تأثیر توأم انواع سیستم و سطوح آب آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کلزا

مصطفی قهرمان‌نژاد[۱]، رضا دلیر حسن نیا*[۲]، ابوالفضل مجنونی هریس[۳]، داود زارع حقی[٤]

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

٤- دانشیار، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: delearhasannia@yahoo.com

چکیده

کاهش سریع سطح آب زیرزمینی، توسعه کشاورزی آبی پایدار را تهدید می کند. با توجه به محدودیت منابع آب‌های زیرزمینی و لزوم استفاده بهینه از آب‌های سطحی، اصلاح سامانه‌های آبیاری از ضروریات است. یکی دیگر از روش‌های افزایش بهره‌وری آب، اتخاذ راهبردهای کم آبیاری است. این تحقیق به مقایسه تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کلزا تحت سه روش آبیاری جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای نواری با چهار تیمار آبیاری ٦٠، ٨٠، ١٠٠ و ١٢٠ درصد آبیاری کامل می‌پردازد. برای این منظور آزمایش‌های مزرعه‌ای به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال‌های زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در بخش گوگان استان آذربایجان شرقی انجام شد. نتایج به دست آمده نشان داد که بدون در نظر گرفتن مقدار آبیاری، عملکرد محصول و سایر شاخص های رشد در آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به دو روش دیگر بهتر بود بطوریکه روش قطره‌ای نواری در سطح ١٢٠ درصد دارای بیشترین مقدار محصول، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته بود. کمترین مقدار آب آبیاری مربوط به روش قطره‌ای نواری در سطح ٦٠ درصد می‌باشد و این روش مقدار آب آبیاری را نسبت به روش‌های جویچه‌ای و بارانی در همان سطح به ترتیب ٤٩ و ٢١ درصد کاهش داد. بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ٦٠ درصد بود. در این سطح، روش قطره‌ای نواری مقدار بهره‌وری مصرف آب آبیاری را نسبت به روش‌های جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ٨٧ و ٢٥ درصد و مقدار بهره‌وری مصرف آب را نسبت به روش‌های جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ٢٢ و ١٥ درصد افزایش داد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند روش قطره‌ای نواری و بارانی بجای روش‌های سطحی علاوه بر صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی باعث بهبود عملکرد محصول نیز می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، روش آبیاری، کم‌آبیاری، کلزا

Simultaneous Effect of System Types and Irrigation Water Levels on the Performance and Water Use Productivity of Canola

Mostafa Ghahremannejad[1], Reza Delirhasannia[*2], Abolfazl Majnooni-Heris[3], Davoud Zarehaghi[4]

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz.

2- Assoc. Prof, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.
3 - Assoc. Prof, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

4 - Assoc. Prof, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran.

*****Corresponding Author, Email: delearhasannia@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Objective

Water is the most important and limiting production factor in agriculture. The rapid decline of groundwater table is threatening sustainable irrigation agricultural development. Considering the limitation of ground water resources and the necessity of optimal use of surface water, the reform of the irrigation systems is a necessity. Iran is located in one of the driest regions of the world. Based on this, one of the major challenges in providing food for the growing population is the issue of water and proper management of water resources. With the increasing shortage of irrigation water, new irrigation methods for optimal use of water will be more important in the future. Another way to increase water productivity is to adopt deficit irrigation strategies. Deficit irrigation is defined as the use of water less than the plant's water requirement, which has been developed in many countries in order to reduce the amount of irrigation water.

Methodology

This study compares the effects of different irrigation regimes on seed yield and water productivity of canola with three irrigation mathods of furrow, sprinkler and drip with four irrigation treatments included 60, 80, 100, and 120 percent of full irrigation amount. For this purpose, a field experiment was carried out using a split plot completely randomized design with three replications in Tabriz during 2018-2019 and 2019-2020 grwoing seasons. The soil class of the farm is sandy loam. The amount of effective rainfall in the growing season was 278 mm in the first year and 202 mm in the second year. In each experimental unit of furrow and drip irrigation method, there were 4 rows of planting 8 meters long and in each experimental unit of sprinkler irrigation method there were 6 rows of planting 3 meters long. The distance between planting rows was 50 cm and the distance between plants in each row was 3 to 5 cm, and the seeds were planted at a depth of 1 to 2 cm. Octans autumn hybrid canola seed variety was used for cultivation. Hunter model A12 hidden sprinkler with a spraying radius of 3.7 meters was used for sprinkler irrigation. In this plan, a sprinkler was installed in each corner of the plot, and to prevent interference between the plots, the radius of the sprinkler was adjusted to 90 degrees. For drip irrigation, a strip with an aperture distance of 20 cm and a thickness of 175 microns was used. In this research, the irrigation timing was applied in the furrow method based on the fixed cycle of 10 days for the area and for drip and sprinkler irrigation cycle of 5 days. The amount of irrigation water in each irrigation round was estimated by measuring the volumetric soil moisture before each irrigation round in the full irrigation treatment, and according to the area of each plot and applying the irrigation efficiency, the amount of water used for each

method was obtained. The actual evaporation and transpiration of rapeseed was obtained from the water balance equation. At the end of the growing season, the product of each plot was harvested separately and the weight of dry matter, weight of seeds, weight of 1000 seeds, the amount of yield per unit area and other characteristics were measured and recorded, and the parameters related to water consumption efficiency for each plot were was achieved

Findings

The obtained results showed that regardless of the amount of irrigation, crop yield and other growth indicators were better in drip irrigation than the other two methods, so that the drip method at the level of 120% had the highest amount of yield, weight of 1000 seeds and plant height. The lowest amount of irrigation water is related to the drip method at the level of 60%, and this method reduced the amount of irrigation water by 49% and 21%, respectively, compared to furrow and sprinkler irrigation at the same level. The highest value of water prodoctivity and irrigation water prodoctivity related to drip irrigation was at the level of 60%. At this level, the drip method increased the efficiency of irrigation water prodoctivity by 87% and 25%, respectively, compared to the furrow and sprinkler methods. Also increased the water use efficiency by 22 and 15% compared to the furrow and sprinkler methods, respectively.

Conclusion

The results of this research showed that the use of modern irrigation methods such as drip and sprinkler instead of the surface methods, in addition to saving the amount of water used, also improves the performance of the product. Also, the application of deficit irrigation techniques in these methods will have less yield loss and increase the water use efficiency compared to traditional methods.

Keywords: Canola, Deficit irrigation, Irrigation method, Water use productivity

مقدمه

آب به‌عنوان مهم‌ترین و محدودکننده‌ترین عامل تولید در بخش کشاورزی مطرح است. کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار گرفته است، بر این اساس یکی از چالش‌های عمده در تأمین مواد غذایی برای جمعیت درحال رشد مساله آب و مدیریت درست منابع آب است.

کلزا (*Brassica napus* L.) گیاهی مقاوم به خشکی است که دانه‌های آن سرشار از روغن هستند و به سبب تطابق با شرایط اقلیمی مناطق مختلف ایران، توانایی بالقوه بالایی برای تأمین قسمت عمده روغن مورد نیاز کشور را داراست (موسوی زاده ۲۰۱٤). تاکنون مطالعات زیادی در مورد ارتباط و همبستگی بین صفات مهم زراعی در کلزا انجام شده است. بهره‌وری آب و میزان آب مصرفی در گیاه کلزا جزو مهمترین متغیرهای بررسی شده هستند (سلامتی و همکاران ۲۰۲۲).

با افزایش کمبود آب آبیاری، روش‌های نوین آبیاری جهت استفاده بهینه از آب از اهمیت بیشتری برخوردار گردیده است. آبیاری قطره‌ای یکی از روش‌های اصلی آبیاری خرد است که امکان استفاده دقیق از آب در مقادیر کم به‌طور مستقیم در منطقه ریشه را فراهم می‌سازد (بونیا و همکاران ۲۰۱۵). جنسن و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که آبیاری قطره‌ای می‌تواند در مقایسه با آبیاری کرتی تلفات آبیاری را ۳۰ تا ٤۰ درصد کاهش دهد. آبیاری قطره‌ای روشی کارآمد برای رساندن آب بدون تلفات به ریشه گیاه است که منجر به صرفه‌جویی ۵۰ تا ٦٦ درصدی در مصرف آب و افزایش ۳۰ تا ٤۰

درصدی عملکرد در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای می‌شود (عزیزی و همکاران ۲۰۲۲). افزایش دفعات آبیاری قطره‌ای می‌تواند پتانسیل ماتریک خاک در منطقه ریشه را در حد بالایی حفظ کند، رشد محصول را تسریع کند و با کاهش نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک، مقدار آب آبیاری را کاهش دهد (کویین و همکاران ۲۰۱۶). نوارهای آبیاری قطره‌ای اولین بار در جزایر هاوایی به منظور نجات کشت نیشکر منطقه از مشکل بی‌آبی مورد استفاده قرار گرفت. قدمی فیروزآبادی و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی که در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان انجام دادند، نشان دادند که میزان آب مصرفی کلزا در آبیاری قطره‌ای با لوله‌های روزنه‌دار نسبت به آبیاری جویچه‌ای به میزان ٤٢ درصد کاهش یافت، درحالی‌که مقدار عملکرد هر دو روش یکسان بود. در این تحقیق، متوسط بهره‌وری مصرف آب برای کلزا در روش آبیاری قطره‌ای $kg\ m^{-3}$ ۱/۰۹ و برای آبیاری نشتی $kg\ m^{-3}$ ۰/٦۳ بدست آمد. در تحقیقی که در مورد سطوح مختلف آب آبیاری با سیستم قطره‌ای نواری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا در بهبهان انجام شد مشخص گردید اثر سطوح مختلف آب، رقم و اثر متقابل آن‌ها در آبیاری قطره‌ای نواری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کلزا معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد دانه به میزان ۳۱٦۱ و ۳۰۵۳ کیلوگرم در هکتار به ترتیب از تیمارهای ۱۲۵ درصد و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد. در مورد شاخص بهره‌وری مصرف آب، تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر متر مکعب بیشترین بهره‌وری مصرف آب را داشت (سلامتی و دلبری ۲۰۱٤). کاورو و همکاران در سال ۲۰۱۷ تأثیر سطوح آب آبیاری شامل ۵۵، ۷۵، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد نیاز آبیاری تئوری را بر روی عملکرد، بهره‌وری آب آبیاری و تبخیر–تعرق گیاه یونجه در طی سه سال زراعی بررسی کردند و گزارش کردند که در سال اول با افزایش سطح آب آبیاری از ۵۵ تا ۱۳۰ درصد، عملکرد علوفه یونجه بطور خطی افزایش یافت ولی در دو سال بعد بیشترین مقدار علوفه در سطح ۱۱۵ درصد بود. با این حال مقدار تبخیر–تعرق یونجه در طی سه سال با افزایش مقدار آبیاری بارانی بصورت خطی افزایش یافت. بهره‌وری آب آبیاری یونجه تحت تأثیر مقدار آبیاری در پرباران‌ترین سال قرار نگرفت، اما در سال‌های دیگر با افزایش مقدار آب آبیاری تا سطح ۱۱۵ درصد مقدار آن افزایش یافت. در روش آبیاری بارانی زمان‌بندی‌های آبیاری از انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به آبیاری سنتی برخوردار است. ولی در آبیاری بارانی مقداری آب در اثر تبخیر و بادبردگی از بین می‌رود. این تلفات در آبیاری روزانه نسبت به آبیاری شبانه بالاتر است. بنابراین شرایط محیطی محلی می تواند تأثیر مهمی در تلفات آبی آبیاری بارانی، تغییرات فیزیولوژیکی گیاه و یکنواختی آبیاری داشته باشد (کاورو و همکاران ۲۰۱۷). بررسی تأثیر سیستم‌های آبیاری بر عملکرد محصولات کشاورزی نشان داد که روش‌های نوین آبیاری علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به روش‌های سنتی و بالا بردن بهره‌وری مصرف آب، باعث می‌شوند که محصول پربارتر با زیست‌توده بیشتری تولید شود (عباسیان ۲۰۱۲). در بررسی سه روش آبیاری (غرقابی، قطره‌ای و بارانی) بیشترین وزن خشک و عملکرد محصول زعفران مربوط به روش آبیاری قطره‌ای بود (کریمی فرزقی و همکاران ۲۰۱۸). در مقایسه روش‌های آبیاری جویچه‌ای و آبیاری قطره‌ای نواری، نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین تیمار برای مناطق خشک، آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای نواری می‌باشد. همچنین به دلیل کمبود بارندگی و نور فراوان خورشید در این مناطق میزان بهره‌وری مصرف آب برای تیمارها افزایش پیدا می‌کند. بنابراین آبیاری قطره‌ای نواری برای

کشورهایی با آب محدود می‌تواند در تولید محصولات کشاورزی کارآمد باشد (بهارلو وهمکاران ۲۰۲۲). افزایش بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری هم به کاهش تبخیر خاک و هم با بهبود عملکرد محصول مرتبط است. آبیاری مکرر می‌تواند میانگین فضای منافذ پر از آب بالاتری را در لایه بالایی خاک در مقایسه با آبیاری با دور آبیاری بیشتر حفظ کند و بنابراین باعث کاهش هدر رفت آب و دسترسی بیشتر ریشه گیاه به آب شده و رشد گیاه را بهتر می‌کند (ابالوس و همکاران ۲۰۱٤).

از دیگر روش‌های افزایش بهره‌وری آب اتخاذ سیاست‌های کم‌آبیاری است (فرورز و سوریانو ۲۰۰۷). کم‌آبیاری به کاربرد آب در حد کمتر از نیاز آبی گیاه تعریف می‌شود که در بسیاری از کشورها به منظور کاهش مقدار آب آبیاری توسعه یافته است (تاری ۲۰۱٦). پیک و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که در شرایط محدودیت آبی، کم‌آبیاری بیشترین بهره‌وری آب را از نظر اقتصادی دارد. این استراتژی‌های آبیاری می‌تواند بهره‌وری آب را در محدوده ۱۰ تا ۵۰ درصد افزایش دهد (جنسن و همکاران ۲۰۱٤). ظرفیت نگهداری بالای خاک، مقادیر بالای آب خاک در زمان کاشت و سیستم ریشه عمیق، مهمترین عوامل برای استفاده از کم‌آبیاری است (لوبل و اورتیز ۲۰۰٦). علی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند کم‌آبیاری در گندم مقدار آب را ۱۳۵ میلی‌متر ذخیره می‌کند اما در مقایسه با آبیاری کامل ۱٦ درصد کاهش محصول دارد. فانگ و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تأثیر توأم روش‌های مختلف آبیاری (آبیاری کرتی، آبیاری بارانی، آبیاری نشتی و آبیاری قطره‌ای) با میزان آبیاری متفاوت بر روی مقدار محصول، بازگشت اقتصادی و بهره‌وری مصرف آب در محصول گندم در طی سه سال زراعی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تحت یک مقدار آبیاری محدود (۹۰ میلی‌متر در طول فصل)، دو نوبت آبیاری (٤۵ میلی‌متر در هر نوبت) با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به‌طور معنی‌داری محصول و بهره‌وری مصرف آب را نسبت به روش آبیاری کرتی با استفاده از یک نوبت آبیاری افزایش داد. با مقدار آبیاری یکسان ۹۰ میلیمتر، آبیاری قطره‌ای به ترتیب برای سه فصل به میزان ۱۲، ۱۲/۹ و ۱۱/٦ درصد نسبت به روش آبیاری کرتی افزایش محصول داشت. افزایش مقدار بهره‌وری مصرف آب به ترتیب ۱۸/۱، ۱۹/٦ و ۲۱/۹ درصد برای سه فصل رشد بود. سه روش آبیاری قطره‌ای، نشتی و بارانی با مقدار آبیاری یکسان ۹۰ میلی‌متر در مقایسه با آبیاری کرتی به ترتیب ۱۱/٦، ۱۰/۹ و ٦/٤ درصد افزایش محصول داشت. نتایج نشان داد که افزایش تعداد دفعات آبیاری از یک نوبت به دو نوبت در هر سه روش آبیاری قطره‌ای نشتی و بارانی باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب و مقدار محصول گندم شد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده مکرر از آب در مقادیر کم می‌تواند بهره‌وری مصرف آب (WUE[1]) را افزایش دهد (انسیسو و همکاران ۲۰۰۳). مطالعات دیگری در چین نشان داده‌اند که افزایش دفعات آبیاری با مقادیر کم در هر آبیاری می‌تواند عملکرد دانه ذرت بالاتری داشته باشد و با کاهش دفعات آبیاری کاهش عملکرد مشاهده شد (وانگ و همکاران ۲۰۱٤). کاورو و همکاران (۲۰۱۷) تأثیر عمق‌های مختلف آبیاری بر رشد گیاه، محصول علوفه، مقدار N، تبخیر-تعرق و بهره‌وری مصرف آب یونجه را در روش آبیاری بارانی به مدت سه سال بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند مقدار بهره‌وری مصرف آب در سال پرباران تحت تأثیر مقدار آبیاری قرار ندارد ولی در سال‌های دیگر با افزایش مقدار آبیاری تا ۱۱۵ درصد نیاز آبیاری تئوری، بصورت خطی افزایش می‌یابد. القربانی و همکاران (۲۰۱۸) در مدت

[1] Water Use Efficency

دو سال به بررسی تأثیر توأم مقدار آبیاری (سه سطح: آبیاری کامل، ۰/۸ آبیاری کامل و ۰/٦ آبیاری کامل) و روش آبیاری (آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) بر مقدار محصول و بهره‌وری مصرف آب آبیاری (IWUE[2]) گوجه فرنگی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بالاترین مقدار محصول در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با آبیاری کامل (۹٤/۱ تن در هکتار) و ۰/۸ آبیاری کامل (۸۱/٤ تن در هکتار) به دست آمد. بیشترین مقدار IWUE در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری قطره‌ای سطحی با ۰/٦ آبیاری کامل به دست آمد که به ترتیب برابر ۱۹/۷ کیلوگرم بر متر مکعب و ۱۸/۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود در حالیکه کمترین مقدار IWUE با آبیاری کامل به دست آمد که به ترتیب ۱۵/۹ و ۱٤/۸ کیلوگرم در هکتار بود. هرگرت و همکاران (۲۰۱٦) تأثیر مقادیر مختلف آب آبیاری از بدون آبیاری تا آبیاری کامل را بر مقدار محصول، مقدار روغن، تغییرات رطوبت خاک و بهره‌وری آب بر روی کلزای بهاره در چهار فصل آبیاری و سه موقعیت مختلف بررسی کردند. کلزا در طی سال‌های خشک واکنش خوبی نسبت به آبیاری داد، اما در سال‌های با متوسط بارش بیشتر واکنش کمتری نشان داد. بهره‌وری مصرف آب ۷/٦ کیلوگرم در میلی‌متر در آستانه ۱۲۳ میلی‌متر آبیاری مشاهده شد. عملکرد دانه کلزا از ٤٤۰ تا ۳۲۸۰ کیلوگرم در هکتار برای ۱٦۵ و ۵۸۲ میلی‌متر تبخیر-تعرق، حاصل شد. با افزایش آبیاری در طول سال‌های خشک، مقدار روغن افزایش یافت و در طول سال با متوسط بارش بیش‌تر، تاثیری در مقدار روغن مشاهده نشد.

هدف از انجام این تحقیق بررسی‌تأثیر استفاده از روش‌های آبیاری جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای نواری با اعمال تنش‌های مختلف آبی در کشت کلزا به منظور تعیین مناسب‌ترین تیمار آبیاری از نظر بهره‌وری مصرف آب و سایر شاخص‌های عملکردی بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و طرح آزمایش‌ها

این تحقیق طی دو سال زراعی ۹۸-۹۷ و ۹۹-۹۸ در مزرعه‌ای در بخش گوگان واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب غربی شهر تبریز با مختصات طول جغرافیایی ٤۵ درجه و ۵٤ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ٤۸ دقیقه و ارتفاع ۱۳۲۷ متر از سطح دریاهای آزاد انجام گرفت. متوسط نزولات جوی سالانه آن ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر دمای هوای آن به ترتیب ۱٦- و ۳۸ درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است. کلاس خاک مزرعه لوم شنی می‌باشد که خصوصیات فیزیکی و شیمایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار کل بارش در سال اول و دوم به ترتیب ۳٤۹ و ۲٤۱ میلی‌متر بود. مقدار بارش موثر در طول فصل کشت با استفاده روش وزارت کشاورزی ایالات متحده USDA[3] اندازه‌گیری گردید که مقدار آن در سال اول ۲۷۸ میلی‌متر و در سال دوم ۲۰۲ میلی‌متر بود.

[2] Irrigation Water Use Efficency

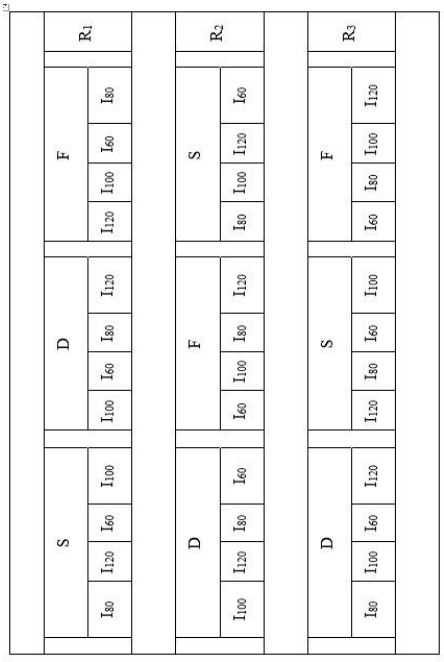
[3] United States Department of Agriculture Soil Conservation Servic

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

عمق (cm)	pH	EC ($dS\ m^{-1}$)	O C (%)	N (%)	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	FC (%)	PWP (%)	db ($g\ cm^{-3}$)	بافت خاک
۰-۳۰	۷/۹	۱/٦	۰/٦	۰/۰٦	۱۸/٥	٤٥٥	٥۸	۲۲	۲۰	۲۲	۱۱	۱/٤۳	لوم شنی
۳۰-٦۰	۷/۸	۱/۸	۰/۱۱	۰/۰۲	۱٤	۳۱۰	٦۲	۱۸	۲۰	۲۱	۱۰	۱/۳۹	لوم شنی
٦۰-۹۰	۷/۸	۲/۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۱۰	۲٥۰	٦٤	۲۰	۱٦	۲۱	۹	۱/٤۷	لوم شنی
۹۰-۱۲۰	۷/۷	۱/۸	۰/۰۲	۰/۰۱	٥	۲۰۰	٦٥	۱٦	۱۹	۲۱	۹	۱/٤٥	لوم شنی

FC: رطوبت در حد ظرفیت زراعی. PWP: رطوبت در حد پژمردگی دایم. db: جرم مخصوص ظاهری

آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل سه روش آبیاری و چهار سطح آبیاری و در کل ۳٦ کرت آزمایشی بود. کرت‌های اصلی شامل سه روش آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای نواری و بارانی و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح ٦۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبیاری بود. در هر واحد آزمایشی روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری ٤ ردیف کاشت به طول ۸ متر و در هر واحد آزمایشی روش آبیاری بارانی ٦ ردیف کاشت به طول ۳ متر وجود داشت. فواصل ردیف‌های کاشت برابر ٥۰ سانتی‌متر و فواصل بوته‌ها در هر ردیف برابر ۳ تا ٥ سانتی‌متر لحاظ گردید و بذرها در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری کشت شد. شکل۱ نحوه جانمایی کرت‌های آزمایشی را نشان می‌دهد.



F: آبیاری جویچه‌ای، D: آبیاری قطره‌ای نواری، S: آبیاری بارانی.
I_{60}: آبیاری بر اساس ٦۰ درصد نیاز آبیاری، I_{80}: آبیاری بر اساس ۸۰ درصد نیاز آبیاری، I_{100}: آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری،

روش قطره‌ای نواری

روش جویچه‌ای

روش بارانی

I_{120}: آبیاری بر اساس ۱۲۰ درصد نیاز آبیاری، R: تکرار

شکل ۱- جانمایی طرح آزمایش‌ها و روش‌های آبیاری.

بذر کلزا از نوع هیبرید پاییزه رقم Octans استفاده شد. برای آبیاری بارانی از آبپاش مخفی شونده هانتر مدل ۱۲A با شعاع پاشش ۳/۷ متر استفاده شد که فشار کارکرد آبپاش ۱ الی ۲/۵ بار است و قابلیت تنظیم شعاع کمان پاشش (۱ تا ۳۶۰ درجه) را دارد. در این طرح در هر گوشه کرت یک آبپاش نصب گردید و برای جلوگیری از تداخل بین کرت‌ها، شعاع پاشش آبپاش ۹۰ درجه تنظیم گردید. در روش قطره‌ای نیز از نوار آبیاری با فاصله روزنه ۲۰ سانتی‌متر و ضخامت ۱۷۵ میکرون استفاده شد.

اندازه‌گیری رطوبت خاک و تعیین نیاز آبیاری

در این تحقیق زمان‌بندی آبیاری در روش جویچه‌ای بر اساس دور ثابت منطقه ۱۰ روز و برای آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی دور ۵ روز اعمال شد. به‌طوریکه در تیمار آبیاری کامل، تنشی به گیاه وارد نشود. به این صورت که در تیمار آبیاری کامل همیشه در زمان آبیاری مقدار رطوبت خاک بیشتر از مقدار رطوبت سهل‌الوصول بود. میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک قبل از هر نوبت آبیاری و بر اساس رابطه ۱ در تیمار آبیاری کامل برآورد شد و با توجه به مساحت هر کرت و اعمال راندمان آبیاری حجم آب مصرفی برای هر روش به‌دست آمد (هاول و همکاران ۱۹۹۰).

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \qquad [۱]$$

در این رابطه dn:عمق خالص آبیاری(mm)، θ_i: رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، θ_{fc}: رطوبت وزنی خاک در ظرفیت مزرعه ای و Z_r : عمق ریشه (mm) و ρ_b: جرم مخصوص ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$) است.

در آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی با استفاده کنتور حجمی و در آبیاری جویچه‌ای با استفاده از فلوم WSC تیپ پنج، حجم آب ورودی به هر قطعه اندازه‌گیری شد تا از اعمال عمق‌های پیش‌بینی شده آبیاری اطمینان حاصل شود. میزان آب مصرفی برای تیمارهای مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شده ضریبی از مقدار آن در تیمار آبیاری کامل بود. به منظور اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه انعکاس سنج حوزه زمان TDR[4] استفاده گردید. بدین صورت که با تعبیه لوله‌های مخصوص در قطعات آزمایشی، رطوبت خاک قبل از هر آبیاری در عمق‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتیمتری در مدت دو فصل رشد اندازه‌گیری گردید. جهت اطمینان از مقدار رطوبت اندازه‌گیری شده توسط TDR، ابتدا مقدار رطوبت خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شد و دستگاه واسنجی گردید. شکل ۲ اندازه گیری رطوبت خاک توسط دستگاه TDR و اندازه‌گیری ارتفاع گیاه و روش‌های آبیاری را نشان می‌دهد.

نیاز آبی گیاه و بهره‌وری مصرف آب

برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی کلزا در هر پلات و برای هر دوره، از معادله بیلان آب به شرح رابطه ۲ استفاده شد (فانگ و همکاران ۲۰۱۸).

$$ET = P + I + SWD - R - D + CR \qquad [۲]$$

[4] Time Domain Reflectometry

که در آن I عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، P عمق بارندگی (میلی‌متر)، Ro عمق رواناب (میلی‌متر)، D مقدار آب نفوذ عمقی (میلی‌متر)، SWD کاهش مقدار آب خاک (میلی‌متر) و CR ارتفاع صعود کاپیلاری به منطقه ریشه (میلی‌متر)است. D آبی که به‌صورت نفوذ عمقی از منطقه ریشه خارج می‌شود. در این رابطه مقدار CR به‌دلیل پایین بودن سطح آب زیرزمینی و RO به‌دلیل انتها بسته بودن جویچه‌ها و D به دلیل کم بودن مقدار بارندگی و مقدار آبیاری صفر لحاظ شد.

شکل ۲- روش‌های آبیاری و اندازه گیری ها.

در طول فصل رشد عوامل رشد نظیر تعداد برگ، قطر ساقه، ارتفاع بوته و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شد و در پایان هر فصل رشد محصول هر قطعه به صورت جداگانه برداشت و وزن ماده خشک، وزن دانه، وزن هزار دانه، میزان عملکرد در واحد سطح و سایر خصوصیات آن اندازه‌گیری و ثبت گردید و پارامترهای مربوط به بهره‌وری مصرف آب برای هر پلات از روابط ۳ و ٤ به دست آمد. تأثیر تیمارهای آبیاری بر ارتفاع گیاه، وزن هزاردانه، میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه، مقدار محصول و مهم‌تر از همه بر روی بهره‌وری مصرف آب در روش‌های مختلف آبیاری با استفاده از نرم افزار SAS تحلیل آماری شد. همچنین به‌منظور مقایسه میانگین صفات در مواردی که تفاوت نتایج معنی‌دار بود از آزمون مقایسه میانگین دانکن استفاده شد (هاول و همکاران ۱۹۹۰).

$$WUP = \frac{Y}{ET} \qquad [۳]$$

$$IWUP = \frac{Y}{Ir} \qquad [۴]$$

در این روابط Y: مقدار محصول(kg)، ET: تبخیر-تعرق در واحد سطح (m^3)، Ir: حجم آب آبیاری (m^3)، WUP: بهره‌وری مصرف آب ($kg\ m^{-3}$) و IWUP: بهره‌وری مصرف آب آبیاری ($kg\ m^{-3}$) می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مربوط به میزان تغییرات مقدار آبیاری، تبخیر-تعرق واقعی، بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری تحت تأثیر روش‌ها و سطوح مختلف آبیاری در طی دو سال در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس مشاهده می‌شود که مقدار آبیاری، تبخیر-تعرق واقعی، بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری تحت تأثیر روش‌های آبیاری با سطوح مختلف آن‌ها در طی دوسال تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد داشتند. همچنین تأثیر متقابل روش آبیاری و سطوح آبیاری بر مقدار آبیاری، بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف

آب آبیاری در سطح یک درصد معنی دار شده ولی بر مقدار تبخیر-تعرق واقعی معنی دار نشده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مربوط به میزان تغییرات آب تحت تأثیر روش‌ها و سطوح آبیاری در طی دو سال ۹۷ و ۹۸.

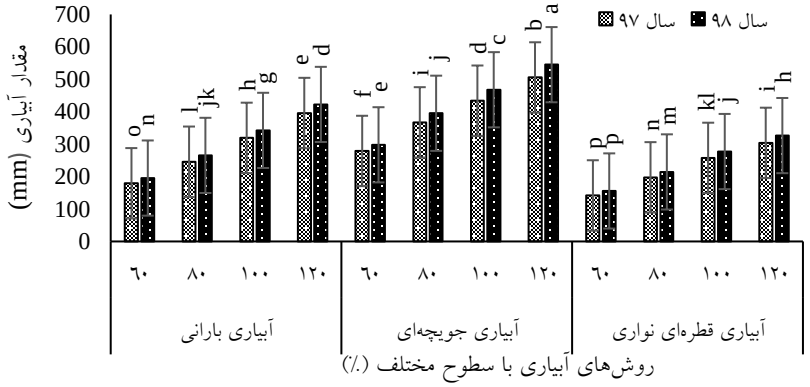
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		عمق آب آبیاری	تبخیر-تعرق واقعی	بهره‌وری مصرف آب	بهره‌وری مصرف آب آبیاری
روش آبیاری	۲	۱۹٤۱٥٤ **	۲۰٥٥٥/۰٦**	۲۱۰/۰۲**	۲۷۱٤/۸۱**
سطوح آبیاری	۳	۱٤٤٥٤۰**	۱۹٤۰۰۱/٥**	٤۲/۷٥**	۳۸۲/۷۱**
روش آبیاری* سطوح آبیاری	٦	۱٥۳۲**	۲٦٤/۳۳^{ns}	۳/۰۸**	۲۸/۳٤**
زمان (سال)	۱	۹٦۷٦**	۲۰۰٦٦/۷۲**	۱۸/٦۱**	۸۲۷/٥۷**
روش آبیاری*زمان	۲	۲۲۸/۸۲^{ns}	۱٦٥/۷۲^{ns}	۲/۹۷^{ns}	۳٦/۱۳**
سطوح آبیاری*زمان	۳	۱٤۲/۹۸^{ns}	۱۷۱٥/۰٦**	۳/۱٥*	٤۷/٥۲**
روش* سطوح*زمان	٦	۱۱/۰٤^{ns}	۲۰۸/۹^{ns}	۰/٦۱^{ns}	۳/۳۰**
خطای آزمایشی	٤۸	۸۰/۸	۱٦۸/٤٥	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۱
ضریب تغییرات (٪)	-	۳	۳	۲/٥	٤

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ، *: معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم معنی‌داری

عمق آب آبیاری

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، تأثیر روش‌های آبیاری، سطوح آبیاری و زمان بر مقدار عمق آب آبیاری در سطح یک درصد معنی دار است. شکل ۳ تأثیر روش‌های آبیاری با سطوح مختلف را بر مقدار عمق آب آبیاری در طی دو سال نشان می‌دهد. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که مقدار عمق آب آبیاری مورد نیاز برای کلزا در سال اول (۹۷) نسبت به سال دوم (۹۸) کمتر بوده است که این امر به‌دلیل مقدار بارندگی بیشتر در سال اول نسبت به سال دوم می‌باشد. کمترین مقدار عمق آب آبیاری مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ٦۰ درصد در سال ۹۷ (۱٤۲ میلی‌متر) بود که نسبت به آبیاری بارانی (۱۷۹ میلی‌متر) و جویچه‌ای (۲۷۳ میلی‌متر) از لحاظ آماری دارای تفاوت معنی‌دار بود و مقدار عمق آب آبیاری را نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی در همان سطح به ترتیب ٤۹ و ۲۱ درصد کاهش داد. آبیاری بارانی نیز نسبت به آبیاری جویچه‌ای مقدار عمق آب آبیاری کمتری در چهار سطح داشت و بیشترین مقدار عمق آب آبیاری برابر ٥٤٥ میلی‌متر مربوط به آبیاری جویچه‌ای در سطح ۱۲۰ درصد در سال ۹۸ بود (شکل ۳). با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ٦۰ درصد در هر دو سال کمترین مقدار عمق آب آبیاری را داشت. عزیزی و همکاران (۲۰۲۲) گزارش دادند که آبیاری قطره‌ای روشی کارآمد برای رساندن آب بدون تلفات به ریشه گیاه است که منجر به صرفه جویی ٥۰ تا ٦٦ درصدی در مصرف آب و افزایش ۳۰ تا ٤۰ درصدی عملکرد در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای یا جویچه‌ای می‌شود. همچنین نتایج تحقیق قدمی

فیروزآبادی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که میزان آب مصرفی کلزا در آبیاری قطره‌ای با لوله‌های روزنه دار نسبت به آبیاری جویچه‌ای به میزان ٤٢ درصد کاهش می‌یابد. علی و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند کم‌آبیاری در گندم مقدار آب را ۱۳۵ میلی‌متر ذخیره می‌کند اما در مقایسه با آبیاری کامل ١٦ درصد کاهش محصول دارد. همچنین در مطالعه توسعه برنامه کم‌آبیاری برای بهبود بهره‌وری مصرف آب، رشد و عملکرد بادام زمینی در منطقه نیمه خشک گرمسیری هند با استفاده از سه نوع آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی مشاهده شد که استفاده از دو روش بارانی و قطره‌ای منجر به صرفه‌جویی ۳۰ درصدی آب در مقایسه با آبیاری سطحی شد (سیوارسان و همکاران ۲۰۲۲).



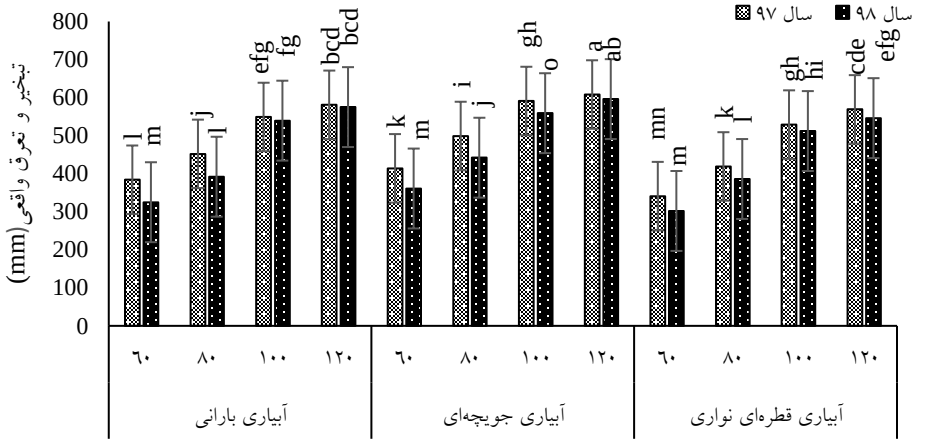
شکل ۳- تأثیر روش‌های آبیاری با سطوح مختلف در طی دو سال بر مقدار عمق آب آبیاری در گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

تبخیر-تعرق واقعی

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده می‌شود که در سال اول میزان تبخیر-تعرق واقعی بیشتر از سال دوم است. مقدار تبخیر-تعرق علاوه بر مقدار آب داده شده به گیاه به عوامل دیگری همچون شرایط آب و هوایی، مقدار رطوبت اولیه خاک و ... بستگی دارد که تفاوت بین سال اول و دوم می‌تواند به‌دلیل بارندگی بیشتر در سال اول نسبت به سال دوم باشد. بیشترین مقدار تبخیر تعرق مربوط به آبیاری جویچه‌ای در سطح ۱۲۰ درصد (٦٠٨ میلی‌متر) در سال اول و کم‌ترین میزان تبخیر-تعرق (۳۰۲ میلی‌متر) مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ٦٠ درصد و در سال دوم بود. با افزایش سطح آبیاری در هر سه روش آبیاری، میزان تبخیر-تعرق نیز افزایش پیدا کرد (شکل ٤). بیشترین مقدار تبخیر-تعرق در هر سه روش آبیاری در هر دو سال مربوط به سطح ۱۲۰ درصد بود که مقدار آن برای روش‌های قطره‌ای نواری،جویچه‌ای و بارانی در سال ۹۷ به ترتیب برابر ٥٦٩، ٦٠٨ و ٥٨١ میلی‌متر بود که مقدار آن در روش قطره‌ای نواری و بارانی ،به ترتیب ٦ و ٤ درصد کمتر از روش جویچه‌ای بود. در سال ۹۸ مقدار تبخیر-تعرق در سطح ۱۲۰ درصد برای روش‌های قطره‌ای نواری،جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ٥٤٦، ٥٩٦ و ٥٧٥ میلی‌متر بود که مقدار آن در روش قطره‌ای نواری و بارانی ،به ترتیب ۸ و ۳ درصد کمتر از روش جویچه‌ای بود. کویین و همکاران (٢٠١٦) گزارش دادند که افزایش

دفعات آبیاری قطره‌ای می‌تواند پتانسیل ماتریک خاک در منطقه ریشه را در حد بالایی حفظ کند، رشد محصول را تسریع کند و با کاهش نفوذ عمقی و تبخیر از سطح خاک، مقدار آب آبیاری را کاهش دهد. با توجه به اینکه آب آبیاری در روش قطره‌ای نواری در نزدیکی ریشه گیاه است و تلفات نفوذ عمقی و روان‌آب سطحی وجود ندارد، بیشتر آب داده شده توسط گیاه جذب شده و صرف تعرق می‌شود و مقدار تبخیر از سطح خاک ناچیز می باشد، بنابراین در این روش مقدار تبخیر-تعرق کمتر است. که نتایج به دست آمده با نتایج مطالعات عزیزی و همکاران (۲۰۲۲)، فانگ و همکاران (۲۰۱۸) و سزن و همکاران (۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد. هرگرت و همکاران (۲۰۱٦) عملکرد دانه کلزا از ٤٤٠ تا ۳۲۸۰ کیلوگرم در هکتار برای ۱٦٥ و ٥٨٢ میلی‌متر تبخیر-تعرق، گزارش کردند.



روش‌های آبیاری با سطوح مختلف (٪)

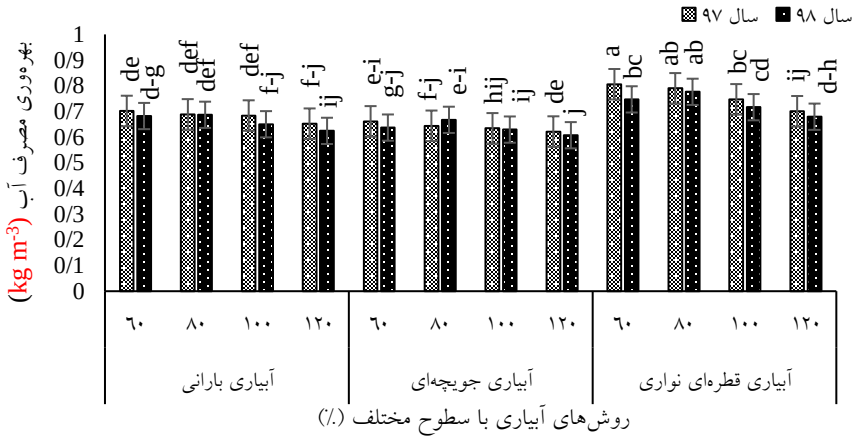
شکل ۴- تأثیر روش‌های آبیاری با سطوح مختلف در طی دو سال بر مقدار تبخیر-تعرق واقعی در گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

بهره‌وری مصرف آب

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر روی بهره‌وری مصرف آب در طی دو سال در سطح یک درصد معنی دار است. همچنین تأثیر متقابل سطوح آبیاری و روش آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد و تأثیر متقابل سطوح آبیاری و زمان در سطح پنج درصد معنی دار است. اثر متقابل سه پارامتر زمان، روش و سطوح آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب معنی دار نبود. شکل ٥ تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر مقدار بهره‌وری مصرف آب گیاه کلزا در طی دو سال را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود در بین انواع سیستم آبیاری، آبیاری قطره‌ای نواری بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب را در کلیه سطوح و در هر دو سال دارد. در سال ۹۷ در هر سه روش آبیاری بیشترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به سطح ٦٠ درصد و برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب برابر ۰/۸۱، ۰/۷ و ۰/٦٦ کیلوگرم بر

متر مکعب می‌باشد که آبیاری قطره‌ای نواری مقدار بهره‌وری مصرف آب را نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ۲۲ و ۱۵ درصد افزایش داده است. در سال اول آبیاری سطح ٦٠ درصد، بهره‌وری مصرف آب را نسبت به آبیاری کامل به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای برابر ۱۵، ۸ و ٦ درصد افزایش داد که نشان می‌دهد تأثیر کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در روش قطره‌ای نواری نسبت به روش دیگر بهتر است. در سال ۹۸ بیشترین بهره‌وری مصرف آب در هر سه روش در سطح ۸۰ درصد و برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب برابر ۰/۷۸، ۰/٦۹ و ۰/٦۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که آبیاری قطره‌ای نواری مقدار بهره‌وری مصرف آب را نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ١٦ و ۱۳ درصد افزایش داده است. در سال دوم آبیاری در سطح ۸۰ درصد، بهره‌وری مصرف آب را نسبت به آبیاری کامل به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای برابر ۱۰، ۱۰ و ۹ درصد افزایش داد. در بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که دو نوع آبیاری بارانی و قطره‌ای با برنامه‌ریزی بهینه آبیاری از نظر صرفه جویی در آب آبیاری و راندمان آبیاری بسیار موثر هستند، همچنین گزارش شده است که روش‌های مختلف آبیاری همراه با دفعات آبیاری بر میزان مصرف آب در مقدار آب آبیاری فصلی یکسان تأثیر می‌گذارد (فانگ و همکاران ۲۰۱۸). هرگرت و همکاران (۲۰۱٦) بهره‌وری مصرف آب کلزا را ۷/٦ کیلوگرم در میلی‌متر در آستانه ۱۲۳ میلی‌متر آبیاری گزارش کردند. در مطالعه‌ای مشاهده شده است که آبیاری قطره‌ای می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر عملکرد ذرت و بهره‌وری مصرف آب داشته باشد (ویو و همکاران۲۰۱۵). مطالعه‌ی دیگری نیز نشان داد که آبیاری قطره‌ای نواری به طور قابل‌توجهی بر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در کلزا تأثیرگذار است (شیائوبو و همکاران ۲۰۱۷). افزایش بهره‌وری مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری هم به کاهش تبخیر خاک و هم با بهبود عملکرد محصول مرتبط است. آبیاری مکرر می‌تواند میانگین فضای منافذ پر از آب بالاتری را در لایه بالایی خاک در مقایسه با آبیاری با دور آبیاری بیشتر حفظ کند و بنابراین باعث کاهش هدر رفت آب و دسترسی بیشتر ریشه گیاه به آب شده و رشد گیاه را بهتر می‌کند (ابالوس و همکاران ۲۰۱٤). بهبود عملکرد محصول به رطوبت بالای خاک در مرحله پر شدن دانه که به طور قابل توجهی شاخص برداشت را افزایش می‌دهد، مربوط است. در ارزیابی سطوح مختلف آب آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد در کلزا مشاهده شد که تمامی متغیرها در سطح ۱ ٪ اثر معنی‌داری داشتند، همچنین حجم آب مصرفی به میزان ٦٦/۲ درصد بر تغییرات عملکرد دانه در غلاف بیشترین تأثیر را بر عملکرد کلزا داشت. همچنین مشاهده شد که کاهش مصرف آب باعث افزایش بهره‌وری آب کلزا شده است (سلامتی و همکاران ۲۰۲۲).



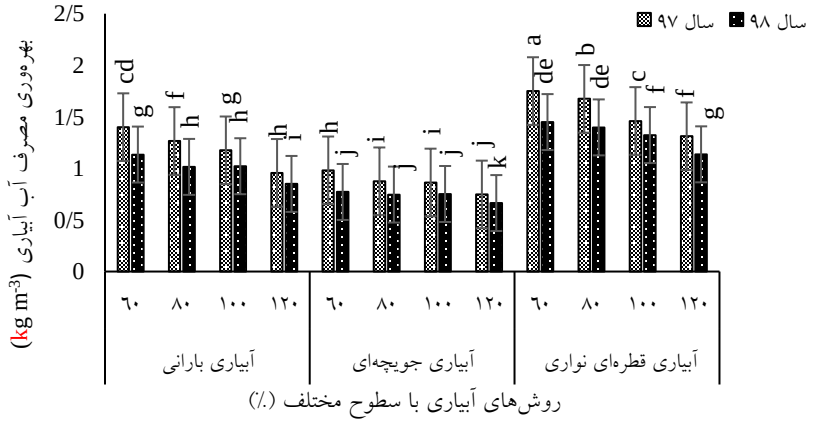
شکل ۵- تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری در طی دو سال بر مقدار بهره‌وری مصرف آب در گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

بهره‌وری مصرف آب آبیاری

بر اساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲)، تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر روی بهره‌وری مصرف آب در طی دو سال در سطح یک درصد معنی دار است. تأثیر متقابل سطوح آبیاری و روش آبیاری، سطوح آبیاری و زمان و همچنین روش آبیاری و زمان بر بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد معنی دار است. اثر متقابل سه پارامتر زمان، روش آبیاری و سطوح آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد معنی دار است. شکل ٦ تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر مقدار بهره‌وری مصرف آب آبیاری گیاه کلزا را در طی دو سال نشان می‌دهد. مطابق شکل، روش آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ٦٠ درصد و در سال ۹۷ بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب (۱/۷۵ کیلوگرم بر متر مکعب) و آبیاری جویچه‌ای در سطح ۱۲۰ درصد و در سال ۹۸ کمترین مقدار بهره‌وری مصرف آب (۰/٦٦ کیلوگرم بر متر مکعب) را در بین کلیه تیمارها دارند. در سال ۹۷ در هر سه روش آبیاری بیشترین بهره‌وری مصرف آب مربوط به سطح ٦٠ درصد و برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب برابر ۱/۷۵، ۱/۵ و ۱ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که آبیاری قطره‌ای نواری مقدار بهره‌وری مصرف آب را نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ۸۷ و ۲۵ درصد افزایش داده است. در سال اول آبیاری در سطح ٦٠ درصد، بهره‌وری مصرف آب را نسبت به آبیاری کامل به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای برابر ۲۱، ۱۹ و ١٤ درصد افزایش داد که نشان می‌دهد تأثیر کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب آبیاری در روش قطره‌ای نواری و بارانی نسبت به روش جویچه‌ای بهتر است. در سال ۹۸ بیشترین بهره‌وری مصرف آب آبیاری در هر سه روش در سطح ٦٠ درصد و برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب برابر ۱/٤٥، ۱/۱۳ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که آبیاری قطره‌ای نواری مقدار بهره‌وری مصرف آب آبیاری را نسبت به روش جویچه‌ای و بارانی به ترتیب برابر ۸۸ و ۲۸ درصد افزایش داده است. پیک و همکاران (۲۰۱٦) گزارش کردند که در شرایط محدودیت آبی، کم‌آبیاری بیشترین بهره‌وری آب را از

نظر اقتصادی دارد. جنسن و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند که استراتژی‌های کم‌آبیاری می‌تواند بهره‌وری آب را در محدوده ۱۰ تا ۵۰ درصد افزایش دهد. سلامتی و دلبری (۲۰۱٤) در تحقیقی که در مورد سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای نواری بر روی عملکرد دو رقم کلزا در بهبهان انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که در مورد شاخص بهره‌وری مصرف آب، تیمار برتر، تیمار ٪۵۰ نیاز آبی با مقدار ۱/۳ کیلوگرم بر متر مکعب بود. فانگ و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تأثیر توأم روش‌های مختلف آبیاری بر روی مقدار محصول و بهره‌وری مصرف آب در محصول گندم در طی سه سال زراعی پرداختند و به این نتیجه که با مقدار آبیاری یکسان ۹۰ میلی‌متر، آبیاری قطره‌ای بهره‌وری مصرف آب را نسبت به آبیاری کرتی به ترتیب برای سه فصل به میزان ۱۸/۱، ۱۹/٦ و ۲۱/۹ درصد افزایش داد. کریمی فرزقی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی سه روش آبیاری (غرقابی، قطره‌ای و بارانی) بر روی زعفران گزارش دادند که بیشترین وزن خشک و عملکرد محصول زعفران مربوط به روش آبیاری قطره‌ای بود. در مقایسه روش‌های آبیاری جویچه‌ای و آبیاری قطره‌ای نواری، نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین تیمار برای مناطق خشک، آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای نواری می‌باشد. در شرایط آبیاری محدود، استفاده از روش‌های مختلف آبیاری برای افزایش راندمان آبیاری و تولید محصول بسیار مهم است. برخی مطالعات نشان داد که استفاده مکرر از آب در مقادیر کم می‌تواند آب مناسبی را برای رشد محصول فراهم کند و عملکرد و بهره‌وری مصرف آب را افزایش دهد (بیان و همکاران ۲۰۱٦). با توجه به مطالعات صورت گرفته استفاده از آبیاری قطره‌ای باعث افزایش بهره‌وری مصرف آب آبیاری می‌شود. همچنین در بررسی آبیاری قطره‌ای نواری بر گیاه کلزا مشاهده شد که بهره‌وری مصرف آب آبیاری افزایش پیدا کرد و به تبع آن عملکرد محصول و ارتفاع گیاه نیز افزایش پیدا کردند (شیائوبو و همکاران ۲۰۱۷). در مطالعه قدمی فیروز آبادی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشاهده شد که آبیاری قطره‌ای نسبت به آبیاری جویچه‌ای و بارانی بهره‌وری مصرف آب آبیاری را افزایش داد.



شکل ۶- تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری در دو سال بر مقدار بهره‌وری مصرف آب آبیاری در گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

مقدار محصول

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر انواع روش‌ها و سطوح مختلف آبیاری بر روی برخی صفات اندازه‌گیری شده کلزا در طی دو سال در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس مربوط به برخی صفات کلزا تحت تأثیر روش‌ها و سطوح آبیاری در طی دو سال ۹۷ و ۹۸.

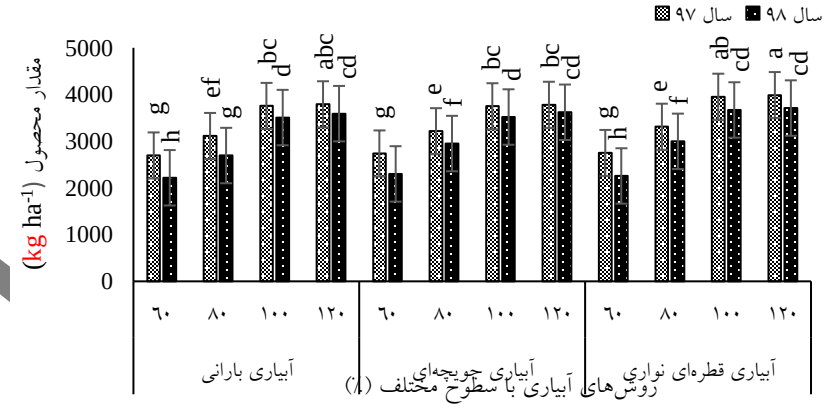
منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		مقدار محصول	وزن هزار دانه	ارتفاع
روش آبیاری	۲	۱۵۳۴۱۶/۴**	۰/۱۸۴**	۱۹/۵^{ns}
سطوح آبیاری	۳	۶۳۳۸۹۱۱/۴۶**	۰/۶**	۱۱۲/۶۷**
روش آبیاری* سطوح آبیاری	۶	۲۱۴۹۲/۷*	۰/۰۲^{ns}	۰/۲^{ns}
زمان (سال)	۱	۱۸۰۷۸۵۱/۱**	۰/۲**	۷۲*
روش آبیاری*زمان	۲	۱۲۰۸/۰۴^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۰۰۰۰۱^{ns}
سطوح آبیاری*زمان	۳	۵۷۵۳۱/۸**	۰/۰۰۰۰۱^{ns}	۵۳۱/۳۳**
روش* سطوح*زمان	۶	۲۷۵۵/۵^{ns}	۳/۸۶**	۱/۳۳^{ns}
خطای آزمایشی		۵۶۷۶/۹۱	۰/۰۲	۱۷/۴
ضریب تغییرات (٪)	–	۲/۷	۳/۵	۴

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد ، *: معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ns: عدم معنی‌داری

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر روش آبیاری، سطوح آبیاری و زمان بر روی مقدار محصول و وزن هزاردانه در سطح یک درصد معنی‌دار شده است. تأثیر روش آبیاری بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نشد و تأثیر سطوح آبیاری و زمان بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی دار گردید. تأثیر زمان بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی دار گردید. اثر متقابل روش و سطوح آبیاری بر مقدار محصول در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید و بر روی وزن هزاردانه و ارتفاع گیاه معنی‌دار نگردید.

شکل ۷ نتایج مقایسه میانگین تأثیر روش‌ها و سطوح مختلف آبیاری بر مقدار محصول کلزا را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۹۷ میزان عملکرد محصول نسبت به سال ۹۸ بیشتر بوده است. در بین تیمارها بیشترین عملکرد محصول مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ۱۲۰ درصد (۳۹۸۷ کیلوگرم در هکتار) در سال ۹۷ و کمترین مقدار محصول مربوط به آبیاری بارانی در سطح ۶۰ درصد (۲۲۱۷ کیلوگرم در هکتار) در سال ۹۸ بود. در هر سه روش آبیاری بیشترین عملکرد محصول در سطح ۱۲۰ درصد بوده و برای آبیاری قطره‌ای نواری، بارانی و جویچه‌ای به ترتیب برابر ۳۹۸۷، ۳۷۹۰ و ۳۷۸۰ کیلوگرم در هکتار است که آبیاری قطره‌ای نواری نسبت به بارانی و جویچه‌ای به ترتیب ۱۰ و ۶ درصد افزایش محصول داشت. عباسیان و همکاران در سال ۲۰۱۲ با بررسی تأثیر سیستم‌های آبیاری بر عملکرد محصولات کشاورزی به این نتیجه رسیدند که روش‌های نوین آبیاری علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب نسبت به روش‌های سنتی و بالا بردن بهره‌وری مصرف آب، باعث می‌شوند که محصول پربارتر با

زیست‌توده بیشتری تولید شود. کریمی فرزقی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی سه روش آبیاری (غرقابی، قطره‌ای و بارانی) بر روی زعفران گزارش دادند که بیشترین وزن خشک و عملکرد محصول زعفران مربوط به روش آبیاری قطره‌ای بود. بهارلو و همکاران (۲۰۲۲) در مقایسه روش‌های آبیاری جویچه‌ای و آبیاری قطره‌ای نواری، گزارش دادند که بهترین تیمار برای مناطق خشک، آبیاری با سیستم آبیاری قطره‌ای نواری می‌باشد. فانگ و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی تأثیر توأم روش‌های مختلف آبیاری (آبیاری کرتی، آبیاری بارانی، آبیاری نشتی و آبیاری قطره‌ای) با میزان آبیاری متفاوت بر روی مقدار محصول و بهره‌وری مصرف آب در محصول گندم در طی سه سال زراعی پرداختند نتایج نشان داد که افزایش دفعات آبیاری با استفاده از آبیاری قطره‌ای تحت شرایط محدودیت آب ورودی به طور معنی داری باعث بهبود عملکرد محصول و بهره‌وری مصرف آب شد، در حالی که حجم کل آبیاری یکسان بود. وانگ و همکاران (۲۰۱٤) در یک مطالعه در شمال غربی چین نشان داده‌اند که افزایش دفعات آبیاری با مقادیر کم در هر آبیاری می‌تواند عملکرد دانه ذرت بالاتری داشته باشد و با کاهش دفعات آبیاری کاهش عملکرد مشاهده شد. همچنین در مطالعه توسعه برنامه کم‌آبیاری برای بهبود بهره‌وری مصرف آب، رشد و عملکرد بادام زمینی در منطقه نیمه خشک گرمسیری هند با استفاده از سه نوع آبیاری سطحی، قطره‌ای و بارانی مشاهده شد که استفاده از آبیاری بارانی با آبیاری قطره‌ای تأثیر مثبتی بر پارامترهای رشد، ویژگی‌های عملکرد و سودآوری اقتصادی با نسبت سود به هزینه بالاتر داشت. علاوه بر این، تنها تفاوت‌های جزئی بین نتایج کم‌آبیاری با استفاده از سیستم بارانی و قطره‌ای وجود داشت (سیوارسان و همکاران ۲۰۲۲).



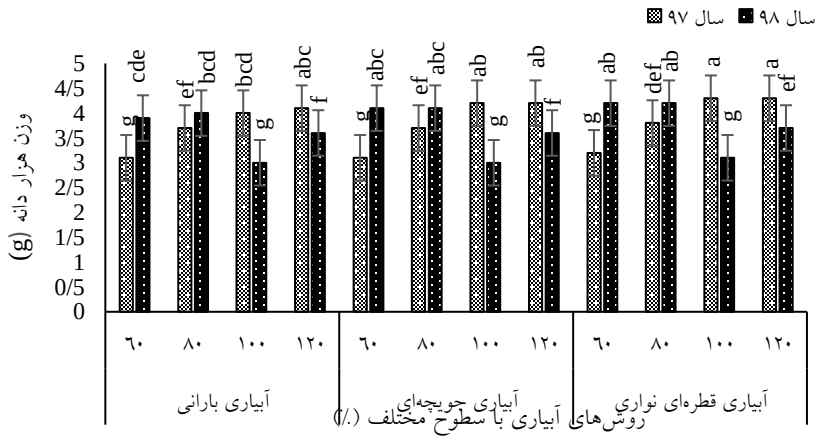
شکل ۷- تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر مقدار عملکرد محصول در گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

وزن هزار دانه

شکل ۸ مقایسه میانگین داده‌های مربوط به تأثیر انواع آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه کلزا را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین وزن هزار دانه کلزا (٤/۳ گرم) مربوط به آبیاری قطره‌ای نواری در سطح ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد آبیاری و در سال ۹۷ می‌باشد و کم‌ترین مقدار آن (۳ گرم) مربوط به آبیاری جویچه‌ای در سطح ٦۰ درصد و در سال ۹۸ می‌باشد. در هر سه روش آبیاری با افزایش سطح آبیاری وزن

هزاردانه افزایش می‌یابد. در هر چهار سطح آبیاری، آبیاری قطره‌ای بیشترین وزن هزار دانه را دارد.

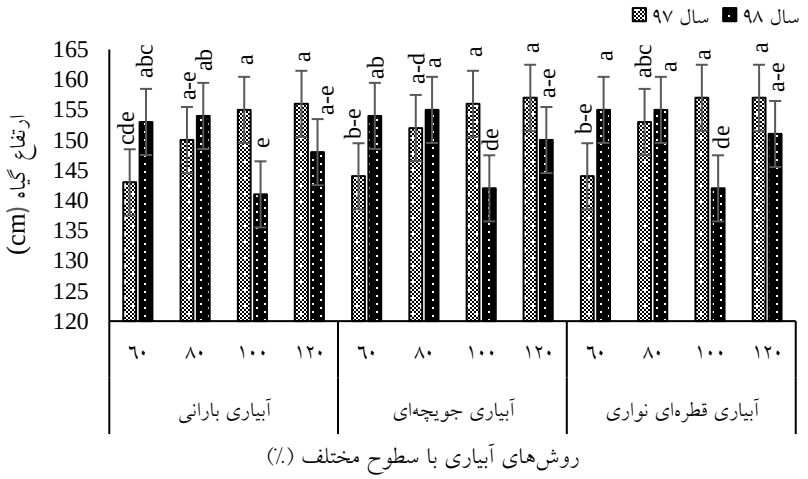


شکل ۸- تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر وزن هزار دانه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

ارتفاع گیاه

نتایج تجزیه واریانس مربوط به تأثیر انواع روش‌ها و سطوح مختلف آبیاری بر روی ارتفاع گیاه کلزا (جدول۳) نشان می‌دهد که تأثیر روش آبیاری بر ارتفاع گیاه معنی‌دار نشد و تأثیر سطوح آبیاری بر ارتفاع گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار گردید. تأثیر زمان بر ارتفاع گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار گردید. نمودار مقایسه میانگین‌ها (شکل ۹) نشان می‌دهد که در سال ۹۷ ارتفاع گیاه کلزا نسبت به سال ۹۸ بیشتر بوده است و در بین روش‌های آبیاری، روش قطره‌ای نواری در سطح ۱۲۰ و ۱۰۰ درصد (۱۵۵ سانتی‌متر) در سال ۹۷ بیشترین ارتفاع کلزا را داشت و کمترین ارتفاع گیاه مربوط به سطح ۶۰ درصد در سال ۹۸ می‌باشد که در هر سه روش آبیاری برابر ۱۴۲ سانتی‌متر می‌باشد. در مطالعه‌ای روی دو روش آبیاری کرتی و قطره‌ای بیشترین عملکرد محصول، ارتفاع گیاه و طول دانه در روش آبیاری قطره‌ای مشاهده شد (کوچکی و سیدی ۲۰۱۵).



شکل ۹- تأثیر روش‌های آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر مقدار ارتفاع گیاه کلزا.

حروف غیر مشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در بین میانگین‌ها با آزمون دانکن می‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و محدودیت منابع آبی، ارزیابی تأثیر سه روش آبیاری جویچه‌ای، بارانی و قطره‌ای نواری در سطوح آبیاری مختلف بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کلزا طی دو سال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که از بین سه روش آبیاری، کمترین مقدار عمق آب آبیاری و تبخیر- تعرق مربوط به روش قطره‌ای نواری در سطح ۶۰ درصد و بیشترین مقدار آن مربوط به آبیاری جویچه‌ای در سطح ۱۲۰ بود. روش قطره‌ای نواری دارای بهره‌وری مصرف آب، بهره‌وری مصرف آب آبیاری، عملکرد محصول و وزن هزاردانه بیشتری نسبت به آبیاری بارانی و جویچه‌ای بود. همچنین آبیاری بارانی نسبت به آبیاری جویچه‌ای عملکرد بهتری داشت. روش آبیاری قطره‌ای نواری و بارانی نسبت به آبیاری جویچه‌ای بدون در نظر گرفتن میزان آب مصرفی باعث افزایش عملکرد محصول شدند. همچنین در بین سطوح آبیاری بیشترین محصول و بهترین شاخص‌های عملکردی مربوط به سطح آبیاری ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد بود. در همه روش‌های آبیاری با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد، شاخص های عملکردی اندازه‌گیری شده مانند مقدار محصول، وزن هزار دانه و ارتفاع گیاه به طور معنی داری افزایش یافت ولی بین دو سطح ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد اختلاف معنی داری مشاهده نشد. در بین سطوح آبیاری از نظر میزان مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب آبیاری، سطح ۶۰ درصد در همه روش‌های آبیاری مناسب‌تر بود. بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش و سایر مطالعات انجام گرفته می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش‌های نوین آبیاری مانند روش قطره‌ای نواری و بارانی بجای روش جویچه‌ای یا سطحی علاوه بر صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی باعث بهبود عملکرد محصول نیز می‌گردد. همچنین اعمال تنکیک‌های کم‌آبیاری در این روش‌ها نسبت به روش‌های سنتی، افت عملکرد کمتر و افزایش بهره‌وری مصرف آب بیشتری خواهند داشت.

زودآیند

منابع مورد استفاده

Abalos D, Sanchez-Martin L, Garcia-Torres L, van Groenigen JW and Vallejo A, 2014. Management of irrigation frequency and nitrogen fertilization to mitigate GHG and NO emissions from drip-fertigated crops. Science of the Total Environment 490: 880–888.

Abbasian J, 2012. A study on optimum agroecological, physiological conditions to obtain maximum yield and flowering duration of saffron (*Crocus sativus* L.). National Conference on the Newest Scientific and Research Findings on Saffron. Torbat-e Heydarieh, Iran.

Al-Ghobari HM, and Dewidar AZ, 2018. Integrating deficit irrigation into surface and subsurface drip irrigation as a strategy to save water in arid regions. Agricultural Water Management 209: 55-61.

Ali MH, Hoque MR, Hassan AA and Khair A, 2007. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. Agricultural Water Management 92: 151–161.

Azizi Gh, Moosavi SG, Seghatoleslami MJ and Fazeli Rostampour M, 2022. Effect of different irrigation systems and fertilizer types on saffron corm production: Journal of Medicinal Plants and By-products 20(2): 1-10.

Baharloo K, Albaji M, Golabi M and Tishezan P, 2022. Comparison of furrow, drip tape irrigation, 2- hole bottle and sub-surface tape irrigation on the yield and yield component of (*Raphanus sativus* var. Longipinnatus) radish. Irrigation Sciences and Engineering 45(2): 31-48.

Bhunia SR, Verma IM, Arif M, Gochar R and Sharma NC, 2015. Effect of cropgeometry, drip irrigation and bio-regulator on growth, yield and water useefficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agricultural Science 11: 45–49.

Bian CY, Ma CJ, Liu XH, Gao C, Liu R, Yan ZX, Ren YJ and Li QQ, 2016. Responses of winter wheat yield and water use efficiency to irrigation frequency and planting pattern. PLoS One, http://dx.doi.org/10.1371/journal. pone.0154673.

Cavero J, Faci JM, Medinaa E and Martínez-Cob A, 2017. Alfalfa forage production under solid-set sprinkler irrigation in asemiarid climate: Agricultural Water Management 191: 184–192.

Enciso JM, Unruh BL, Colaizzi PD and Multer WL, 2003. Cotton response to subsurface drip irrigation frequency under deficit irrigation. Agricultural Water Management 19: 555–558.

Fanga Q, Zhanga X, Shaoa L, Chena S and Sun H, 2018. Assessing the performance of different irrigation systems on winter wheat under limited water supply. Journal of Experimental Botany 58: 147–159.

Filipova M, Zheleva I, Sulejmenova N and Abildaev E, 2017. An Analysis of Growth Factors of Rapeseed at Modern Resource-saving Technology: Application of Mathematics in Technical and Natural Sciences, AIP Conf. Proc. 1895(030001).

Gadami Firouzabadi A, Seyedan M and Mazheri Laghab H, 2011. Technical and economical assessment of micro and furrow irrigation methods on grain yield and water use efficiency in four rapeseed cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences 13(2): 325-335. (in Persian with English abstract)

Hergert GW, Margheim JF, Pavlista AD, Martinb DL, Supalla RJ and Isbell TA, 2016. Yield, irrigation response, and water productivity of deficit to fullyirrigated spring canola. Agricultural Water Management 168: 96-103.

Howell TA, Cuenca RH and Solomon KH, 1990. Crop Yield Response Management of Farm Irrigation Systems. Pp. 93–122, ASAE Mono, St. Joseph, MI.

Jensen CR, Ørum JE, Pedersen SM, Andersen MN, Plauborg F, Liu F and Jacobsen SE, 2014. A short overview of measures for securing water resources for irrigated crop production. Journal of Agronomy and Crop Science 200: 333–343.

Karimiferezghi M, Gangimoghadam HR, Kafi M and Nezami A, 2018. Comparison of the effect of irrigation levels and methods on leaf area and replacement corm production of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy and Technology 6(3): 279- 290.

Koocheki A and Seyyedi SM, 2015. Relationship between nitrogen and phosphorus use efficiency in saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agronomy and Technology 2: 75–91.

Lobell DB and Ortiz-Monasterio JI, 2006. Evaluating strategies for improved wateruse in spring wheat with CERES. Agricultural Water Management 84: 249–258.

Mousavizadeh F, 2014. Evaluation of different irrigation managements on canola production using the AquaCrop model. Master Thesis, Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, 198 pages. (in Persian with English abstract)

Peake AS, Carberry PS, Raine SR, Gett V and Smith RJ, 2016. An alternativeapproach to whole-farm deficit irrigation analysis: evaluating therisk-efficiency of wheat irrigation strategies in sub-tropical Australia: Agricultural Water Management 169: 61–76.

Qin SJ, Li S, Kang TS, Tong L and Ding RS, 2016. Can the drip irrigation under film mulch reduce crop evapotranspiration and save water under the sufficient irrigation condition. Agricultural Water Management 177:128–137.

Salamati N, Danaie A and Yaaghoobi V, 2022. Evaluation of different levels of drip irrigation water on yield and yield components in canola. Journal of Water and Soil 36(3): 333-349. (in Persian with English abstract)

Salamti N and Delbari M, 2014. Effects of the amount of water in tape drip irrigation on quality and quantity of yield of two canola varieties in Behbahan region. Jouranl of Water Research in Agriculture 28(3): 329-340. (in Persian with English abstract)

Sezena SM, Yazar A, Kapur B and Tekin S, 2011. Comparison of drip and sprinkler irrigation strategies on sunflower seed and oil yield and quality under Mediterranean climatic conditions. Agricultural Water Management 98: 1153-1161.

Sivarasan S, Vijayalakshmi R, Kumar V and Surendran U, 2022. Development of deficit irrigation program for improving the water use efficiency, growth, and yield of groundnut in the semiarid tropical region of India. Journal of Soil and Water Conservation 77 (1): 30-44; DOI: https://doi.org/10.2489/jswc.2022.00139.

Tari AF, 2016. The effects of different deficit irrigation strategies on yield, quality, and water-use efficiencies of wheat under semi-arid conditions. Agricultural Water Management 167: 1-10.

Wang XK, Li ZB and Xing YY, 2014. Effects of dripper discharge and irrigation frequency on growth and yield of maize in loess plateau of Northwest China. Journal of Botany 46: 1019–1025.

Wu Y, Jia Z, Ren X, Zhang Y, Chen X, Bing H and Zhang P, 2015. Effects of ridge and furrow rainwater harvesting system combined with irrigation on improving water use efficiency of maize (*Zea mays* L.) in semi-humid area of China. Agricultural Water Management 158: 1–9.