., Babu, S., Venkatesh, P., Singh, V. K., ... & Sudhishri, S. (2022). Co-implementation of tillage, irrigation, and fertilizers in soybean: Impact on crop productivity, soil moisture, and soil microbial dynamics. Field Crops Research, 288, 108672.
19. Rehaman, A., Fatma, M., Jan, A. T., Shah, A. A., Asgher, M., & Khan, N. A. (2023). Co-Application of nitric oxide and vermicompost improves photosynthetic functions, antioxidants, and nitrogen metabolism in maize (Zea mays L.) grown under drought stress. Journal of Plant Growth Regulation, 42(6), 3888-3907.
20. Wang, X., Wang, M., Yan, G., Yang, H., Wei, G., Shen, T., ... & Wu, Z. (2023). Comparative analysis of drought stress-induced physiological and transcriptional changes of two black sesame cultivars during anthesis. Frontiers in Plant Science, 14, 1117507.
21. Zhang, Y., Cui, J., Liu, X., Liu, H., Liu, Y., Jiang, X., ... & Zhang, M. (2022). Application of water-energy-food nexus approach for optimal tillage and irrigation management in intensive wheat-maize double cropping system. Journal of Cleaner Production, 381, 135181.



فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)

دوره ۱۵، شماره ۵۸، بهار ۱۴۰۴

شاپا چاپی: ۶۴۶۲- ۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۲۱۱۲ -۲۷۸۳

Journal Homepage: https://www.jgeoqeshm.ir/

انجمن ژئوپلیتیک ایران

مقاله پژوهشی

ارزیابی شیوه‌های خاک‌ورزی و کوددهی گیاه کنجد با تأثیرپذیری از شرایط تنش کم‌آبی

سید بهزاد معینی* – دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا، ورامین، ایران

حمیدرضا توحیدی مقدم – دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا، ورامین، ایران

پوررنگ کسرائی – استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا، ورامین، ایران

محمد نصری –دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا، ورامین، ایران

فرشاد قوشچی –دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین–پیشوا، ورامین، ایران

اطلاعات مقاله

شماره صفحات: ۳۶۷-۳۴۴

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به‌صورت آنلاین استفاده کنید

واژه‌های کلیدی:

خاک ورزی، کود دهی، کنجد، تأثیرپذیری، تنش کم‌آبی.

چکیده

هدف پژوهش حاضر ارزیابی شیوه‌های خاک‌ورزی و کوددهی بر گیاه کنجد با تاثیرپذیری شرایط تنش کم‌آبی جهت ارائه راهکارهای مناسب برای حفظ عملکرد آن (۱۴۰۱-۱۴۰۲) انجام شده است. آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها اصلی شامل سه روش خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم)، فاکتور فرعی دو سطح آبیاری (نرمال و کم‌آبیاری) و فاکتور فرعی چهار روش کوددهی (بدون کود، کود نیتروژن، ورمی‌کمپوست و تلفیق نیتروژن و ورمی‌کمپوست) بود. نتایج نشان داد که واکنش صفات به تنش کم‌آبی در ترکیب‌های مختلف کود و خاک‌ورزی متفاوت بود. در سال ۱۴۰۱، کاهش عملکرد دانه در تیمارهای مختلف بین ۱۴.۳٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی نیتروژن و ورمی‌کمپوست) تا ۲۳٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) متغیر بود. فتوسنتز کاهشی بین ۱۳.۲٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی) تا ۲۴٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) را نشان داد. محتوای نسبی آب برگ بین ۸.۹٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی) تا ۱۲٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) کاهش یافت. در سال ۱۴۰۲، کاهش عملکرد دانه بین ۹.۸٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی) تا ۲۰٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) بود. فتوسنتز کاهشی بین ۱۲.۷٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی) تا ۲۳٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) داشت. تعرق در تیمارهای مختلف بین ۱۷.۰٪ (کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی) تا ۲۹٪ (خاک‌ورزی مرسوم بدون کود) کاهش نشان داد. آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی شامل آنتوسیانین (۲۴-۲۸٪)، فنول کل (۱۸-۲۱٪) و آلکالوئید (۱۶-۱۹٪) در تیمارهای کوددار، به ویژه در کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی، بیشترین افزایش را نشان دادند. در هر دو سال، کمترین تأثیر منفی در تیمار کم‌خاک‌ورزی با کود تلفیقی نیتروژن و ورمی‌کمپوست و بیشترین تأثیر منفی در تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون کود مشاهده شد. تیمارهای بدون خاک‌ورزی و تیمارهای با کاربرد جداگانه کود نیتروژن یا ورمی‌کمپوست، نتایج متوسطی را نشان دادند. بر اساس نتایج این مطالعه دو ساله، استفاده از روش کم‌خاک‌ورزی همراه با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست برای مدیریت مزارع کنجد در شرایط محدودیت آب توصیه می‌شود. این روش می‌تواند اثرات منفی تنش کم‌آبی را بر عملکرد، خصوصیات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنجد و همچنین ویژگی‌های خاک به طور قابل توجهی کاهش دهد.

استناد: معینی، سید بهزاد، توحیدی مقدم، حمیدرضا، کسرائی، پوررنگ، نصری، محمد و قوشچی، فرشاد . (۱۴۰۴). ارزیابی شیوه های خاک‌ورزی و کوددهی گیاه کنجد با تاثیرپذیری از شرایط تنش کم‌آبی. فصلنامه جغرافیا (برنامه ریزی منطقه ای)، ۱۵(۵۸)، ۳۴۴-۳۶۷

DOI: 10.22034/jgeoq.2025.486227.4161

*. **نویسنده مسئول: سید بهزاد معینی ایمیل:** infomoeini@gmail.com

مقدمه

کنجد[۳] یکی از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین گیاهان روغنی است که به دلیل ارزش غذایی بالا و کاربردهای متنوع در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی، اهمیت ویژه‌ای در تولیدات کشاورزی جهان دارد (Jeyaraj & Beevy,2024). این گیاه منبع غنی از روغن (حاوی حدود ۵۰٪ روغن) و پروتئین (حاوی حدود ۲۵٪ پروتئین) است و به دلیل وجود آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مانند سزامول و سزامولین، روغن آن از پایداری بالایی برخوردار است. علاوه بر این، کنجد حاوی مواد معدنی مهمی مانند کلسیم، آهن، منیزیم و روی است که نقش مهمی در تغذیه انسان دارند (Pandey et al,2021). تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی قرن حاضر، تأثیرات عمیقی بر الگوهای کشاورزی و امنیت غذایی جهان گذاشته است. بر اساس گزارش هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی (IPCC)، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰، دمای متوسط جهانی بین ۱.۵ تا ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (Bernstein et al,2023).

در کنار چالش‌های تولید و اقتصادی، توجه به جنبه‌های زیست‌محیطی کشت کنجد نیز از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار شده است. روش‌های سنتی کشاورزی، به‌ویژه استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، می‌تواند اثرات مخربی بر اکوسیستم‌های طبیعی، کیفیت آب‌وخاک، و تنوع زیستی داشته باشد. مطالعات نشان می‌دهند که مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی در مزارع کنجد می‌تواند منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی، اسیدی شدن خاک و کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌های مفید خاک شود (Noor et al,2020). یکی از مهم‌ترین موانع، مقاومت در برابر تغییر روش‌های سنتی است که ریشه در عادات طولانی‌مدت و عدم اطمینان به نتایج روش‌های جدید دارد (Rehaman et al,2023). باوجود اهمیت بالای کنجد، تولید این محصول با چالش‌های متعددی روبرو است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به حساسیت بالای این گیاه به تنش کم‌آبی اشاره کرد (Wang et al,2023).

در راستای مقابله با اثرات نامطلوب تنش کم‌آبی بر کنجد، توجه به مدیریت صحیح عوامل زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این میان، روش‌های خاک‌ورزی و مدیریت حاصلخیزی خاک، با تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، نقشی کلیدی در تعیین میزان دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی ایفا می‌کنند (Khodabin et al,2022). بااین‌حال، تنها اتخاذ شیوه‌های کم خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی، برای بهبود مقاومت گیاه در برابر تنش کم‌آبی کافی نبوده و لازم است در کنار آن، به مدیریت تغذیه گیاه نیز توجه ویژه شود. کمبود عناصر غذایی ضروری، می‌تواند با اختلال در فرآیندهای متابولیکی و فیزیولوژیکی حیاتی، حساسیت گیاه به تنش را افزایش دهد (Ahmad et al,2022). در ایران، کنجد به‌عنوان یکی از محصولات استراتژیک در برنامه‌های توسعه کشاورزی موردتوجه قرار گرفته است.

بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت کنجد در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ حدود ۴۲ هزار هکتار بوده که منجر به تولید تقریبی ۲۸ هزار تن محصول شده است (وزارت جهاد کشاورزی،۱۴۰۲). بااین‌حال، میانگین عملکرد کنجد در ایران (حدود ۶۷۰ کیلوگرم در هکتار) در مقایسه با میانگین جهانی (حدود ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) پایین‌تر است. این شکاف عملکرد ناشی از چالش‌های متعددی است که کشاورزان ایرانی با آن مواجه هستند.

با توجه به مطالب گفته شده، به نظر می‌رسد ترکیب روش‌های حفاظتی خاک‌ورزی با سیستم تغذیه تلفیقی مبتنی بر کاربرد مواد آلی مانند ورمی‌کمپوست در کنار کودهای شیمیایی، می‌تواند راهبردی مناسب برای افزایش ظرفیت تحمل کنجد به تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد این گیاه ارزشمند در شرایط محدودیت منابع آبی باشد، انتظار می‌رود این شیوه‌های مدیریت زراعی خاک و تغذیه، با بهبود ساختمان و حاصلخیزی خاک، افزایش ذخیره رطوبتی، تسهیل جذب آب و مواد غذایی و تقویت رشد ریشه، شرایط را برای سازگاری بهتر گیاه کنجد با تنش خشکی فراهم سازند. با توجه به موارد مطرح شده سؤالات اصلی پژوهش حاضر بدین‌صورت تدوین می‌شوند: کدام روش خاک‌ورزی بیشترین تأثیر مثبت را بر عملکرد کنجد با شرایط تنش کم‌آبی دارد؟ استفاده از کود تلفیقی (نیتروژن و ورمی‌کمپوست) می‌تواند پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی کنجد به تنش کم‌آبی را بهبود بخشد؟ ترکیب

3-Sesamum indicum L

روش‌های خاک‌ورزی و کود دهی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت شرایط تنش کم‌آبی چگونه است و کدام ترکیب روش خاک‌ورزی و کود دهی بهترین نتیجه را در بهبود مقاومت کنجد به تنش کم‌آبی و حفظ عملکرد نشان می‌دهد؟

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

تنش خشکی طیف گسترده‌ای از فرآیندهای فیزیولوژیکی را در کنجد تحت تأثیر قرار می‌دهد که درنهایت منجر به کاهش رشد، نمو و عملکرد گیاه می‌شود. یکی از قابل‌مشاهده‌ترین اثرات کمبود آب، کاهش پتانسیل آب برگ و محتوای آب نسبی است که باعث پژمردگی برگ و کاهش توسعه برگ می‌شود (Pandey et al,2021). در سطح ریخت‌شناسی، تنش خشکی ویژگی‌های رشد و نمو گیاهان کنجد را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مشخصاً، ارتفاع گیاه، تعداد شاخه‌ها، سطح برگ و کل در ژنوتیپ‌های حساس بیشتر کاهش می‌یابد (Baghery et al,2023;Gholamhoseini,2020). گیاهان کنجد مکانیسم‌های سازگاری مختلفی را برای مقابله با تنش خشکی توسعه داده‌اند. این شامل سیستم‌های ریشه ژرف و گسترده برای دسترسی به رطوبت خاک در اعماق پایین‌تر، تنظیم اسمزی برگ از طریق تجمع اسمولیت‌های سازگار و تنظیم روزنه‌ای برای حفظ وضعیت آب است (Pandey et al,2021;Hamedani et al,2022).

دستگاه‌های خاک‌ورزی تأثیر قابل‌توجهی بر خصوصیات فیزیکی خاک، ازجمله چگالی ظاهری، پایداری خاکدانه‌ها، تخلخل و هدایت هیدرولیکی دارند. مطالعات بلندمدت نشان داده‌اند که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، مانند بدون شخم و شخم حداقل، می‌توانند منجر به افزایش چگالی ظاهری خاک در مقایسه با شخم متداول شوند (Rajanna et al,2022). ارزیابی تأثیر بلندمدت سیستم‌های خاکورزی بر ماده آلی خاک در اعماق مختلف خاک و در شرایط متنوع برای توسعه استراتژی‌های مدیریت خاک پایدار ضروری است (Jaswal & Sandal,2023). کنترل علف‌های هرز یکی از چالش‌های اصلی در اجرای سیستم‌های خاکورزی حفاظتی، به‌ویژه سیستم بدون شخم است. مطالعات نشان داده‌اند که دستگاه‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند منجر به تغییر در تراکم و تنوع علف‌های هرز در مقایسه با شخم متداول شوند (Rajanna et al,2022;Zhang et al,2022).

در مطالعه‌ای، تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر ویژگی‌های خاک و عملکرد سویا تحت شرایط تنش کم‌آبی بررسی شد. نتایج نشان داد که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی مانند کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی، در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم، منجر به افزایش معنی‌دار کربن آلی، پایداری خاکدانه‌ها، ظرفیت نگهداری آب و هدایت هیدرولیکی خاک شدند. همچنین، در شرایط تنش خشکی، گیاهان سویا تحت سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی، عملکرد دانه بالاتری نسبت به خاک‌ورزی مرسوم داشتند (Rajanna et al,2022;Zhang et al,2022).

در پژوهشی اثر روش‌های خاک‌ورزی را بر کارایی مصرف آب، رشد ریشه و عملکرد گندم در شرایط دیم موردمطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج، کم خاک‌ورزی و بی خاک‌ورزی با حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک، موجب کاهش تبخیر، افزایش نفوذ آب، بهبود رشد ریشه و درنهایت افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد دانه گندم در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم شدند (Zhang et al,2022). این یافته‌ها نشان می‌دهد که سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی می‌توانند راهکار مناسبی برای سازگاری گیاهان زراعی با شرایط کم‌آبی باشند. در مطالعه دیگری، تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر جمعیت میکروبی خاک و عملکرد کانولا تحت تنش خشکی ارزیابی شد (Khodabin et al,2022).

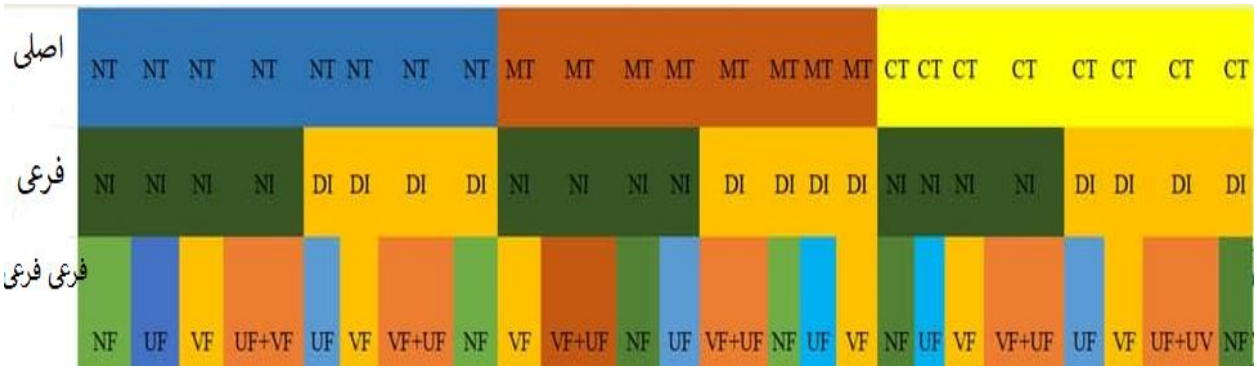
استفاده از ورمی‌کمپوست و سایر کودهای آلی می‌تواند کارایی مصرف آب را در شرایط کم‌آبیاری افزایش دهد. در مطالعه‌ای روی خیار گلخانه‌ای انجام شد، نشان داده شد که کاربرد ورمی‌کمپوست موجب بهبود کارایی مصرف آب آبیاری می‌شود (Piri et al,2022). این امر به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت منابع آب مواجه هستند، بسیار حائز اهمیت است.کودهای آلی می‌توانند اثرات منفی تنش خشکی بر کیفیت محصول را کاهش دهند. در پژوهشی روی گوجه‌فرنگی مشاهده شد که کاربرد ورمی‌کمپوست و قارچ‌های میکوریز آربوسکولار موجب بهبود کیفیت میوه در شرایط تنش خشکی می‌شود (Lahbouki et al,2024). در مطالعه‌ای روی ذرت نشان داده شد که کاربرد کودهای آلی ازجمله ورمی‌کمپوست می‌تواند جایگزین مناسبی برای بخشی از کودهای شیمیایی باشد (Feizabadi et al,2021).کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند به بهبود کیفیت خاک‌های ضعیف مانند خاک‌های شنی کمک کند. در پژوهشی مشاهده شد که استفاده از ورمی‌کمپوست موجب بهبود

بهره‌وری گندم و ذرت در خاک‌های شنی تحت تنش خشکی می‌شود (Aboelsoud & Ahmed,2020). جمع‌بندی نتایج مطالعات مذکور نشان می‌دهد کهکاربرد متعادل و بهینه کودهای شیمیایی متناسب با نوع خاک، شرایط آب و هوایی و نیاز غذایی گیاه در تلفیق با کودهای آلی، رویکردی کلیدی برای افزایش کارایی مصرف آب و عناصر غذایی تحت شرایط محدودیت منابع است (Azimi et al,2023;Ghaffari et al,2022).

روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش طی دو سال زراعی متوالی (۱۴۰۱-۱۴۰۲) در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واقع در شهرستان کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۷۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۳متر از سطح دریا انجام شد. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۲۴۴ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۴.۳ درجه سانتی‌گراد است. توزیع بارندگی در طول سال نامنظم بوده و بیشترین بارش‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد. میانگین حداکثر دمای سالانه ۲۱.۷ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای سالانه ۶.۹ درجه سانتی‌گراد است. میانگین رطوبت نسبی سالانه ۵۵ درصد و میانگین ساعات آفتابی سالانه ۲۸۶۴ ساعت می‌باشد. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک سرد محسوب می‌شود.

خاک محل آزمایش دارای بافت لوم رسی (۳۵٪ رس، ۴۰٪ سیلت و ۲۵٪ شن) با اسیدینه ۷/۸ و هدایت الکتریکی ۱.۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. میزان کربن آلی خاک ۰.۸۵ درصد، نیتروژن کل ۰.۰۹ درصد، فسفر قابل جذب ۸.۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و پتاسیم قابل جذب ۲۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. کلسیم قابل تبادل ۸.۲ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک، منیزیم قابل تبادل ۳.۵ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی ۱۸/۵ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک بود. جرم مخصوص ظاهری خاک ۱.۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب، تخلخل کل ۴۹ درصد، رطوبت ظرفیت زراعی ۲۸ درصد وزنی و رطوبت نقطه پژمردگی دائم ۱۴ درصد وزنی اندازه‌گیری شد. عمق خاک زراعی حدود ۶۰ سانتی‌متر بوده و لایه محدودکننده کلسیک در عمق ۸۰-۱۰۰ سانتی‌متری قرار دارد.



جدول (۱): مشخصات خاک محل اجرای آزمایش

ویژگی خاک	واحد	مقدار
بافت خاک	-	لومی
شن	٪	۴۰
سیلت	٪	۳۵
رس	٪	۲۵
وزن مخصوص ظاهری	گرم بر سانتی متر مکعب	۱/۳۵
اسیدیته	-	۷/۸

۱/۲	دسی زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی
۰/۸۵	٪	کربن آلی
۰/۰۸	٪	نیتروژن کل
۱۲	میلی گرم بر کیلوگرم	فسفر قابل استفاده
۲۸۰	میلی گرم بر کیلوگرم	پتاسیم قابل استفاده
۴/۵	میلی گرم بر کیلوگرم	آهن قابل استفاده
۱۸	سانتی مول بر کیلوگرم	ظریب تبادل کاتیونی

جدول (۲): مشخصات کود ورمی کمپوست

مقدار	واحد	پارامتر
۶/۸	–	اسیدیته
۴۰	دسی زیمنس بر متر	هدایت الکتریکی
۱/۹۴	٪	نیتروژن کل
۱/۱۰	٪	فسفر قابل دسترس
۰/۹۷	٪	پتاسیم قابل تبادل
۴/۴۱	٪	کلسیم
۰/۹۲	٪	منیزیم
۰/۹۵	٪	آهن
۲۷۸	ppm	روی
۲۷	ppm	مس
۴۷۵	ppm	منگنز
۲۱/۵	٪	کربن آلی
۱۱:۱	-	نسبت کربن به نیتروژن
۳۵	٪	رطوبت

آزمایش به‌صورت اسپلیپ در قالب پلات طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورها اصلی شامل سه روش خاک‌ورزی (بدون خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم)، فاکتور فرعی دو سطح آبیاری (نرمال و کم‌آبیاری) و فاکتور فرعی چهار روش کوددهی (بدون کود، کود نیتروژن، ورمی‌کمپوست و تلفیق نیتروژن و ورمی‌کمپوست) بود. در تیمار بدون خاک‌ورزی (No-Till,NT)، هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشده است و بقایای گیاهی از سال گذشته در سطح خاک حفظ شده‌اند. در تیمار کم خاک‌ورزی (Minimum Tillage,MT)، از دستگاه چیزل‌پکر به عمق ۱۵ سانتی‌متر برای انجام خاک‌ورزی استفاده شده است. این روش نسبت به

خاک‌ورزی مرسوم، میزان خاک‌ورزی را کاهش می‌دهد و باعث حفظ بقایای گیاهی و ساختار خاک می‌شود. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم (Conventional Tillage,CT)، شخم با گاوآهن برگردان‌دار به عمق ۳۰ سانتی‌متر انجام شده و عملیات دیسک کردن نیز دو بار عمود بر هم صورت گرفته است. این روش خاک‌ورزی مرسوم و متداول است که باعث برگرداندن و تخریب بیشتر ساختار خاک و بقایای گیاهی می‌شود.

در تیمار کود نیتروژن (NF)، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در سه مرحله (۳/۱ قبل از کاشت، ۳/۱ در مرحله ۴-۶ برگی و ۳/۱ در شروع گلدهی) مصرف شد. در تیمار ورمی‌کمپوست (VF)، ۱۰ تن در هکتار قبل از کاشت با خاک مخلوط گردید. در تیمار تلفیقی (NFVF)، ۷۵ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست استفاده شد. آبیاری به روش نواری (تیپ) انجام شد. در تیمار آبیاری نرمال (NI)، آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و در تیمار کم آبیاری (DI) بر اساس ۶۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت. نیاز آبی با استفاده از داده‌های هواشناسی و ضریب گیاهی کنجد محاسبه شد. هر کرت آزمایشی شامل ۶ خط کاشت به طول ۶ متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فاصله بین بلوک‌ها ۲ متر در نظر گرفته شد.

یافته‌های تحقیق

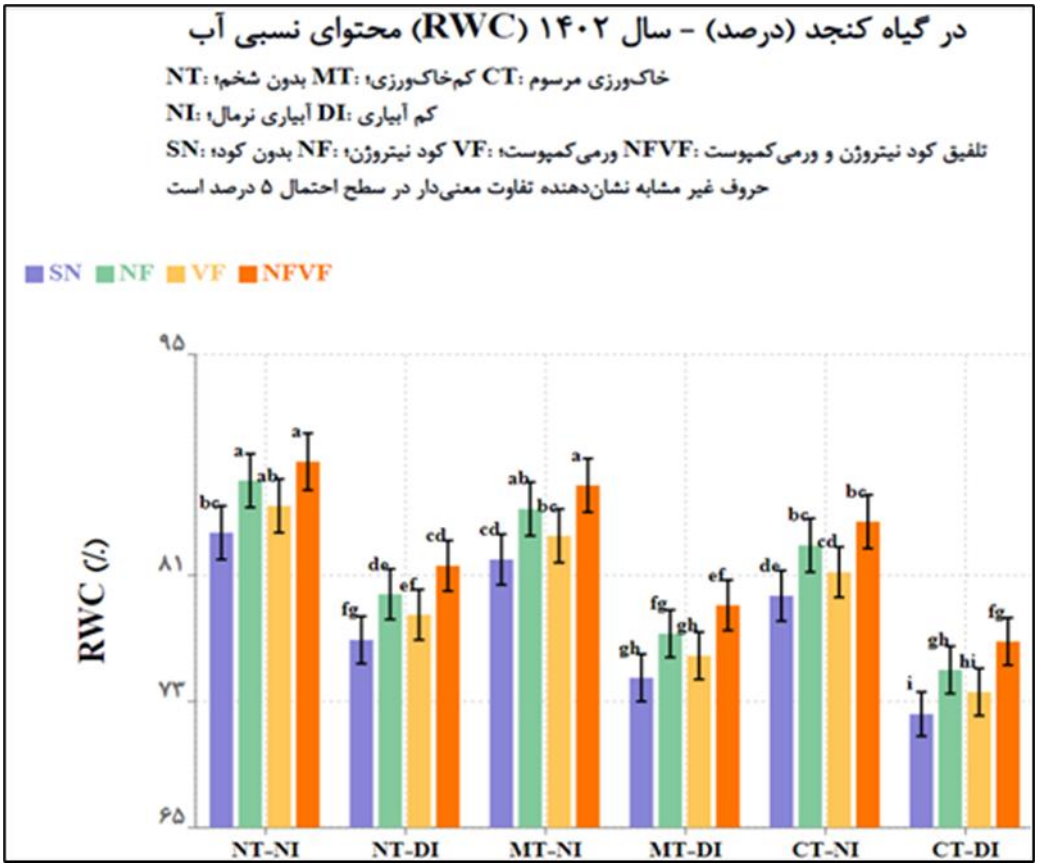
در این مطالعه دو ساله، تأثیر سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی و کود دهی بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بررسی شد (نمودار ۱ و۲) . نتایج نشان داد که ترکیب‌های مختلف تیمارها اثرات متفاوتی بر RWCداشتند (جدول ۱، نمودار ۱ و ۲). در سال اول مطالعه، در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار RWC در تیمار بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست مشاهده شد که به ۸۲.۵ درصد رسید. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز عملکرد خوبی داشت و RWC را به ۸۱.۸ درصد رساند. در سیستم بدون شخم، ورمی کمپوست به‌تنهایی RWC را به ۸۰.۲ درصد رساند، درحالی‌که در دستگاه‌های شخم حداقل و شخم متداول، این مقادیر به ترتیب ۷۹.۶ درصد و ۷۸.۹ درصد بود. تیمار بدون شخم با کود اوره به‌تنهایی نیز محتوای نسبی آب برگ نسبتاً بالایی معادل ۷۸.۱ درصد را نشان داد. کمترین مقدار RWCدر این سال مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۷۳.۹ درصد بود. در شرایط تنش خشکی سال اول، الگوی مشابهی با مقادیر پایین‌تر RWC مشاهده شد.

تیمار بدون شخم و بدون کود با کاهشی معادل ۹.۶ درصد، کمترین افت را در RWC نشان داد و از ۷۵.۳ درصد به ۶۵.۷ درصد رسید. تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست از ۸۲.۵ درصد به ۷۲.۸ درصد کاهش یافت. در سیستم بدون شخم، تیمارهای ورمی کمپوست و اوره به ترتیب از ۸۰.۲ درصد به ۷۰.۵ درصد و از ۷۸.۱ درصد به ۶۸.۴ درصد رسیدند. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست نیز از ۸۱.۸ درصد به ۷۱.۶ درصد کاهش یافت. بیشترین کاهش در تیمار شخم متداول بدون کود با افت ۱۱.۱ درصدی، از ۷۳.۹ درصد به ۶۲.۸ درصد مشاهده شد. در سال دوم مطالعه، با بهبود شرایط آزمایش، نتایج بهتری حاصل شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست، RWC را به ۸۷.۱ درصد افزایش داد که نسبت به سال قبل ۴.۶ درصد بهبود نشان می‌داد. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز به ۸۵.۳ درصد RWCدست یافت که ۳.۵ درصد بیشتر از سال اول بود. در سیستم بدون شخم، ورمی کم پوست به‌تنهایی RWC را به ۸۴.۷ درصد رساند، درحالی‌که در سیستم‌های شخم حداقل و شخم متداول، این مقادیر به ترتیب ۸۲.۵ درصد و ۸۰.۲ درصد ثبت شد. تیمار بدون شخم با کود اوره به تنهایی نیز RWC را به ۸۲.۳ درصد رساند که نسبت به سال قبل ۴.۲ درصد افزایش نشان می‌داد. کمترین مقدار RWC در سال دوم نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود بود که با ۷۴.۱ درصد، اندکی بهبود نسبت به سال اول نشان داد.

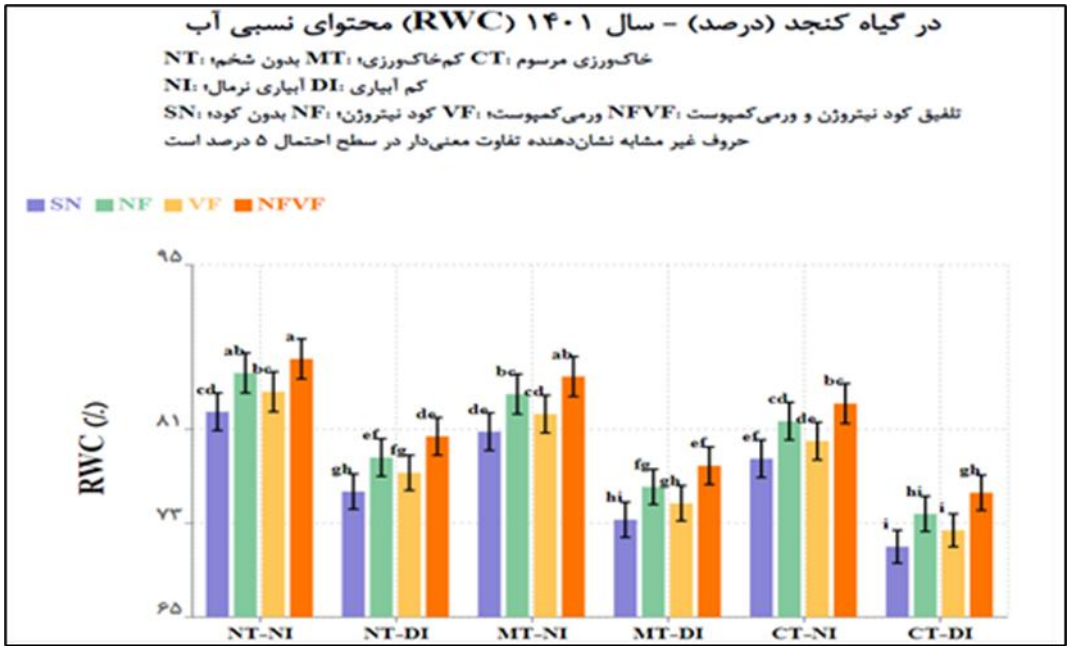
در شرایط تنش خشکی سال دوم، بهترین عملکرد مربوط به تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست بود که RWC را در سطح ۷۶.۸ درصد حفظ کرد، که ۴ درصد بیشتر از مقدار مشابه در سال اول بود. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست RWC را در سطح ۷۳.۴ درصد نگه داشت، در حالی که در سیستم شخم متداول، این ترکیب کودی RWC را در سطح ۷۰.۱ درصد حفظ کرد. کمترین مقدار RWC در این شرایط نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۶۲.۰

درصد بود که تقریباً مشابه سال اول بود. این نتایج نشان می‌دهند که در هر دو سال و در هر دو شرایط آبیاری، سیستم بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست بهترین نتایج را در حفظ RWC نشان داده است. بر اساس نتایج این مطالعه، سیستم بدون خاک‌ورزی (NT) در ترکیب با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NFVF)، بهترین عملکرد را در حفظ محتوای نسبی آب برگ (RWC) گیاه کنجد در هر دو شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی نشان داد. سیستم NT با حفظ ساختمان خاک، افزایش پایداری خاکدانه‌ها و ماده آلی، منجر به بهبود ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود.

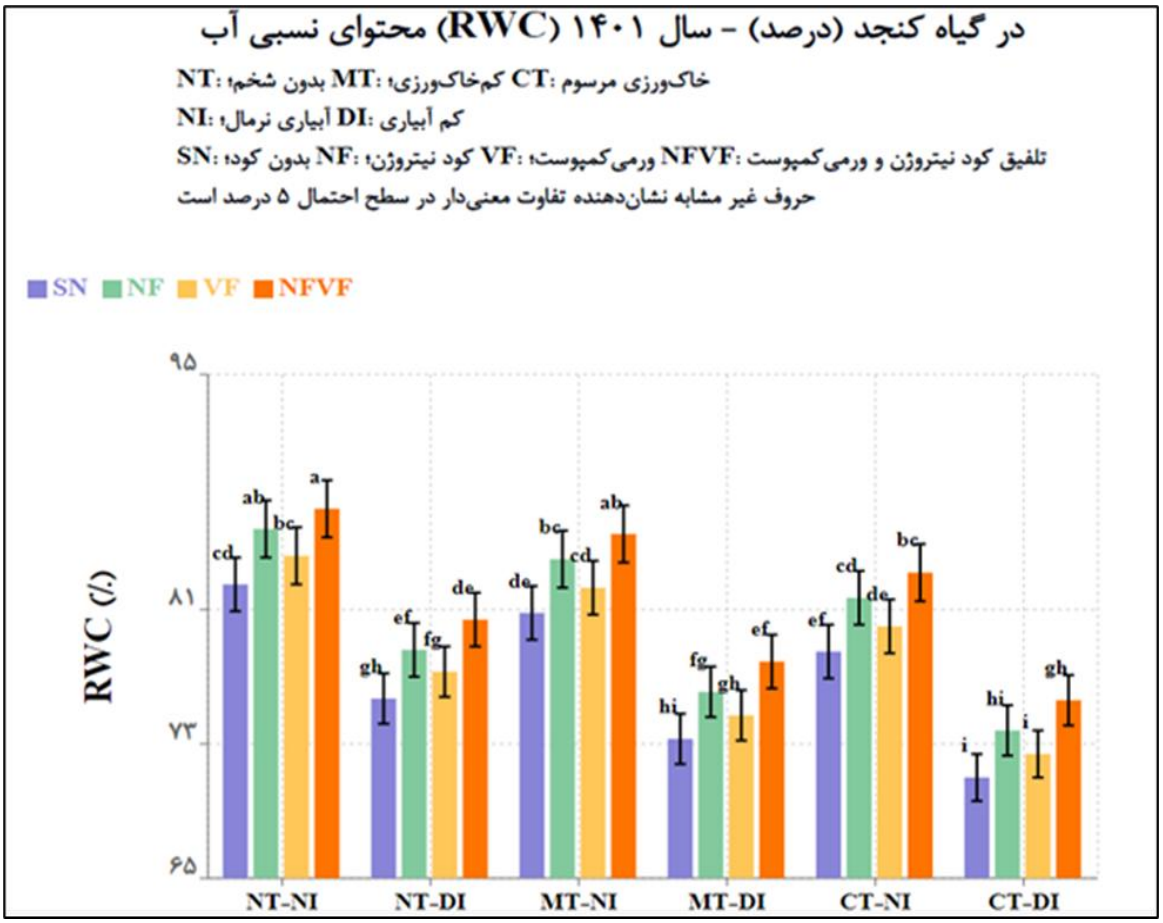
نمودار ۱- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود بر محتوای آب نسبی برگ در سال ۱۴۰۱



نمودار ۲- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود بر محتوای آب نسبی برگ در سال ۱۴۰۲



نمودار ۳- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود بر غچ در سال ۱۴۰۱ بر فعالیت آنزیم SOD

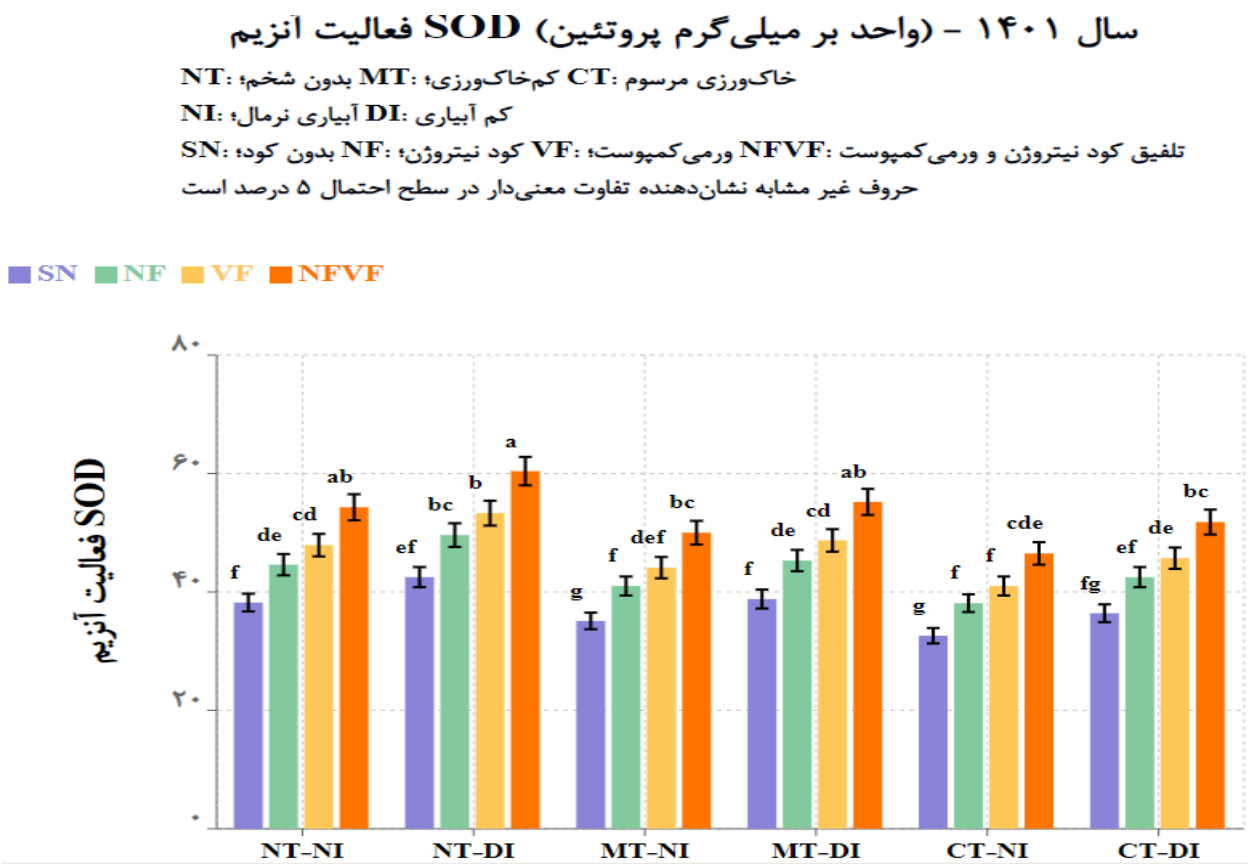


تأثیر سیستم‌های مختلف خاک ورزی و کوددهی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD):

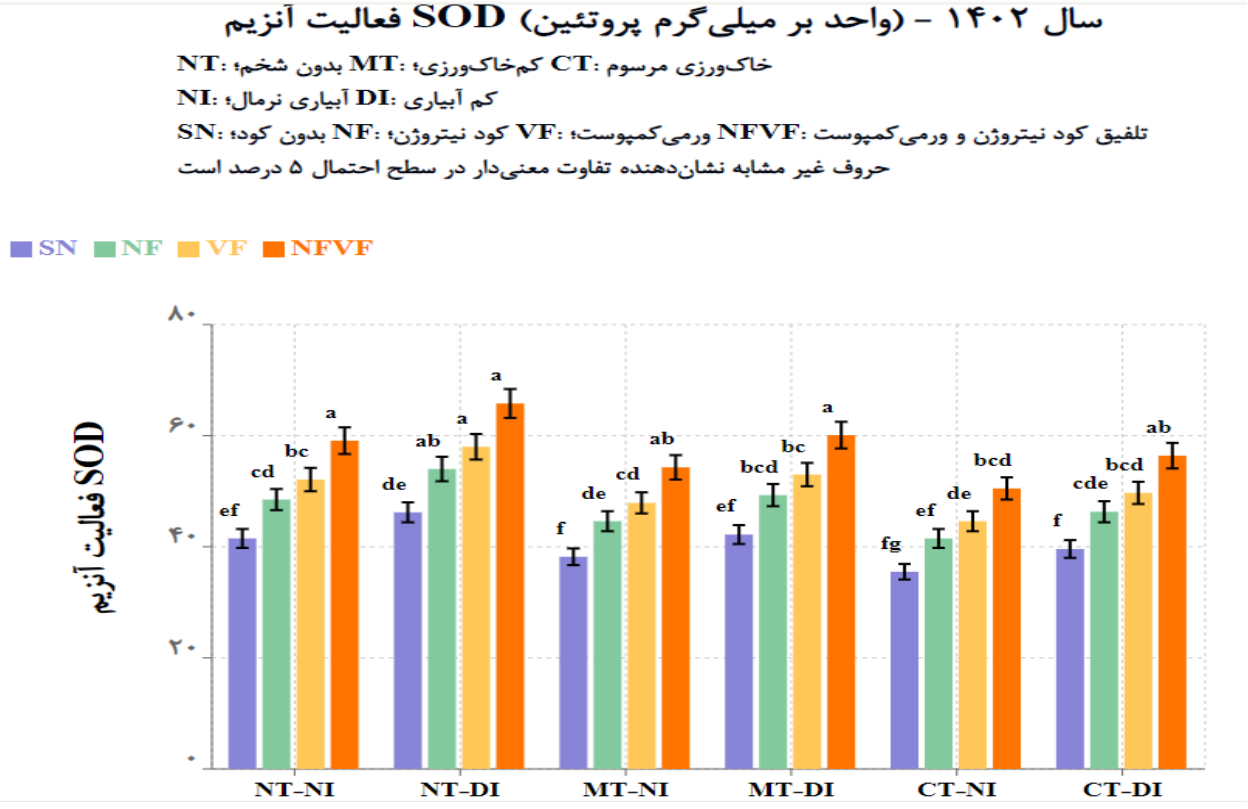
در این مطالعه دو ساله، تأثیر سیستم‌های مختلف خاک ورزی و کوددهی بر فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (SOD) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بررسی شد (نمودار ۳ و۴). نتایج نشان داد که ترکیب‌های مختلف تیمارها اثرات متفاوتی بر فعالیت SOD داشتند (نمودار ۳ و ۴). در سال اول مطالعه، در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار فعالیت SOD در تیمار

بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست مشاهده شد که به ۱۸۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رسید. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز عملکرد خوبی داشت و فعالیت SOD را به ۱۶۵ واحد بر میلیگرم پروتئین رساند. در سیستم بدون شخم، ورمی کمپوست به تنهایی فعالیت SOD را به ۱۷۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رساند، در حالی که تیمار بدون شخم با کود اوره به تنهایی فعالیت SOD را به ۱۶۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رساند. کمترین مقدار فعالیت SOD در این سال مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۱۴۰ واحد بر میلیگرم پروتئین بود. در شرایط تنش خشکی سال اول، الگوی مشابهی با مقادیر بالاتر فعالیت SOD مشاهده شد. تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست از ۱۸۰ به ۲۲۰ واحد بر میلیگرم پروتئین افزایش یافت. در سیستم بدون شخم، تیمارهای ورمی کمپوست و اوره به ترتیب از ۱۷۰ به ۲۱۰ واحد و از ۱۶۰ به ۱۹۵ واحد بر میلیگرم پروتئین رسیدند. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست نیز از ۱۶۵ به ۲۰۰ واحد بر میلیگرم پروتئین افزایش یافت. حتی در تیمار شخم متداول بدون کود، فعالیت SOD از ۱۴۰ به ۱۷۰ واحد بر میلیگرم پروتئین افزایش یافت. در سال دوم مطالعه، با بهبود شرایط آزمایش، نتایج بهتری حاصل شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست، فعالیت SOD را به ۱۹۰ واحد بر میلیگرم پروتئین افزایش داد که نسبت به سال قبل ۵.۶ درصد بهبود نشان میداد. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز به ۱۷۵ واحد بر میلیگرم پروتئین فعالیت SOD دست یافت که ۶.۱ درصد بیشتر از سال اول بود.

در سیستم بدون شخم، ورمی کمپوست به تنهایی فعالیت SOD را به ۱۸۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رساند، در حالی که تیمار با کود اوره به تنهایی به ۱۷۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رسید. کمترین مقدار فعالیت SOD در سال دوم نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود بود که با ۱۴۵ واحد بر میلیگرم پروتئین، اندکی بهبود نسبت به سال اول نشان داد. در شرایط تنش خشکی سال دوم، بهترین عملکرد مربوط به تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست بود که فعالیت SOD را در سطح ۲۴۰ واحد بر میلیگرم پروتئین نشان داد، که ۹.۱ درصد بیشتر از مقدار مشابه در سال اول بود. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست فعالیت SOD را در سطح ۲۲۰ واحد بر میلیگرم پروتئین نگه داشت، در حالی که در سیستم بدون شخم با ورمی کمپوست به تنهایی، این مقدار به ۲۳۰ واحد بر میلیگرم پروتئین رسید. کمترین مقدار فعالیت SOD در این شرایط نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۱۸۰ واحد بر میلیگرم پروتئین بود که نسبت به سال اول ۵.۹ درصد افزایش نشان داد. این نتایج نشان میدهند که در هر دو سال و در هر دو شرایط آبیاری، سیستم بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست بهترین نتایج را در افزایش فعالیت SOD نشان داده است.



نمودار ٤- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود بر غچ در سال ۱۴۰۲ بر فعالیت آنزیم

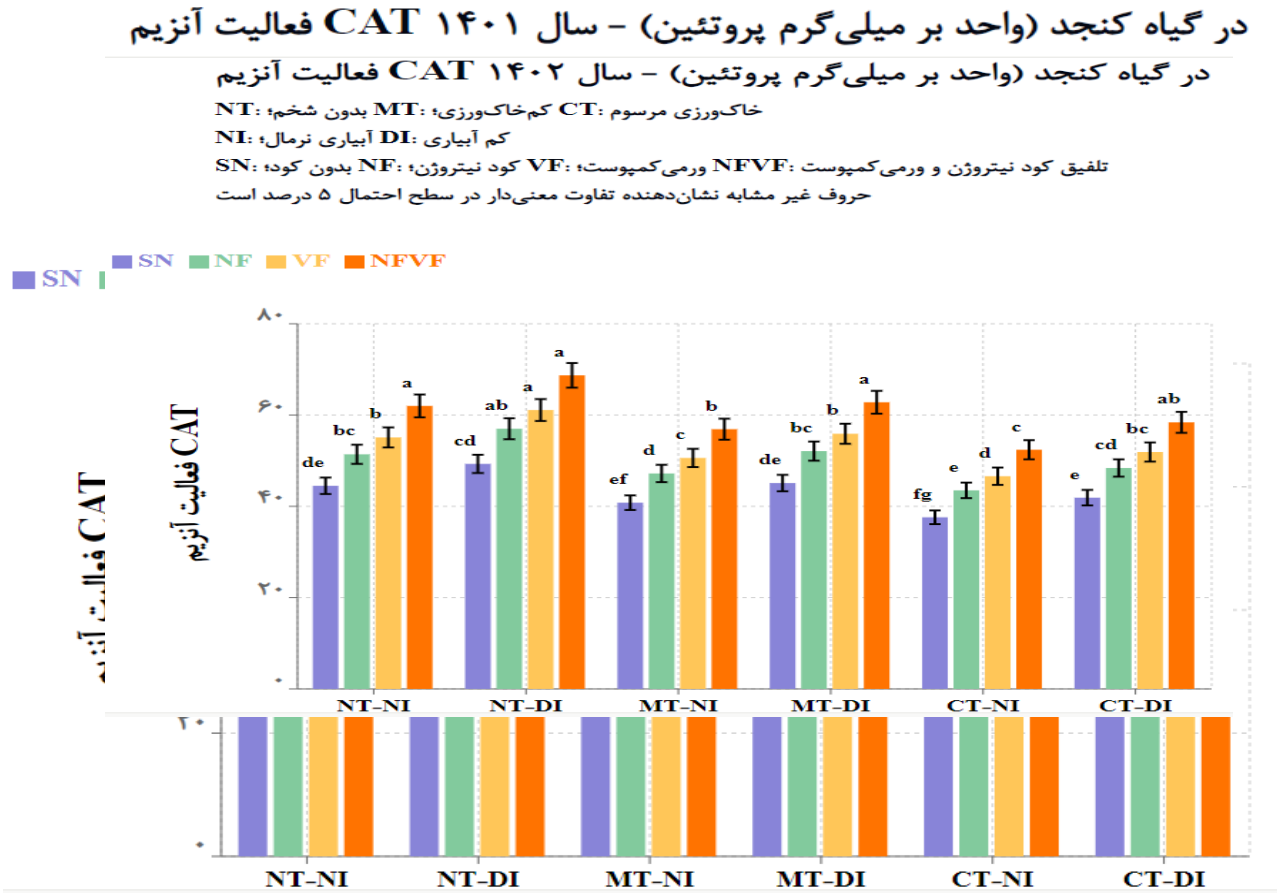


نمودار ٥- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود بر غچ در سال ۱۴۰۲ بر فعالیت آنزیم

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک ورزی و کوددهی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT)

در این مطالعه دو ساله، تأثیر سیستمهای مختلف خاکورزی و کوددهی بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بررسی شد (نمودار ۵ و۶ و جدول ۱ پیوست). نتایج نشان داد که ترکیبهای مختلف تیمارها اثرات متفاوتی بر فعالیت CAT داشتند. در سال اول مطالعه، در شرایط آبیاری مطلوب، بیشترین مقدار فعالیت CAT در تیمار بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست مشاهده شد که به ۸۵ میکرومول H2O2 تجزیه شده بر دقیقه بر میلیگرم پروتئین رسید. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز عملکرد خوبی داشت و فعالیت CAT را به ۷۸ واحد رساند. در سیستم بدون شخم، ورمی کمپوست به تنهایی فعالیت CAT را به ۸۰ واحد رساند، در حالی که تیمار بدون شخم با کود اوره به تنهایی فعالیت CAT را به ۷۵ واحد رساند. کمترین مقدار فعالیت CAT در این سال مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۶۵ واحد بود. در شرایط تنش خشکی سال اول، الگوی مشابهی با مقادیر بالاتر فعالیت CAT مشاهده شد. تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست از ۸۵ به ۱۱۰ واحد افزایش یافت. در سیستم بدون شخم، تیمارهای ورمی کمپوست و اوره به ترتیب از ۸۰ به ۱۰۵ واحد و از ۷۵ به ۹۵ واحد رسیدند. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست نیز از ۷۸ به ۱۰۰ واحد افزایش یافت. حتی در تیمار شخم متداول بدون کود، فعالیت CAT از ۶۵ به ۸۵ واحد افزایش یافت. در سال دوم مطالعه، با بهبود شرایط آزمایش، نتایج بهتری حاصل شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست، فعالیت CAT را به ۹۰ واحد افزایش داد که نسبت به سال قبل ۵.۹ درصد بهبود نشان میداد. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز به ۸۳ واحد فعالیت CAT دست یافت که ۶.۴ درصد بیشتر از سال اول بود. در سیستم بدون شخم، ورمی کمپوست به تنهایی فعالیت CAT را به ۸۵ واحد رساند، در حالی که تیمار با کود اوره به تنهایی به ۸۰ واحد رسید. کمترین مقدار فعالیت CAT در سال دوم نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود بود که با ۷۰ واحد، اندکی بهبود نسبت به سال اول نشان داد.ددر شرایط تنش خشکی سال دوم، بهترین عملکرد مربوط به تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست بود که فعالیت CAT را در سطح ۱۲۰ واحد نشان داد، که ۹.۱ درصد بیشتر از مقدار مشابه در سال اول بود. تیمار شخم حداقل با اوره و ورمی کمپوست فعالیت CAT را در سطح ۱۱۰ واحد نگه داشت، در حالی که در سیستم بدون شخم با ورمی کمپوست به تنهایی، این مقدار به ۱۱۵ واحد رسید. کمترین مقدار فعالیت CAT در این شرایط نیز مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود با ۹۰ واحد بود که نسبت به سال اول ۵.۹ درصد افزایش نشان داد. این نتایج نشان میدهند که در هر دو سال و در هر دو شرایط آبیاری، سیستم بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست بهترین نتایج را در افزایش فعالیت CAT نشان داده است. ترکیب بدون شخم با تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NT-NFVF) بیشترین افزایش فعالیت آنزیم CAT را در اثر کم‌آبیاری داشته است، به طوری که فعالیت این آنزیم از ۶۰.۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شرایط آبیاری نرمال به ۶۶.۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شرایط کم‌آبی افزایش یافت که معادل ۱۰.۶ درصد افزایش می‌باشد. در مقابل، ترکیب خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود (CT-SN) کمترین افزایش فعالیت آنزیم CAT را در اثر کم‌آبیاری نشان داد، به نحوی که فعالیت این آنزیم از ۳۶.۶ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شرایط آبیاری نرمال به ۴۰.۷ واحد بر میلی‌گرم پروتئین در شرایط کم‌آبیاری رسید که بیانگر ۱۱.۲ درصد افزایش است. اختلاف بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر فعالیت آنزیم CAT در شرایط کم‌آبیاری و تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (DI-NFVF) بیشترین مقدار (۱۰.۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بین NT و CT) و در شرایط آبیاری نرمال و عدم کاربرد کود (NI-SN) کمترین مقدار (۶.۵ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بین NT و CT) را داشت. همچنین، اختلاف بین کودها از نظر فعالیت آنزیم CAT در شرایط کم‌آبیاری و بدون شخم (DI-NT) بیشترین (۱۹.۴ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بین SN و NFVF) و در شرایط آبیاری نرمال و خاک‌ورزی مرسوم (NI-CT) کمترین (۱۵.۳ واحد بر میلی‌گرم پروتئین بین SN و NFVF) بود. براساس نتایج این پژوهش، سیستم بدون خاک‌ورزی (NT) در ترکیب با کاربرد توأم کود نیتروژن (اوره) و ورمی‌کمپوست (NFVF)، بیشترین تأثیر مثبت را بر فعالیت آنزیم کاتالاز (CAT) در گیاه کنجد داشت.

CAT یک آنزیم کلیدی در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی است که با تجزیه پراکسید هیدروژن (H2O2) به آب و اکسیژن مولکولی، نقش مهمی در کاهش تنش اکسیداتیو سلولی ایفا می‌کند.



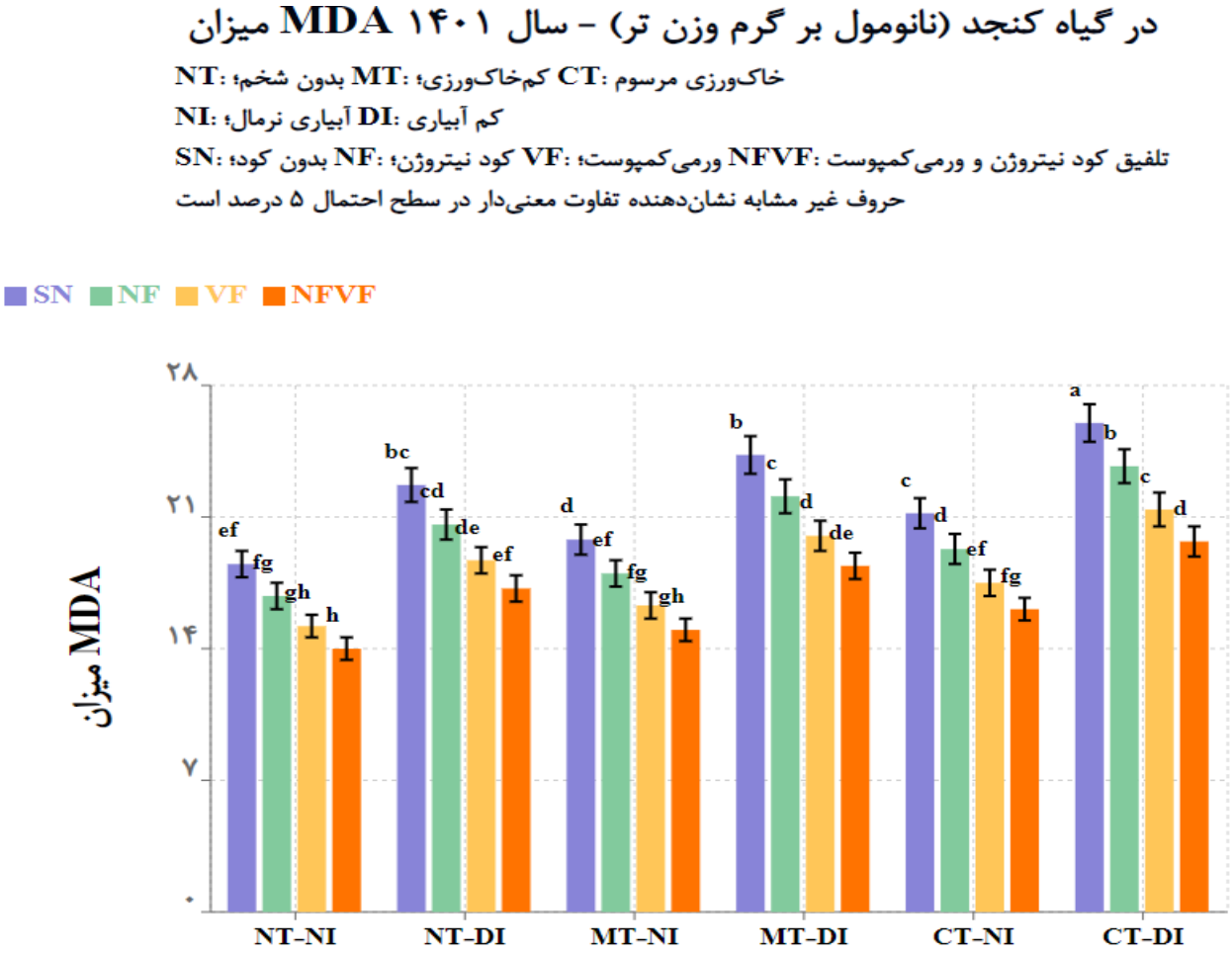
نمودار ٦- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود در سال ۱۴۰۱ بر فعالیت آنزیم CAT

نمودار ۷- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود در سال ۱۴۰۲ بر فعالیت آنزیم CAT

تأثیر سیستم‌های مختلف خاک ورزی و کوددهی بر میزان مالون دیآلدئید (MDA)

در این مطالعه دو ساله، تأثیر سیستم‌های مختلف خاک ورزی و کوددهی بر میزان مالون دیآلدئید (MDA) در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی بررسی شد (نمودار ۷ و۸ و جدول ۱ پیوست). MDA به عنوان شاخصی از پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب اکسیداتیو به غشاهای سلولی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که ترکیب‌های مختلف تیمارها اثرات متفاوتی بر میزان MDA داشتند. در سال اول مطالعه، در شرایط آبیاری مطلوب، کمترین میزان MDA در تیمار بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست مشاهده شد (۱۸.۵ نانومول بر گرم وزن تر). این مقدار به طور معناداری کمتر از سایر تیمارها بود. تیمار شخم حداقل با همین ترکیب کودی نیز عملکرد نسبتاً خوبی داشت (۲۰.۳ نانومول بر گرم وزن تر)، اما تفاوت معناداری با تیمار بدون شخم و ورمی کمپوست به تنهایی (۱۹.۲ نانومول بر گرم وزن تر) نداشت. در شرایط تنش خشکی سال اول، میزان MDAدر تمامی تیمارها افزایش یافت، اما این افزایش در تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست کمتر بود (۲۸.۷ نانومول بر گرم وزن تر). این مقدار ٪۵۵.۱ بیشتر از شرایط آبیاری مطلوب بود، اما همچنان کمترین میزان در بین تمام تیمارها در شرایط تنش محسوب می‌شد. بیشترین میزان MDA در شرایط تنش مربوط به تیمار شخم متداول بدون کود بود (۳۹.۶ نانومول بر گرم وزن تر)، که ٪۵۳.۵ افزایش نسبت به شرایط مطلوب نشان داد. در سال دوم مطالعه، روند مشابهی با مقادیر کمی پایینتر MDA مشاهده شد. در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار بدون شخم با ترکیب اوره و ورمی کمپوست، میزان MDA را به ۱۷.۲ نانومول بر گرم وزن تر کاهش داد که نسبت به سال قبل ٪۷.۰ بهبود نشان می‌داد. این کاهش می‌تواند نشان‌دهنده سازگاری تدریجی گیاه با شرایط مدیریتی و بهبود سیستم‌های دفاعی آنتیاکسیدانی باشد. در شرایط تنش خشکی سال دوم، همین تیمار میزان MDA را در سطح ۲۶.۹ نانومول بر گرم وزن تر نگه داشت که ٪۶.۳ کمتر از مقدار مشابه در سال اول بود. این کاهش در میزان MDA می‌تواند نشان‌دهنده افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی در سال دوم باشد. مقایسه بین سیستم‌های خاک ورزی نشان داد که در هر دو سال و در هر دو شرایط آبیاری، سیستم بدون شخم کمترین میزان MDA را داشت. به طور متوسط، در شرایط آبیاری مطلوب، سیستم بدون شخم ٪۲۸.۳ و در شرایط تنش خشکی ٪۲۷.۵ میزان MDA کمتری نسبت به سیستم شخم متداول نشان داد. تأثیر مثبت ورمی کمپوست در کاهش MDA در تمام تیمارها مشهود بود. در سال دوم و در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار بدون شخم با ورمی کمپوست به تنهایی، میزان MDA را ۱۰.۷% کمتر از تیمار مشابه با اوره نشان داد (۱۸.۳ در مقابل ۲۰.۵ نانومول بر گرم وزن تر). این نتایج نشان می‌دهند که در هر دو سال و در هر دو شرایط آبیاری، سیستم بدون شخم با ترکیب کودی اوره و ورمی کمپوست کمترین میزان MDA را نشان داده است، که بیانگر کمترین آسیب اکسیداتیو به غشاهای سلولی است. ترکیب خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود (CT-SN) بیشترین افزایش میزان MDA را در اثر کم‌آبیاری داشته است، به طوری که میزان MDA از ۲۰.۷ نانومول بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری نرمال به ۲۵.۴ نانومول بر گرم وزن تر در شرایط کم‌آبی افزایش یافت که معادل ۲۲.۷ درصد افزایش می‌باشد. در مقابل، ترکیب بدون شخم با تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NT-NFVF) کمترین افزایش میزان MDA را در اثر کم‌آبیاری نشان داد، به نحوی که میزان MDA از ۱۳.۷ نانومول بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری نرمال به ۱۶.۸ نانومول بر گرم وزن تر در شرایط کم‌آبیاری رسید که بیانگر ۲۲.۶ درصد افزایش است. اختلاف بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر میزان MDA در شرایط کم‌آبیاری و عدم کاربرد کود (DI-SN) بیشترین مقدار (۴.۲ نانومول بر گرم وزن تر بین CT و NT) و در شرایط آبیاری نرمال و تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NI-NFVF) کمترین مقدار (۲.۲ نانومول بر گرم وزن تر بین CT و NT) را داشت. همچنین، اختلاف بین کودها از نظر میزان MDA در شرایط کم‌آبیاری و خاک‌ورزی مرسوم (DI-CT) بیشترین (۶.۰ نانومول بر گرم وزن تر بین SN و NFVF) و در شرایط آبیاری نرمال و بدون شخم (NI-NT) کمترین (۴.۳ نانومول بر گرم وزن تر بین SN و NFVF) بود. براساس نتایج این مطالعه دو ساله، سیستم بدون خاک‌ورزی (NT) به همراه کاربرد تلفیقی کود نیتروژن (اوره) و ورمی‌کمپوست (NFVF)، کمترین میزان مالون دی‌آلدئید (MDA) را در گیاه کنجد نشان داد. MDA محصول

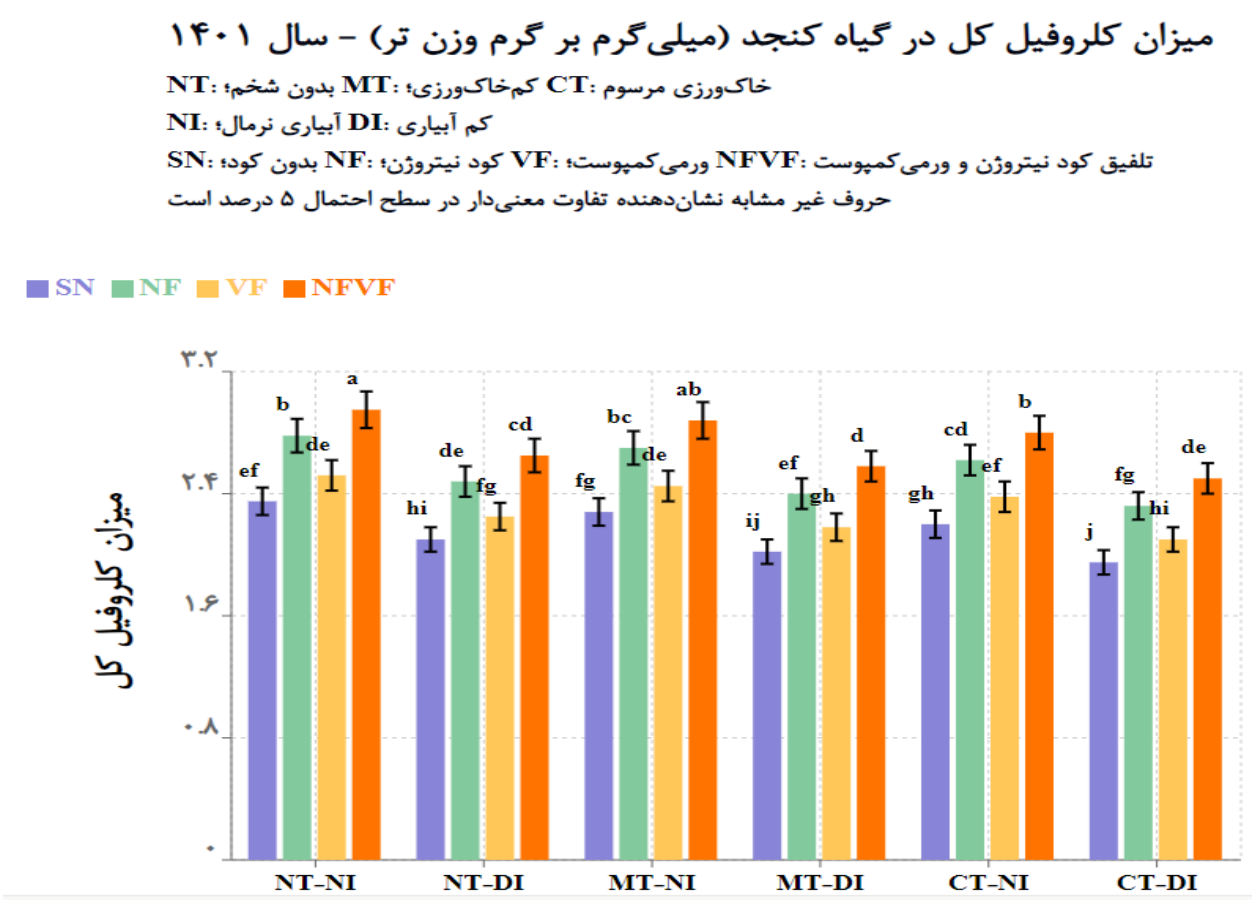
نهایی پراکسیداسیون لیپیدها است و به عنوان شاخصی از آسیب اکسیداتیو به غشاهای سلولی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین، پایین بودن سطح MDA در تیمار NT-NFVF بیانگر کارایی این سیستم مدیریتی در کاهش تنش اکسیداتیو و حفظ یکپارچگی غشاهای سلولی است.



نمودار ۸- تاثیر رژیم های آبیاری، سیستم های شخم و نوع کود در سال ۱۴۰۱ بر میزان MDA

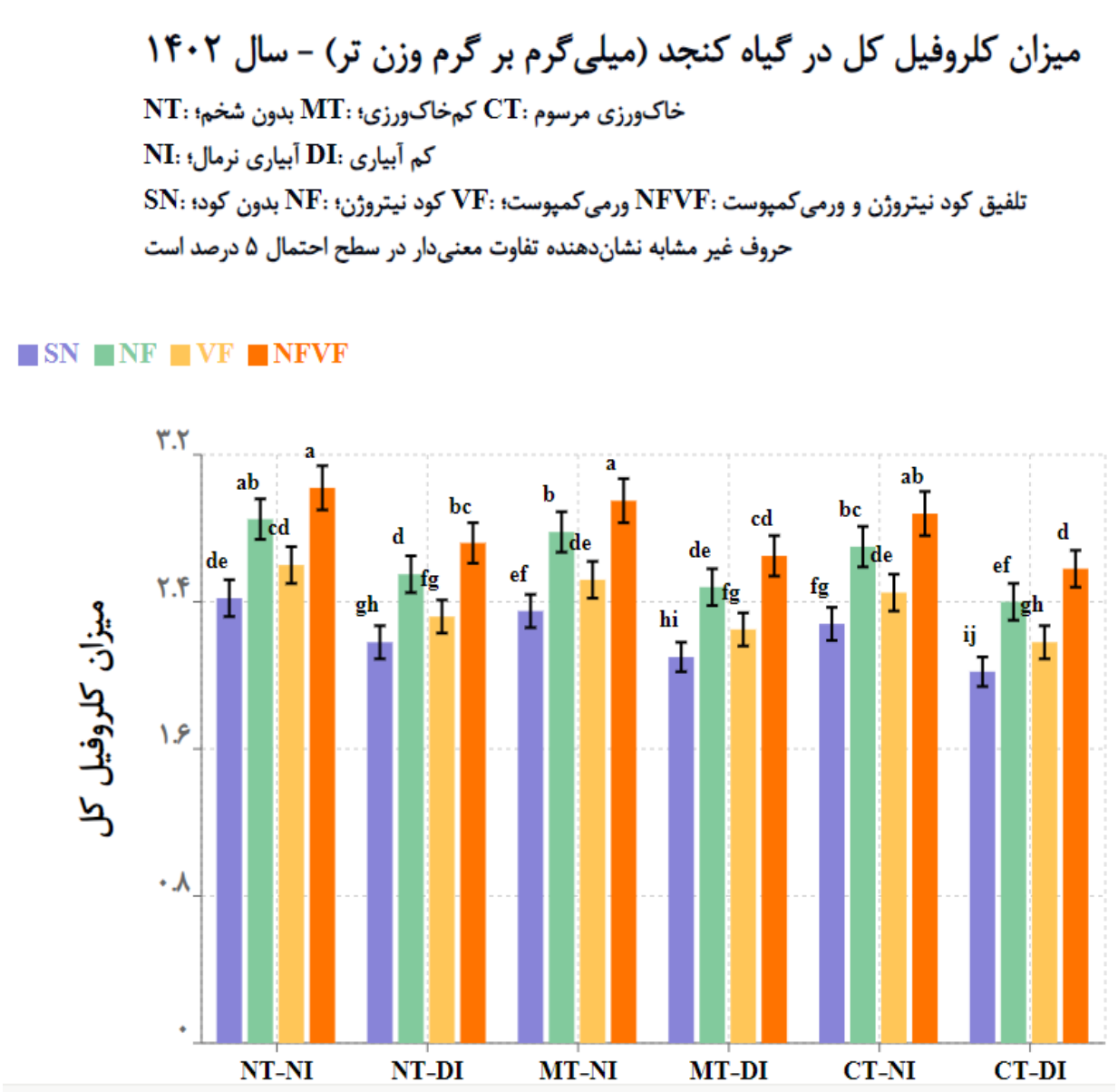
در این آزمایش دو ساله، اثرات سیستم‌های مختلف خاکورزی شامل بدون شخم، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در ترکیب با چهار روش کوددهی یعنی عدم کاربرد کود، مصرف کود نیتروژن، کاربرد ورمی‌کمپوست و تلفیق کود نیتروژن با ورمی‌کمپوست، تحت شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری، بر میزان کلروفیل کل در گیاه کنجد بررسی شد (نمودار ۲۳ و۲۴ و جدول ۱ پیوست).نتایج سال اول آزمایش نشان داد که در شرایط آبیاری نرمال، بیشترین میزان کلروفیل کل به میزان ۲.۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، در تیمار بدون شخم همراه با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست مشاهده شد. پس از آن، تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با همین ترکیب کودی، با ۲.۵۸ و ۲.۵۰ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. کمترین میزان کلروفیل کل با ۱.۷۲ میلی‌گرم بر گرم، در سیستم خاک‌ورزی مرسوم و عدم کاربرد کود ثبت شد.در شرایط کم‌آبیاری سال اول، تیمار بدون شخم با مصرف توأم کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست، بیشترین میزان کلروفیل کل برابر با ۲.۳۸ میلی‌گرم بر گرم را تولید کرد. پس از آن، تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با همین کوددهی، با ۲.۳۰ و ۲.۲۲ میلی‌گرم بر گرم در جایگاه‌های بعدی قرار گرفتند. در مقابل، تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود، کمترین میزان کلروفیل کل معادل ۱.۷۲ میلی‌گرم بر گرم را دارا بود.نتایج سال دوم آزمایش مشابه سال اول بود. در شرایط آبیاری نرمال، بیشترین میزان کلروفیل کل با ۲.۷۸ میلی‌گرم بر گرم، در بدون شخم با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست مشاهده شد. تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و

خاک‌ورزی مرسوم با همین کوددهی، با ۲.۷۰ و ۲.۶۲ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی بودند. کمترین میزان کلروفیل کل با ۱.۸۰ میلی‌گرم بر گرم، در سیستم های کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود به‌دست آمد. تحت شرایط کم‌آبیاری در سال دوم، بالاترین میزان کلروفیل کل با ۲.۴۸ میلی‌گرم بر گرم، در تیمار بدون شخم با کاربرد توأم کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست ثبت شد. کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با همین کوددهی، با ۲.۴۰ و ۲.۳۲ میلی‌گرم بر گرم در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. پایین‌ترین میزان کلروفیل کل با ۱.۸۰ میلی‌گرم بر گرم، مربوط به تیمار خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود بود.



نمودار ۹- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود در سال ۱۴۰۲ بر کلروفیل

به‌طور کلی نتایج این پژوهش طی دو سال آزمایش و در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری نشان داد که سیستم بدون خاک ورزی در ترکیب با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست، موجب افزایش قابل توجه میزان کلروفیل کل در گیاه کنجد گردید. در مقابل، روش خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد هیچ‌گونه کودی، کمترین میزان کلروفیل کل را صرف‌نظر از سال و شرایط رطوبتی، به خود اختصاص داد. این یافته‌ها حاکی از آن است که حذف یا کاهش شدت عملیات خاک ورزی در کنار کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی، با بهبود شرایط رشدی گیاه، موجب افزایش چشمگیر میزان کلروفیل کل در گیاه کنجد می‌شود. در مقابل، انجام خاک‌ورزی مرسوم و عدم استفاده از کود، با ایجاد محدودیت در فراهمی مواد غذایی و رشد گیاه، کاهش قابل توجه این رنگیزه حیاتی مهم را در پی دارد. بنابراین، اتخاذ مدیریت صحیح خاک ورزی و کود دهی می‌تواند نقش مهمی در دستیابی به حداکثر میزان کلروفیل کل که شاخصی از سلامت و کارایی فتوسنتزی گیاه است، ایفا نماید.



نمودار ۱۰- تاثیر رژیم‌های آبیاری، سیستم‌های شخم و نوع کود در سال ۱۴۰۲ بر کلروفیل

ترکیب بدون شخم با تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NT-NFVF) کمترین کاهش میزان کلروفیل کل را در اثر کم‌آبیاری داشته است، به طوری که میزان کلروفیل کل از ۲/۶۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری نرمال به ۲/۳۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط کم‌آبی کاهش یافت (معادل ۱۰/۲ درصد کاهش). در مقابل، ترکیب خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود (CT-SN) بیشترین کاهش میزان کلروفیل کل را در اثر کم‌آبیاری نشان داد، به نحوی که میزان کلروفیل کل از ۲/۰۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری نرمال به ۱/۷۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر در شرایط کم‌آبیاری رسید (بیانگر ۱۴/۰ درصد کاهش). اختلاف بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر میزان کلروفیل کل در شرایط کم‌آبیاری و عدم کاربرد کود(DI-SN)بیشترین مقدار (۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بین NT و CT) و در شرایط آبیاری نرمال و تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NI-NFVF) کمترین مقدار (۰/۱۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بین NT و CT) را داشت. همچنین، اختلاف بین کودها از نظر میزان کلروفیل کل در شرایط کم‌آبیاری و خاک‌ورزی مرسوم (DI-CT) بیشترین (۰/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بین SN و NFVF) و در شرایط آبیاری نرمال و بدون شخم (NI-NT) کمترین (۰/۵۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر

بین SN و NFVF) بود. نتایج این مطالعه نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی (NT) در ترکیب با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NFVF)، بیشترین تأثیر را بر افزایش میزان کلروفیل کل گیاه کنجد داشت. این برتری تحت هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش طی دو سال آزمایش و در هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری نشان داد که سیستم بدون خاک ورزی در ترکیب با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست، موجب افزایش قابل توجه میزان رطوبت خاک گردید. در مقابل، روش خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد هیچ‌گونه کودی، کمترین میزان رطوبت خاک را صرف‌نظر از سال و شرایط رطوبتی، به خود اختصاص داد. این یافته‌ها حاکی از آن است که حذف عملیات خاک ورزی و کاربرد توأم کودهای آلی و شیمیایی، با بهبود ساختمان خاک، افزایش ظرفیت نگهداری آب و کاهش تبخیر، موجب افزایش چشمگیر رطوبت خاک می‌شود. در مقابل، انجام خاک‌ورزی مرسوم و عدم استفاده از کود، با تخریب ساختمان خاک و افزایش تلفات آب، کاهش قابل توجه رطوبت خاک را در پی دارد؛ بنابراین، اتخاذ مدیریت صحیح خاک ورزی و کود دهی می‌تواند نقش بسزایی در حفظ و بهبود وضعیت رطوبتی خاک داشته باشد. ترکیب بدون شخم با تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NT-NFVF) کمترین کاهش رطوبت خاک را در اثر کم‌آبیاری داشته است، به طوری که رطوبت خاک از ۲۵/۵ درصد در شرایط آبیاری نرمال به ۲۲/۸ درصد در شرایط کم‌آبی کاهش یافت (معادل ۱۰/۶ درصد کاهش). در مقابل، ترکیب خاک‌ورزی مرسوم بدون کاربرد کود (CT-SN) بیشترین کاهش رطوبت خاک را در اثر کم‌آبیاری نشان داد، به نحوی که رطوبت خاک از ۲۱/۷ درصد در شرایط آبیاری نرمال به ۱۹/۰ درصد در شرایط کم‌آبیاری رسید (بیانگر ۱۲/۴ درصد کاهش). اختلاف بین روش‌های خاک‌ورزی از نظر رطوبت خاک در شرایط کم‌آبیاری و عدم کاربرد کود (DI-SN) بیشترین مقدار (۱/۸ درصد بین NT وCT) و در شرایط آبیاری نرمال و تلفیق کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NI-NFVF) کمترین مقدار (۱/۸ درصد بین NT و CT) را داشت. همچنین، اختلاف بین کودها از نظر رطوبت خاک در شرایط کم‌آبیاری و خاک‌ورزی مرسوم (DI-CT) بیشترین (۲/۰ درصد بین SN و NFVF) و در شرایط آبیاری نرمال و بدون شخم (NI-NT) کمترین (۲/۰ درصد بین SN و NFVF) بود. نتایج این مطالعه نشان داد که سیستم بدون خاک‌ورزی (NT) در ترکیب با کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست (NFVF)، بیشترین تأثیر مثبت را بر میزان رطوبت خاک داشت. در مقابل، سیستم خاک‌ورزی مرسوم (CT) بدون کاربرد کود (SN) کمترین میزان رطوبت خاک را نشان داد. این الگو تحت هر دو شرایط آبیاری نرمال و کم‌آبیاری مشاهده شد. افزایش میزان رطوبت خاک در سیستم NT-NFVF را می‌توان به چندین عامل نسبت داد. اول، سیستم بدون خاک‌ورزی با حفظ ساختار طبیعی خاک و بقایای گیاهی در سطح، موجب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌شود. این امر منجر به افزایش نفوذپذیری، کاهش تبخیر و حفظ رطوبت بیشتر در خاک می‌گردد. وجود بقایای گیاهی در سطح خاک به عنوان یک لایه محافظ عمل کرده و از تبخیر سریع آب جلوگیری می‌کند. دوم، کاربرد تلفیقی کود نیتروژن و ورمی‌کمپوست، با افزودن ماده آلی و بهبود ساختار خاک، تأثیر مضاعفی بر افزایش ظرفیت نگهداری آب خاک دارد. ورمی‌کمپوست به طور خاص با ایجاد خلل و فرج در خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها، نقش مهمی در بهبود ظرفیت نگهداری آب ایفا می‌کند. در مقابل، کاهش میزان رطوبت خاک در سیستم CT-SN را می‌توان به تخریب ساختمان خاک در اثر عملیات مکرر خاک‌ورزی و عدم افزودن ماده آلی نسبت داد. خاک‌ورزی مرسوم با شکستن خاکدانه‌ها و کاهش پایداری ساختمان خاک، منجر به کاهش ظرفیت نگهداری آب می‌شود. همچنین، عدم وجود پوشش سطحی خاک در این سیستم، تبخیر از سطح خاک را افزایش می‌دهد. عدم کاربرد کود نیز باعث کاهش ورودی ماده آلی به خاک شده و توانایی خاک در حفظ رطوبت را کاهش می‌دهد. تفاوت قابل توجه بین تیمار NT-NFVF و CT-SN نشان‌دهنده اهمیت مدیریت یکپارچه خاک و تغذیه گیاه در بهبود وضعیت رطوبتی خاک است. در شرایط کم‌آبیاری، این تفاوت حتی بیشتر نمایان شد، که نشان می‌دهد سیستم NT-NFVF در حفظ رطوبت خاک تحت شرایط تنش آبی نیز مؤثرتر عمل می‌کند. سیستم

کم‌خاک‌ورزی (MT) در مقایسه با CT و NT، عملکردی میانه در حفظ رطوبت خاک نشان داد. این امر نشان می‌دهد که حتی کاهش شدت خاک‌ورزی می‌تواند تا حدودی از تخریب ساختمان خاک جلوگیری کرده و وضعیت رطوبتی خاک را بهبود بخشد.

منابع

Aboelsoud, H. M., & Ahmed, A. A. (2020). Effect of biochar, vermicompost and polymer on wheat and maize productivity in sandy soils under drought stress. Environment, biodiversity and soil security, 4(2020), 85-102.

Ahmad, A., Aslam, Z., Ahmad, M., Zulfiqar, U., Yaqoob, S., Hussain, S., ... & Elshikh, M. S. (2024). Vermicompost application upregulates morpho-physiological and antioxidant defense to conferring drought tolerance in wheat. Plant Stress, 11, 100360.

Azimi, S., Khoshravesh, M., Darzi Naftchali, A., & Abedinpour, M. (2023). Investigating the effects of different amounts of A200 hydrogel and vermicompost on wheat crop under deficit irrigation.4(46).98-8.

Baghery, M. A., Kazemitabar, S. K., Dehestani, A., & Mehrabanjoubani, P. (2023). Sesame (Sesamum indicum L.) response to drought stress: susceptible and tolerant genotypes exhibit different physiological, biochemical, and molecular response patterns. Physiology and Molecular Biology of Plants, 29(9), 1353-1369.

Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2021). Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 200-208.

Feizabadi, A., Noormohammadi, G., & Fatehi, F. (2021). Changes in growth, physiology, and fatty acid profile of rapeseed cultivars treated with vermicompost under drought stress. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21(1), 200-208.

Ghaffari, H., Tadayon, M. R., Bahador, M., & Razmjoo, J. (2022). Biochemical and yield response of sugar beet to drought stress and foliar application of vermicompost tea. Plant Stress, 5, 100087.

Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.

Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.

Hamedani, N. G., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F., & Amiri, B. (2022). Yield, irrigation water productivity and nutrient uptake of arbuscular mycorrhiza inoculated sesame under drought stress conditions. Agricultural Water Management, 266, 107569.

Jaswal, R., & Sandal, S. K. (2023). Effect of tillage and irrigation on growth and productivity in maize-wheat sequence. Journal of Agriculture and Food Research, 12, 100594.

Jeyaraj, S., & Beevy, S. S. (2024). Insights into the Drought Stress Tolerance Mechanisms of Sesame: The Queen of Oilseeds. Journal of Plant Growth Regulation, 1-22.

Khodabin, G., Jalilian, A., Khayat Moghadam, M. S., & Kazemi, S. (2024). Management of Tillage and Fertilizer Systems on Seed Yield and Nitrogen Efficiency Indices of

Rapeseed in Sandy Soil under Drought Stress Conditions. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION, 33(4), 327-342.

Khodabin, G., Jalilian, A., Khayat Moghadam, M. S., & Kazemi, S. (2024). Management of Tillage and Fertilizer Systems on Seed Yield and Nitrogen Efficiency Indices of Rapeseed in Sandy Soil under Drought Stress Conditions. JOURNAL OF AGRICULTURAL SCIENCE AND SUSTAINABLE PRODUCTION, 33(4), 327-342.

Lahbouki, S., Hashem, A., Kumar, A., Abd_Allah, E. F., & Meddich, A. (2024). Integration of Horse Manure Vermicompost Doses and Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Fruit Quality, and Soil Fertility in Tomato Field Facing Drought Stress. Plants, 13(11), 1449.

Pandey, B. B., Ratnakumar, P. B. U. K., Usha Kiran, B., Dudhe, M. Y., Lakshmi, G. S., Ramesh, K., & Guhey, A. (2021). Identifying traits associated with terminal drought tolerance in sesame (Sesamum indicum L.) genotypes. Frontiers in Plant Science, 12, 739896.

Piri, H., Naserin, A., & Albalasmeh, A. A. (2022). Interactive effects of deficit irrigation and vermicompost on yield, quality, and irrigation water use efficiency of greenhouse cucumber. Journal of Arid Land, 14(11), 1274-1292.

Rajanna, G. A., Dass, A., Suman, A., Babu, S., Venkatesh, P., Singh, V. K., ... & Sudhishri, S. (2022). Co-implementation of tillage, irrigation, and fertilizers in soybean: Impact on crop productivity, soil moisture, and soil microbial dynamics. Field Crops Research, 288, 108672.

Rehaman, A., Fatma, M., Jan, A. T., Shah, A. A., Asgher, M., & Khan, N. A. (2023). Co-Application of nitric oxide and vermicompost improves photosynthetic functions, antioxidants, and nitrogen metabolism in maize (Zea mays L.) grown under drought stress. Journal of Plant Growth Regulation, 42(6), 3888-3907.

Wang, X., Wang, M., Yan, G., Yang, H., Wei, G., Shen, T., ... & Wu, Z. (2023). Comparative analysis of drought stress-induced physiological and transcriptional changes of two black sesame cultivars during anthesis. Frontiers in Plant Science, 14, 1117507.

Zhang, Y., Cui, J., Liu, X., Liu, H., Liu, Y., Jiang, X., ... & Zhang, M. (2022). Application of water-energy-food nexus approach for optimal tillage and irrigation management in intensive wheat-maize double cropping system. Journal of Cleaner Production, 381, 135181.