

## Investigation of drought and salinity stresses on leaf area index, some physiological traits, and water productivity of sesame in hot and arid region of Yazd province

E. Seyfipour Naghneh<sup>1</sup>, N. Yarami<sup>2\*</sup>, A. Azizian<sup>2</sup>, Gh.H Ranjbar<sup>3</sup>

1. M.Sc. Graduate of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

3. Associate Professor, Department of Agronomy and Horticulture, National Salinity Research Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran

Received 14 September 2023; Accepted 18 December 2023

### Extended abstract

#### Introduction

In the irrigated agriculture of Iran, the quantitative and qualitative limitations of water resources and consequently, drought and salinity stresses, always threaten crop production. This problem exists in most regions of the country. Sesame is one of the oilseed and industrial crops that is somewhat resistant to drought and salinity and its placement in the cultivation pattern can provide some part of the country's need for sesame production and oilseed crops. Sesame is known as the queen of oil seeds because of its high percentage and quality of oil and high properties for health. The aim of this study was to investigate the water productivity, leaf area index, and some physiological traits of sesame Oltan variety including canopy cover temperature, Chlorophyll index, and water potential under simultaneous drought and salinity stresses.

#### Materials and methods

A factorial experiment in randomized complete block design was conducted in Research Farm of Ardakan University during the 2019 to 2020 growing season with three replications. Experimental factors were four salinity levels of irrigation water including 1.5, 4, 7, and 10 dS.m<sup>-1</sup> and three drought levels with different irrigation intervals as 4, 8 and 12 days, respectively. During the growing season, leaf area index, canopy cover temperature, and chlorophyll index were measured for four times (35, 50, 65 and 85 days after sowing). Leaf water potential was also measured in the mid-growing season. Water productivity for grain production was also determined. Statistical analysis was done using SPSS version 22 software and averages were compared with Duncan's test at 5% probability level.

#### Results and discussion

Results showed that the irrigation interval had a significant effect on the leaf area index, leaf water potential, grain yield, and water productivity. Irrigation water salinity had a significant effect on all of the studied traits, the interaction of the drought and salinity stresses was not only significant on SPAD index. Increasing the irrigation interval from 4 to 12 days and increasing water salinity from 1.5 to 10 dS

\* Corresponding author: Najmeh Yarami; E-Mail: [nyarami@ardakan.ac.ir](mailto:nyarami@ardakan.ac.ir)



$m^{-1}$  decreased the maximum leaf area index of sesame by 49% and 58%, respectively. Also, an increase in salinity from 1.5 to 10  $dS.m^{-1}$  resulted in 18% increase in leaf temperature, 40% decrease in SPAD index, and 17% decrease in leaf water potential. The increase in drought stress also had no significant effect on leaf temperature, while it caused 14% increase in SPAD index and 15% decrease in leaf water potential. Increasing the irrigation interval from 4 to 8 and 12-day caused a 67 and 68% significant decrease in grain yield, respectively. There was no significant difference in the grain yield of 8 and 12-day irrigation interval. Increasing the water salinity from 1.5 to 4, 7, and 10  $dS.m^{-1}$  decreased the grain yield by 35, 80, and 96%, respectively. Increasing the irrigation interval from 4 to 8 and 12 days caused a 55 and 51% decrease in water productivity, respectively. This index decreased significantly (95%) by increasing water salinity from 1.5 to 10  $dS.m^{-1}$ .

### Conclusion

Water productivity and maximum leaf area index decreased significantly by increasing water salinity and irrigation interval. An increasing trend in leaf temperature was observed with increasing salinity, which is due to the decrease in plant transpiration under exposure to salinity stress. The SPAD index showed a decreasing trend with the increase in salinity, while the increase in drought stress (increasing the irrigation interval) caused an increase in this index. Sesame leaf water potential also decreased by increasing salinity and drought stresses. Generally, results showed that leaf area index and studied physiological traits of sesame were more affected by water salinity stress than drought stress. The results of interaction also showed that in all investigated traits, except for leaf water potential, no significant difference was observed between 8 and 12-day irrigation interval at all salinity levels. In 1.5 and 4  $dS.m^{-1}$  salinity levels, the difference in grain yield and water productivity were significant in 4 and 8-day irrigation interval, while there was no significant difference in 7 and 10  $dS.m^{-1}$  salinity levels. Although the highest grain yield and water productivity were observed in the 4-day irrigation interval and 1.5  $dS.m^{-1}$  salinity level treatment, based on the results of physiological traits, grain yield, and water productivity of sesame, especially under water shortage conditions, it is recommended to use 12-day irrigation interval instead of 8-day because there was no significant difference in the water productivity.

**Keywords:** Canopy temperature, Irrigation interval, Leaf water potential, Oltan variety, Saline water

## بررسی اثر تنش‌های خشکی و شوری بر شاخص سطح برگ، برخی صفات فیزیولوژیکی و بهره‌وری مصرف آب کنگد در منطقه گرم و خشک استان یزد

الهه سیفی پور نقنه<sup>۱</sup>، نجمه یرمی<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل عزیزیان<sup>۳</sup>، غلامحسن رنجبر<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.
۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان.
۳. دانشیار، گروه زراعت و باغبانی، مرکز ملی تحقیقات شوری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد.

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: آب شور پتانسیل آب برگ دمای پوشش سبز دور آبیاری رقم اولتان	خشکی و شوری از مهم‌ترین چالش‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند. هدف از پژوهش حاضر، بررسی شاخص سطح برگ، برخی صفات فیزیولوژیکی و بهره‌وری مصرف آب کنگد رقم اولتان در شرایط تنش‌های هم‌زمان خشکی و شوری بود. برای این منظور آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه اردکان در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح آبیاری با دوره‌های ۴، ۸ و ۱۲ روز و چهار سطح شوری آب شامل ۱/۵، ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۲ روز باعث کاهش حداکثر شاخص سطح برگ به میزان ۴۹ درصد، افزایش ۱۴ درصدی شاخص سبزی‌نگی و کاهش ۱۵ درصدی پتانسیل آب برگ شد و اثر معنی‌دار بر دمای سطح برگ نداشت. افزایش شوری از ۱/۵ به ۱۰، کاهش ۵۸ درصدی حداکثر شاخص سطح برگ، افزایش ۱۸ درصدی دمای سطح برگ، کاهش ۴۰ درصدی شاخص سبزی‌نگی و کاهش ۱۷ درصدی پتانسیل آب را به دنبال داشت. افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۵ به ۴، ۷ و ۱۰، باعث کاهش ۳۵، ۸۰ و ۹۶ درصدی عملکرد دانه شد. افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ روز، به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۵۵ و ۵۱ درصدی بهره‌وری مصرف آب شد. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد که در همه صفات مورد بررسی به جز پتانسیل آب برگ اختلاف معنی‌داری بین دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز در همه سطوح شوری مشاهده نشد. اگرچه بیشترین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تیمار شوری ۱/۵ و دور ۴ روز مشاهده شد اما بر اساس نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد به خصوص در شرایط کمبود آب استفاده از دور آبیاری ۱۲ روز به جای دور ۸ روز در همه سطوح شوری قابل توصیه است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۷	
تاریخ انتشار: بهار ۱۴۰۴ ۷۰-۵۱(۱): ۱۸	

### مقدمه

گیاه شده و بسته به مرحله رشد گیاه، شدت و مدت خشکی، تقریباً بر تمامی فرآیندهای رشدی گیاه تأثیرگذار است (Zhao et al., 2020). شوری نیز از طریق کاهش پتانسیل اسمزی آب خاک و در نتیجه کاهش جذب آب توسط گیاه، سمیت یون‌های ویژه از قبیل سدیم و کلر و همچنین کاهش جذب یون‌های غذایی موردنیاز گیاه مانند کلسیم و پتاسیم بر رشد و نمو گیاه تأثیر منفی می‌گذارد (Kaya et al., 2003). غالباً واکنش گیاهان به تنش‌های هم‌زمان خشکی و شوری

گیاهان در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک مانند اکثر مناطق ایران، همواره تحت تأثیر تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری قرار می‌گیرند که رشد و نمو آن‌ها را کاهش می‌دهد (Kazempour et al., 2017; Teixeira et al., 2020). برای تأمین نیاز روزافزون مواد غذایی در این مناطق چاره‌ای به جز استفاده از آب‌های با کیفیت پایین یا آب‌های نامتعارف وجود ندارد (Baghani et al., 2015). تنش خشکی با ایجاد پتانسیل ماتریک منفی در خاک باعث کاهش جذب آب توسط

تنش‌های محیطی می‌تواند با اندازه‌گیری پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گیرد.

کنجد گیاه یک‌ساله خودگشن با نام علمی *Sesamum indicum* L. یکی از قدیمی‌ترین گیاهان و از دانه‌های روغنی مهم جهان است. دانه کنجد کاربردهای زیادی در مصارف غذایی، دارویی و صنعتی دارد و به دلیل درصد بالای روغن دانه و روغن با کیفیت و خواص بالا برای سلامتی به‌عنوان ملکه دانه‌های روغنی شناخته می‌شود (Wu et al., 2019). کنجد به دلیل سیستم ریشه‌ای وسیع تحمل خوبی به شرایط تنش خشکی (Weiss, 2000) و شوری (Mahmood et al., 2003) دارد اما مانند همه گیاهان این تنش‌ها بر تمامی فرآیندهای اساسی آن مانند رشد، تقسیم سلولی، سوخت‌وساز انرژی، سنتز پروتئین، فتوسنتز و همه فرآیندهای فیزیولوژیکی آن تأثیرگذار است. نتایج پژوهش مهرابی‌زاده و احسان‌زاده (Mehrabi zadeh and Ehsan Zade, 2012) نشان داد که افزایش تنش خشکی از سطح آبیاری I1 (آبیاری پس از ۷۵ میلی‌متر تبخیر از تشت) به I3 (آبیاری پس از ۱۴۵ میلی‌متر تبخیر از تشت) در کنجد به ترتیب منجر به کاهش ۴۸ و ۵۵ درصدی در عملکرد دانه و شاخص سطح برگ شد. بهزادنژاد و همکاران (Behzad Nejad et al., 2018) با انجام پژوهشی بر روی کنجد گزارش کردند که کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید. در پژوهشی به بررسی شاخص‌های مبتنی بر دمای گیاه برای تشخیص وضعیت پتانسیل آب کنجد تحت تأثیر تنش خشکی پرداخته شد. نتایج نشان داد که محتوای نسبی آب برگ با هدایت روزنه‌ای ارتباط مستقیم دارد. همچنین بیان شد که دمای پوشش سبز، با کاهش آب خاک و تعرق گیاه، ابتدا افزایش و سپس با شیب ملایم کاهش یافت (Khorsandi et al., 2018). با بررسی اثر تنش خشکی بر کنجد بیان شد که افزایش تنش خشکی از سطح آبیاری ۱۰۰ به ۴۰ درصد نیاز آبی باعث کاهش معنی‌دار ۵۴ درصدی در عملکرد دانه گردید (Behzadnejad et al., 2020).

شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2021) به بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های مختلف کنجد در شرایط تنش شوری پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که صفات فیزیولوژیکی مانند کلروفیل برگ و محتوای نسبی آب برگ در همه ارقام کنجد با افزایش شوری از ۰/۹ به ۹

بسیار پیچیده‌تر از یک اثر جمع‌پذیری ساده از این دو عامل تنش‌زا است (Glenn et al., 2012). تنش‌های محیطی با تأثیر بر صفات مورفولوژیک، بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاهان باعث تغییراتی در رشد و عملکرد گیاه می‌شوند. عکس‌العمل گیاهان مختلف و حتی گونه‌های یک گیاه نسبت به این تنش‌ها متفاوت است. لذا بررسی نحوه پاسخ به این تنش‌ها برای گیاهانی که قابلیت کشت در مناطق خشک را دارند، ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب راهبرد مدیریت مناسب آب در مزرعه برای بهبود صفات فیزیولوژیکی می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه تأثیر داشته باشد.

در کشاورزی پایدار توجه به ارتقای بهره‌وری مصرف آب امری لازم و ضروری است (Asres, 2023). همچنین در تولید محصولات زراعی، گسترش سطح برگ و به‌تبع آن افزایش شاخص سطح برگ برای افزایش سطح دریافت‌کننده تشعشع خورشیدی و تجمع زیست‌توده در گیاه ضروری است (Sinclair et al., 2004). در شرایط تنش خشکی کاهش شدت فتوسنتز گیاه موجب کوچک‌تر شدن برگ‌ها می‌شود و با افزایش تنش شوری، سلول‌های برگ آب خود را از دست می‌دهند و سرعت تقسیم و طولی شدن آن‌ها کاهش پیدا می‌کند که این عوامل سبب کاهش سطح برگ می‌شود (Demiral, 2005). ظرفیت فتوسنتزی هر گیاه به غلظت کلروفیل آن بستگی دارد که در شرایط تنش این ظرفیت تغییر می‌کند. بررسی‌ها نشان داده است که شاخص سبزیگی (شاخص SPAD) همبستگی بالایی با مقدار کلروفیل برگ دارد لذا می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تخمین غلظت کلروفیل برگ مورد مقایسه قرار گیرد (Poblaciones et al., 2009). پتانسیل آب برگ وضعیت آبی گیاه را منعکس می‌کند و با درجه تنش گیاه در ارتباط است به‌طوری‌که کاهش پتانسیل آب و به‌تبع آن کاهش فشار آماس بر همه فرآیندهای متابولیکی گیاه تأثیر منفی دارد (Yang et al., 2021). این ویژگی به دلیل وقت‌گیر بودن و عدم قابلیت اندازه‌گیری خودکار، برای پایش مستمر وضعیت آبی گیاه مناسب نیست (García-Tejero et al., 2012) بسته شدن روزنه‌ها مکانیسم کلیدی در پاسخ گیاه به شرایط تنش به‌ویژه تنش خشکی است تا با کاهش خروج آب از گیاه به‌صورت تعرق، اثر خنک‌کنندگی پوشش گیاهی از بین برود و دمای پوشش گیاهی افزایش یابد (Feher-Juhász et al., 2014) لذا دمای پوشش سبز شاخص قابل‌اعتمادی برای سنجش وضعیت تنش در گیاهان محسوب می‌شود؛ بنابراین نحوه پاسخ گیاهان به

کنجد به ترتیب ۳۱/۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۳/۳ درصد بود. پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی عبارت از چهار سطح شوری آب آبیاری شامل شوری ۱/۵، ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و سه دور آبیاری شامل ۴، ۸ و ۱۲ روز بودند. آب لوله‌کشی شهری به عنوان تیمار شاهد یعنی اولین سطح شوری بکار برده شد و بقیه تیمارهای شوری از ادغام آب لوله‌کشی شهری با منبع آب شور موجود در ایستگاه تحقیقاتی (آب چاه) با شوری حدود ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر ساخته شد. برای تنظیم شوری آب مورد نظر، قبل از شروع آبیاری با مخلوط کردن آب لوله‌کشی با آب شور در مخزن و کنترل شوری آن با استفاده از شوری‌سنج پرتابل سطوح شوری مدنظر برای تیمارها فراهم می‌شد. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی آب‌های مورد استفاده با شوری‌های مختلف در جدول (۱) ارائه شده است. برای سهولت در آبیاری از سیستم نوار تیپ استفاده شد، به طوری که بین هر دو ردیف کاشت یک نوار تیپ قرار گرفت. حجم آبیاری لازم توسط کنتور حجمی که در مسیر لوله اصلی سیستم آبیاری قرار گرفته بود، کنترل گردید.

در اواسط خردادماه ۱۳۹۹ عملیات شخم لایه سطحی خاک، پخش کود دامی پوسیده و تسطیح زمین، صورت گرفت سپس زمین به کرت‌هایی با ابعاد ۱ در ۵ متر مربع تقسیم‌بندی شد. کرت‌ها توسط پشته‌هایی به عرض ۰/۵ متر و با ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر محصور شدند و علاوه بر پشته‌ها، فاصله بین کرت‌های مجاور یک متر در نظر گرفته شد.

بافت خاک لومی، متوسط رطوبت وزنی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم تا عمق ۶۰ سانتی‌متری به ترتیب ۲۲/۸ و ۸/۵ درصد و وزن مخصوص ظاهری ۱/۴۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود که با نمونه‌برداری مرکب از خاک ایستگاه قبل از کشت اندازه‌گیری شدند. شوری عصاره اشباع خاک قبل از کشت تا عمق ۶۰ سانتی‌متر حدود ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود.

### عملیات کشت و آبیاری

از بذر رقم اولتان که از موسسه بذر و نهال کشور تهیه گردید برای این پژوهش استفاده شد. بذرهای قبل از کاشت با محلول ۵ در هزار سولفات مس به نسبت ۷۰ گرم برای یک‌صد کیلوگرم بذر ضدعفونی شدند. فاصله ردیف‌های کشت ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کشت در ۱۰ تیرماه ۱۳۹۹

دسی‌زیمنس بر متر، کاهش یافت و رقم اولتان به عنوان مقاوم‌ترین رقم به شرایط شوری معرفی شد. سوسانا و همکاران (Suassuna et al., 2017) در پژوهشی در برزیل گزارش کردند که شوری بر جوانه‌زنی کنجد تأثیری نداشت اما رشد گیاهچه‌ها در شوری بالا (۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر) متوقف شد. همچنین بیان داشتند که تولید دانه کنجد در همه مراحل فنولوژیکی رشد تحت تأثیر شوری از سطح ۰/۶ تا ۴/۶ دسی‌زیمنس بر متر قرار می‌گیرد. در پژوهشی با بررسی آنزیم‌های فتوسنتزی دو رقم کنجد کشت‌شده در گلدان تحت شرایط شوری دریافتند که در هر دو رقم شدت فتوسنتز و آنزیم‌های مربوط به آن با افزایش سطح شوری از شاهد به ۱۲۰ میلی‌مولار، کاهش یافتند (Desingh and Kanagaraj, 2020).

تاکنون تحقیقات زیادی به منظور بررسی تأثیر تنش‌های خشکی و شوری به طور مجزا بر خصوصیات مورفولوژیکی کنجد به ویژه در شرایط گلخانه‌ای انجام شده است ولی در مورد اثر هم‌زمان دو تنش خشکی و شوری به خصوص در شرایط مزرعه مطالعات اندکی انجام شده است. مطالعات انجام شده در رابطه با پاسخ شاخص‌های فیزیولوژیکی کنجد به این تنش‌ها در طول دوره رشد نیز محدود است. از سوی دیگر در اغلب پژوهش‌ها، شوری به طور مصنوعی با اضافه نمودن نمک به آب غیر شور تهیه شده است اما در مورد اثر منابع طبیعی آب شور به عنوان گزینه‌هایی برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تحقیقات اندکی صورت گرفته است. با توجه به اهمیت تولید کنجد در کشور به خصوص در استان یزد به عنوان قطب تولید فرآورده‌های کنجی و لزوم کشت ارقام متحمل به تنش، این پژوهش به منظور بررسی شاخص سطح برگ، برخی صفات مهم فیزیولوژیکی و بهره‌وری مصرف آب کنجد رقم اولتان به تنش‌های هم‌زمان خشکی و شوری صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

#### مشخصات آزمایش

این پژوهش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه اردکان اجرا گردید. این مزرعه در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۴۸ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و با ارتفاع ۱۰۴۰ متر از سطح دریا در شهر اردکان، در استان یزد قرار دارد. میانگین درجه‌حرارت و رطوبت نسبی در منطقه انجام پژوهش در دوره رشد و نمو

با تنک کردن بوته‌ها تراکم به ۲۲ بوته در مترمربع رسانده شد. فاصله بین بوته‌ها در هر ردیف ۱۵ سانتی‌متر لحاظ شد.

صورت گرفت و بذره‌های کنگد به صورت یکنواخت روی خطوط کاشت و در عمق ۱ تا ۲ سانتی‌متری سطح خاک ریخته و سپس با خاک پوشانده شدند. بعد از سبز شدن بذرها

جدول ۱. آنالیز شیمیایی آب آبیاری با شوری‌های مختلف

Table 1. Chemical analysis of irrigation water for different salinities

EC	pH	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>
dS m <sup>-1</sup>		meq. l <sup>-1</sup>						
1.5	8.13	10.98	0.23	1.0	2.8	0.9	2.6	11.5
4.0	7.95	30.42	0.29	1.8	7.5	9.41	1.4	29.2
7.0	7.77	57.42	0.46	3.1	10.4	13.58	1.2	56.6
10.0	7.77	81.51	0.60	4.2	13.8	19.21	0.8	80.1

که در آن FC: رطوبت ظرفیت زراعی خاک، PWP: رطوبت نقطه پژمردگی دائم خاک و  $\theta_m$ : متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری برای هر دور آبیاری است.

عمق خاک جهت آبیاری، با تخمین عمق توسعه ریشه از طریق رابطه (۴) در طول دوره رشد تعیین شد (Borg and Grimez, 1986):

$$R_d = R_{d \min} + R_{d \max} \left[ 0.5 + 0.5 * \sin \left( \times \frac{D_{age}}{D_{t \max}} - 1.47 \right) \right] \quad [4]$$

در این رابطه  $R_d$ : عمق ریشه (cm)،  $R_{d \min}$ : عمق کاشت بذر (cm)،  $R_{d \max}$ : حداکثر عمق ریشه (cm)،  $D_{age}$ : تعداد روز از تاریخ کاشت (day) و  $D_{t \max}$ : زمان رسیدن به حداکثر عمق ریشه (day) است. در رابطه فوق، عمق کاشت بذر ۲ سانتی-متر و حداکثر عمق ریشه کنگد ۸۵ سانتی‌متر در زمان ۶۰ روز پس از کاشت در نظر گرفته شد (Dargahi et al., 2013).

#### صفات اندازه‌گیری شده

عملیات برداشت در این پژوهش، به روش دستی در اوایل مهرماه ۱۳۹۹، هم‌زمان با زرد شدن بوته‌ها صورت گرفت. نمونه‌برداری از بوته‌ها از کادر یک مترمربع و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای، از هر کرت انجام شد. بعد از جدا کردن دانه‌ها از کپسول‌ها، اندازه‌گیری عملکرد دانه با ترازوی دقیق انجام شد.

بهره‌وری مصرف آب (WP) در هر تیمار با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید.

$$WP = \frac{GY}{TIV} \quad [5]$$

از زمان کاشت تا مرحله هشت برگی، پنج نوبت آبیاری به میزان جبران رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی با آب لوله-کشی ایستگاه انجام شد و پس از استقرار کامل یعنی در مرحله هشت برگی، تیمارهای شوری و دور آبیاری اعمال شدند. وجین علف‌های هرز به صورت دستی در طول دوره رشد انجام گرفت. کود اوره با درصد خلوص ۴۵ درصد نیتروژن، به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار، در دو نوبت در طول دوره رشد به زمین داده شد. نوبت اول زمان هشت برگی شدن گیاه (۳۰ روز بعد از کاشت) و نوبت دوم قبل از شروع مرحله گلدهی (۶۰ روز بعد از کاشت) بود. از زمان اعمال تیمارهای شوری و دور آبیاری، عمق آب آبیاری موردنیاز برای هر تیمار (ID) با تعیین رطوبت خاک قبل از هر آبیاری به روش نمونه‌برداری وزنی و جبران رطوبت تا حد ظرفیت زراعی و در نظر گرفتن جزء آبشویی (LF) به میزان ۳۰ درصد، با استفاده از رابطه (۱) تعیین گردید. حجم آب آبیاری لازم برای هر تیمار نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$ID = \frac{(\theta_{FC} - \theta_{soil}) \times \rho_b \times R_d}{1 - LF} \quad [1]$$

$$IV = ID \times Ap \quad [2]$$

که در آن: ID: عمق آب آبیاری (cm)،  $\theta_{FC}$ : رطوبت وزنی ظرفیت زراعی،  $\theta_{soil}$ : رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری،  $\rho_b$ : وزن مخصوص ظاهری خاک ( $\text{gr cm}^{-3}$ )،  $R_d$ : عمق ریشه (cm)، LF: جزء آبشویی، IV: حجم آب آبیاری ( $\text{cm}^3$ ) و Ap: مساحت هر کرت ( $\text{cm}^2$ ) است. با محاسبه متوسط رطوبت خاک قبل از آبیاری برای هر دور آبیاری به محاسبه درصد تخلیه آب قابل‌دسترس خاک ( $D_p$ ) با استفاده از رابطه (۳) پرداخته شد.

$$D_p = \frac{FC - \theta_m}{FC - PWP} \quad [3]$$

زمان‌ها یعنی ۳۵، ۵۰ و ۸۵ روز بعد از کاشت اندازه‌گیری صفات تنها در یک تکرار انجام شد و هدف بررسی الگوی تغییرات این صفات در دوره رشد در تیمارهای مختلف شوری و دور آبیاری بود. تجزیه و تحلیل آماری برای صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن در سطح معنی‌داری پنج درصد انجام شد. رسم نمودارها توسط نرم‌افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

#### تعداد و حجم آبیاری و تخلیه رطوبتی خاک

در این پژوهش تعداد کل دفعات آبیاری در کل دوره رشد کنگد در دوره‌های ۴، ۸ و ۱۲ روز به ترتیب ۱۹، ۱۳ و ۱۱ بار بود. متوسط کل حجم آبیاری در دوره‌های مذکور به ترتیب ۹۵۱۶، ۷۰۹۳ و ۶۲۸۳ مترمکعب بر هکتار بود. کاهش میزان آب آبیاری بکار برده شده در دوره‌های ۸ و ۱۲ روز نسبت به دور آبیاری ۴ روز به ترتیب ۲۵ و ۳۴ درصد محاسبه شد. متوسط رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در دوره‌های ۴، ۸ و ۱۲ روز به ترتیب ۲۷/۸، ۲۱/۵ و ۱۶/۴ درصد بود که با در نظر گرفتن حدود رطوبتی ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم برای خاک، دوره‌های آبیاری مذکور به ترتیب منجر به تخلیه آب قابل‌دسترس خاک به میزان ۲۸/۳، ۵۷/۷ و ۸۲/۱ درصد شده بودند. حد تخلیه مجاز رطوبتی برای کنگد در نشریه فائو، ۶۰ درصد گزارش شده است (Allen et al., 1998). بر اساس همین نشریه مقدار تخلیه مجاز رطوبتی تابعی از قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر است و مقادیر ارائه شده توسط فائو برای  $ET_c = 5 \text{ mm.day}^{-1}$  گزارش شده و برای شرایط آب و هوایی گرم که مقادیر ETC بالا است مقدار تخلیه مجاز رطوبتی بین ۱۰ تا ۲۵ درصد از مقادیر ارائه شده توسط فائو کمتر است. با توجه به اقلیم منطقه مطالعه اگر میزان کاهش تخلیه مجاز رطوبتی در کمترین حد (۱۰ درصد) و بیشترین حد (۲۵ درصد) فرض شود این حد تخلیه مجاز به ترتیب معادل ۵۴ و ۴۵ درصد خواهد بود. با توجه به مقادیر تخلیه آب قابل‌دسترس خاک در این پژوهش مشخص است که در هر صورت در دور آبیاری ۴ روز گیاه با تنش آبی مواجه نبوده چون این میزان تخلیه حتی برای گیاهان حساس به تنش آبی نیز قابل‌قبول است (بر اساس نشریه فائو مقدار تخلیه مجاز رطوبتی برای گیاهان حساسی مانند کاهو، پیاز، سیر و فلفل شیرین ۳۰ درصد گزارش شده است) و در

WP: بهره‌وری مصرف آب ( $\text{kg.m}^{-3}$ )، GY: عملکرد دانه ( $\text{kg.ha}^{-1}$ ) و TIV: کل حجم آب آبیاری بکار برده شده ( $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ ) است.

در چهار نوبت در طول دوره رشد (۳۵، ۵۰، ۶۵ و ۸۵ روز پس از کاشت)، شاخص سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی (SPAD) و دمای پوشش سبز اندازه‌گیری گردید. زمان‌های مذکور برای اندازه‌گیری صفات به ترتیب مصادف با مرحله ابتدایی، توسعه، میانی و پایانی رشد کنگد بودند. برای تعیین شاخص سطح برگ در هر نوبت، از هر تیمار (کرت) یک بوته که معرف کل بوته‌های کرت بود، به صورت تصادفی برداشت شد و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و مساحت کل برگ‌های بوته توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Leaf Area Meter, مدل WinArea UT 11) اندازه‌گیری گردید. سپس بر اساس مساحت اشغالی هر بوته روی زمین (حاصل ضرب فاصله بین ردیف‌ها در فاصله بین بوته‌ها روی ردیف)، شاخص سطح برگ محاسبه شد. برای اندازه‌گیری شاخص سبزی‌نگی (SPAD)، یک بوته که معرف کل بوته‌های هر کرت بود انتخاب شد. سپس شاخص سبزی‌نگی با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری اسپد مدل (SPAD 502 Minolta) بر روی پنج برگ سالم و توسعه‌یافته در بالای بوته، قرائت شد. متوسط اعداد قرائت‌شده به‌عنوان شاخص SPAD برای هر تیمار ثبت گردید. اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی نیز توسط دماسنج مادون‌قرمز (IR Infrared Thermometer-DT-8550) در ساعت ۱۳ تا ۱۴ بعدازظهر با نشانه‌روی به سمت برگ‌های یک بوته انتخابی از هر تیمار در چهار جهت، انجام شد و متوسط اعداد قرائت‌شده به‌عنوان دمای پوشش گیاهی برای هر تیمار ثبت گردید. اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ توسط دستگاه بمب فشاری (Pressure Chamber -A35B) حدود ۷۰ روز بعد از کاشت (مرحله رشد میانی) در ساعات اولیه صبح انجام شد. بدین منظور، به صورت تصادفی از هر تیمار، تعداد ۶ برگ تکامل‌یافته از بوته‌هایی که معرف خوبی برای هر تیمار بودند، جدا شد و پتانسیل کل آب آن‌ها اندازه‌گیری گردید و متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده به‌عنوان پتانسیل آب برگ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری شاخص سطح برگ، شاخص سبزی‌نگی و دمای پوشش سبز در زمان ۶۵ روز بعد از کاشت برای همه تیمارها در تمام تکرارها انجام شد و با توجه به اینکه در این زمان پوشش سبز گیاه به حداکثر رسیده بود لذا تجزیه و تحلیل آماری و مقایسه میانگین صفات مذکور در این زمان انجام گردید. در سایر

سطح برگ کنگد در **جدول (۳)** ارائه شده است. بر اساس نتایج، افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ روز، کاهش معنی‌دار ۴۲ و ۴۹ درصدی شاخص سطح برگ را به همراه داشت. کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش خشکی توسط کرمان حسن‌آبادی و همکاران (Karamian Hasan Abadi et al., 2021) برای کنگد، سرخی و فاتح (Sorkhi and Fateh, 2019) برای دو رقم لوبیاچیتی و فاضلی شورکی و همکاران (Fazeli-Shoroki et al., 2022) برای گلرنگ گزارش شده است. شعبانی و همکاران (Shabani et al., 2009) نیز بیان نمودند که شاخص سطح برگ کلزا در اثر اعمال تنش آبی کاهش یافت و سرعت کاهش شاخص سطح برگ در انتهای دوره رشد در تیمار تنش در مرحله رسیدن دانه بیشتر از بقیه تیمارها بود. در شرایط تنش خشکی کاهش شدت فتوسنتز گیاه و همچنین زوال زودتر برگ‌ها باعث کاهش شاخص سطح برگ می‌شود (Cakir, 2004) که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز به ترتیب گیاه با تنش ملایم و شدید خشکی مواجه بوده است.

### تحلیل آماری صفات اندازه‌گیری شده

نتایج تجزیه واریانس اثر دور و شوری آب آبیاری و برهمکنش آن‌ها بر شاخص سطح برگ، صفات فیزیولوژیک، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد تحت عوامل مورد آزمایش در **جدول (۲)** ارائه شده است که به تفکیک در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

### شاخص سطح برگ

**جدول (۲)** نشان می‌دهد که دور و شوری آب آبیاری و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌دار بر حداکثر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد داشت. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور و شوری آب آبیاری بر حداکثر شاخص

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

Table 2. Variance analysis of investigated traits regimes

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات (Mean Square)					
		محصول دانه	بهره‌وری مصرف آب	حداکثر شاخص سطح برگ	دمای پوشش سبز	شاخص سبزی‌نگی	پتانسیل آب برگ
Source of Variation	d.f	Grain yield	Water productivity	Maximum leaf area index	Canopy temperature	SPAD index	Leaf water potential
بلوک	2	0.004 <sup>ns</sup>	0.000 <sup>ns</sup>	0.009 <sup>ns</sup>	7.19 <sup>ns</sup>	63.68 <sup>ns</sup>	0.075 <sup>ns</sup>
Block							
دور آبیاری (F)	2	1.55 <sup>**</sup>	0.011 <sup>**</sup>	4.98 <sup>**</sup>	0.73 <sup>ns</sup>	96.12 <sup>ns</sup>	25.99 <sup>**</sup>
Irrigation interval (F)							
شوری آب آبیاری (S)	3	2.03 <sup>**</sup>	0.029 <sup>**</sup>	4.76 <sup>**</sup>	60.73 <sup>**</sup>	96.07 <sup>**</sup>	15.03 <sup>**</sup>
Irrigation water salinity (S)							
دور آبیاری × شوری آب آبیاری	6	0.51 <sup>**</sup>	0.004 <sup>**</sup>	1.27 <sup>**</sup>	10.78 <sup>*</sup>	72.95 <sup>ns</sup>	1.89 <sup>**</sup>
F×S							
خطا	22	22	0.000	0.047	3.54	35.71	0.08
Error							
ضریب تغییرات		14.3	14.0	12.8	5.1	12.4	1.5
C.V (%)							

ns, \* and \*\*: Not-significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

کاهش جذب و انتقال مواد معدنی از ریشه به برگ اتفاق می‌افتد و در چنین شرایطی گیاه با کاهش تعداد یا سطح برگ، سطح فتوسنتز کننده خود را کاهش می‌دهد لذا ظرفیت فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد (Alinejadian Bidabadi

افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۵ به ۴، ۷ و ۱۰ دسی-زیمنس بر متر، این شاخص را به‌طور معنی‌دار به ترتیب حدود ۳۲، ۵۷ و ۵۸ درصد کاهش داد. در شرایط تنش شوری،



مستقیم با میزان فتوسنتز جاری در گیاه دارد (Emam and Niknejad, 2011) تنش شوری با کاهش این صفت می‌تواند به کاهش تولید موارد پرورده، کاهش اندازه گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد اقتصادی گیاه منجر گردد (Ranjbar and Anagholi, 2018).

(et al., 2018). کاهش سطح برگ گلرنگ در اثر افزایش شوری آب آبیاری نیز گزارش شده است (Fazeli-Shoroki et al., 2022).

شاخص سطح برگ به‌عنوان یکی از معیارهای مهم قابل اندازه‌گیری در شرایط شور محسوب می‌گردد (Munns and Tester, 2008). با توجه به اینکه شاخص سطح برگ رابطه

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور آبیاری و شوری آب آبیاری بر حداکثر شاخص سطح برگ، دمای پوشش سبز، شاخص SPAD و پتانسیل آب برگ کنجد

Table 3. Means comparison of main and interaction effects of irrigation interval and water salinity on maximum leaf area index, canopy temperature, SPAD index, and leaf water potential of sesame.

صفات Traits	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (day)	شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) Irrigation water salinity (dS m <sup>-1</sup> )				میانگین (Average)
		1.5	4.0	7.0	10.0	
حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index	4	4.22 <sup>a</sup>	3.00 <sup>b</sup>	1.25 <sup>d</sup>	1.22 <sup>d</sup>	2.42 <sup>A</sup>
	8	1.93 <sup>c</sup>	1.33 <sup>d</sup>	1.17 <sup>d</sup>	1.22 <sup>d</sup>	1.41 <sup>B</sup>
	12	1.87 <sup>c</sup>	1.07 <sup>d</sup>	1.01 <sup>d</sup>	0.95 <sup>d</sup>	1.23 <sup>C</sup>
	میانگین (Average)	2.67 <sup>A</sup>	1.80 <sup>B</sup>	1.15 <sup>C</sup>	1.13 <sup>C</sup>	
دمای پوشش سبز Canopy temperature (°C)	4	30.9 <sup>cd*</sup>	31.1 <sup>cd</sup>	33.7 <sup>bcd</sup>	36.6 <sup>b</sup>	33.1 <sup>A</sup>
	8	32.4 <sup>cd</sup>	32.5 <sup>cd</sup>	33.5 <sup>bcd</sup>	34.0 <sup>bc</sup>	33.1 <sup>A</sup>
	12	30.1 <sup>d</sup>	31.0 <sup>cd</sup>	33.0 <sup>cd</sup>	39.9 <sup>a</sup>	33.5 <sup>A</sup>
	میانگین (Average)	31.2 <sup>C</sup>	31.5 <sup>C</sup>	33.4 <sup>B</sup>	36.8 <sup>A</sup>	
شاخص سبزیگی SPAD index	4	53.6 <sup>a</sup>	50.1 <sup>a</sup>	33.9 <sup>b</sup>	26.8 <sup>b</sup>	41.1 <sup>B</sup>
	8	51.7 <sup>a</sup>	50.7 <sup>a</sup>	36.1 <sup>b</sup>	37.8 <sup>b</sup>	44.1 <sup>AB</sup>
	12	52.5 <sup>a</sup>	56.5 <sup>a</sup>	48.2 <sup>a</sup>	29.9 <sup>b</sup>	46.8 <sup>A</sup>
	میانگین (Average)	52.6 <sup>A</sup>	52.5 <sup>A</sup>	39.4 <sup>B</sup>	31.5 <sup>C</sup>	
پتانسیل آب برگ (بار) Leaf water potential (bar)	4	-16.0 <sup>a</sup>	-16.6 <sup>b</sup>	-16.3 <sup>ab</sup>	-18.7 <sup>d</sup>	-16.9 <sup>A</sup>
	8	-16.1 <sup>ab</sup>	-16.2 <sup>ab</sup>	-16.5 <sup>ab</sup>	-18.2 <sup>c</sup>	-16.8 <sup>A</sup>
	12	-17.7 <sup>c</sup>	-17.7 <sup>c</sup>	-20.6 <sup>e</sup>	-21.5 <sup>f</sup>	-19.4 <sup>B</sup>
	میانگین (Average)	-16.6 <sup>A</sup>	-16.9 <sup>A</sup>	-17.8 <sup>B</sup>	-19.5 <sup>C</sup>	

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند، حروف بزرگ برای اثرات اصلی و حروف کوچک برای برهمکنش دو فاکتور بکار رفته است.

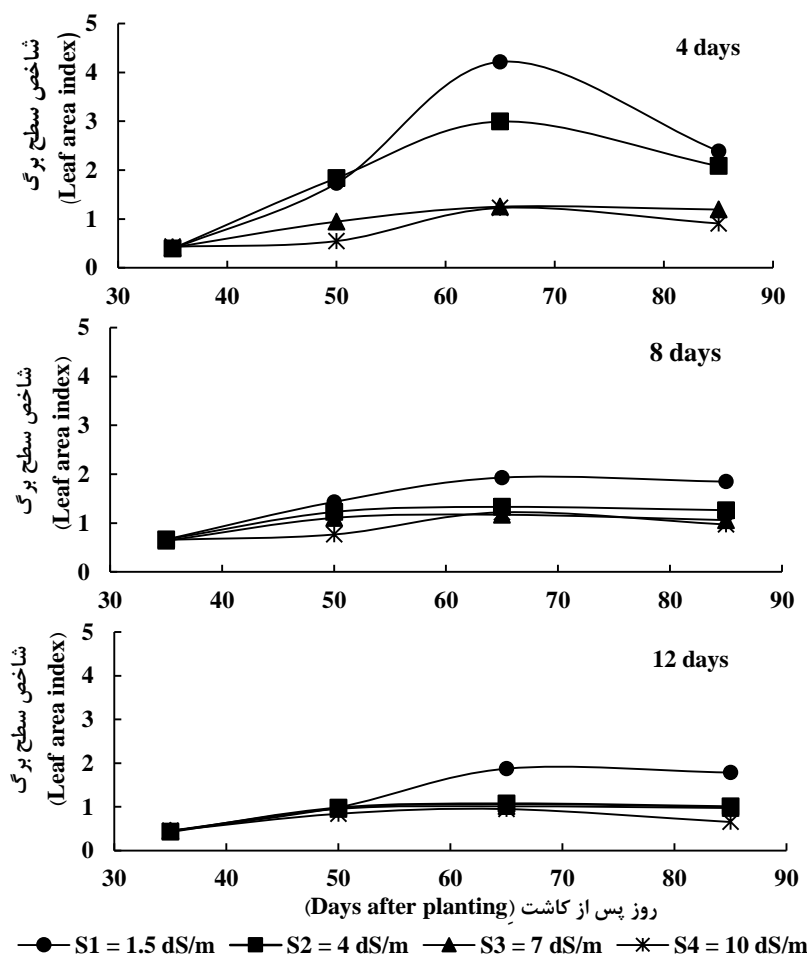
\* Means followed by the same letters for each trait are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's test, capital and small letters are used for main and interaction effects, respectively.

(افزایش شوری به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و افزایش دور آبیاری به ۱۲ روز) نسبت به تنش‌های ملایم کاهش سطح برگ معنی‌دار نبوده است. در شرایط پژوهش حاضر با توجه به نتایج اثرات متقابل شوری و دور آبیاری بر شاخص سطح برگ، برای کشت کنجد دور آبیاری ۴ روز و شوری آب آبیاری تا حد ۴ دسی‌زیمنس بر متر توصیه می‌گردد. درحالی‌که در شرایط کمبود آب، دور آبیاری ۱۲ روز به‌جای ۸ روز در همه سطوح شوری قابل توصیه است. الگوی تغییرات شاخص سطح برگ کنجد در طول دوره رشد برای دوره‌های مختلف آب آبیاری در شکل (۱) ارائه شده است.

نتایج اثر متقابل دو عامل نشان می‌دهد که در هر دور آبیاری اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بین شاخص سطح برگ در اولین سطح شوری و سایر سطوح شوری وجود داشت و در سطوح شوری پایین (۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر) نیز با افزایش دور آبیاری از ۴ روز به ۸ روز شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. نتایج به‌طور کلی نشان می‌دهد که ایجاد تنش شوری ملایم (افزایش شوری از ۱/۵ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر) و تنش خشکی ملایم (افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ روز) باعث کاهش معنی‌دار در سطح برگ شده است و در شرایط شدیدتر شدن تنش‌های مذکور

مواجهه بوده است یعنی دوره‌های ۸ و ۱۲ روز، ضمن کاهش شدید شاخص سطح برگ، در تمام سطوح شوری الگوی تغییرات ملایم بوده است. مشخص است که در شرایط مواجهه گیاه با دو تنش هم‌زمان شوری و خشکی مقادیر شاخص سطح برگ با افت شدیدی روبرو بوده و پس از ۶۵ روز بعد از کاشت تغییرات زیادی در شاخص سطح برگ وجود نداشته است. شعبانی و همکاران (Shabani et al., 2009) نیز تغییرات افزایشی شاخص سطح برگ کلزا تا زمان گلدهی و تغییرات کاهش‌ی آن را بعد از زمان گلدهی مشاهده کردند.

بر اساس شکل (۱) الگوی تغییرات شاخص سطح برگ در اولین دور آبیاری (۴ روز) برای دو سطح شوری ۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر مشابه بود به طوری که از ۳۵ روز بعد از کاشت تغییرات افزایشی وجود داشت و در ۶۵ روز بعد از کاشت (مرحله رشد میانی) به حداکثر مقدار رسیده و بعد از آن به دلیل زرد شدن برگ‌ها کاهش پیدا کرده است درحالی‌که برای دو سطح شوری ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر الگوی تغییرات بسیار ملایم بوده است و نقطه حداکثر سطح برگ مشهود نیست. در شرایطی که گیاه با تنش خشکی



شکل ۱. الگوی تغییرات شاخص سطح برگ در دوره رشد کنگد در شوری‌های مختلف آب آبیاری برای دوره‌های مختلف آبیاری

Fig. 1. Variation pattern of leaf area index at different irrigation water salinities during growing period of sesame for different irrigation intervals

متقابل دور و شوری آب به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور و شوری آب آبیاری بر دمای پوشش سبز در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج در همه سطوح شوری

### دمای پوشش سبز

طبق نتایج جدول (۲) دور آبیاری اثر معنی‌دار بر دمای پوشش سبز در زمان حداکثر پوشش گیاه (۶۵ روز بعد از کاشت) نداشته است درحالی‌که اثر اصلی شوری آب آبیاری و اثر

این افزایش فقط در دو سطح شوری ۱/۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار بود.

الگوی تغییرات دمای پوشش سبز نسبت به زمان برای دوره‌های مختلف آبیاری در شکل (۲) ارائه شده است. تغییرات دمای پوشش سبز در دور آبیاری ۴ روز (شرایط بدون تنش خشکی) تقریباً در همه سطوح شوری نسبتاً ملایم است؛ اما در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز که گیاه با تنش خشکی مواجه بوده الگوی تغییرات دمای سطح برگ در دوره اعمال تنش زیاد بوده است. در هر دور آبیاری تغییرات دمای برگ در سطوح بالاتر شوری یعنی ۷ و ۱۰ نیز نسبت به شوری‌های کمتر (۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر و مقادیر دما نیز بالاتر بوده است یعنی تنش شوری اثر تشدیدکننده‌ای برای کاهش میزان تعرق و در نتیجه افزایش دمای پوشش سبز در شرایط مواجهه با تنش خشکی داشته است. همچنین الگوی تغییرات دمای پوشش سبز در دوره رشد نشان داد که در اکثر تیمارها در اولین اندازه‌گیری (۳۵ روز بعد از کاشت) دما بالا بوده و بعدازآن با تغییرات کاهشی در ۶۵ روز بعد از کاشت به حداقل مقدار رسیده و بعدازآن در انتهای دوره رشد مجدداً افزایشی در میزان دمای سطح برگ ملاحظه شد. نتایج نشان می‌دهد که الگوی تغییرات پوشش سبز (شکل ۲) با تغییرات شاخص سطح برگ (شکل ۱) هماهنگ است به طوری که با افزایش سطح برگ به علت افزایش میزان تعرق دمای پوشش سبز کاهش می‌یابد و شاید به همین دلیل ۶۵ روز بعد از کاشت به دلیل حداکثر شاخص سطح برگ، حداقل دمای پوشش ثبت گردید.

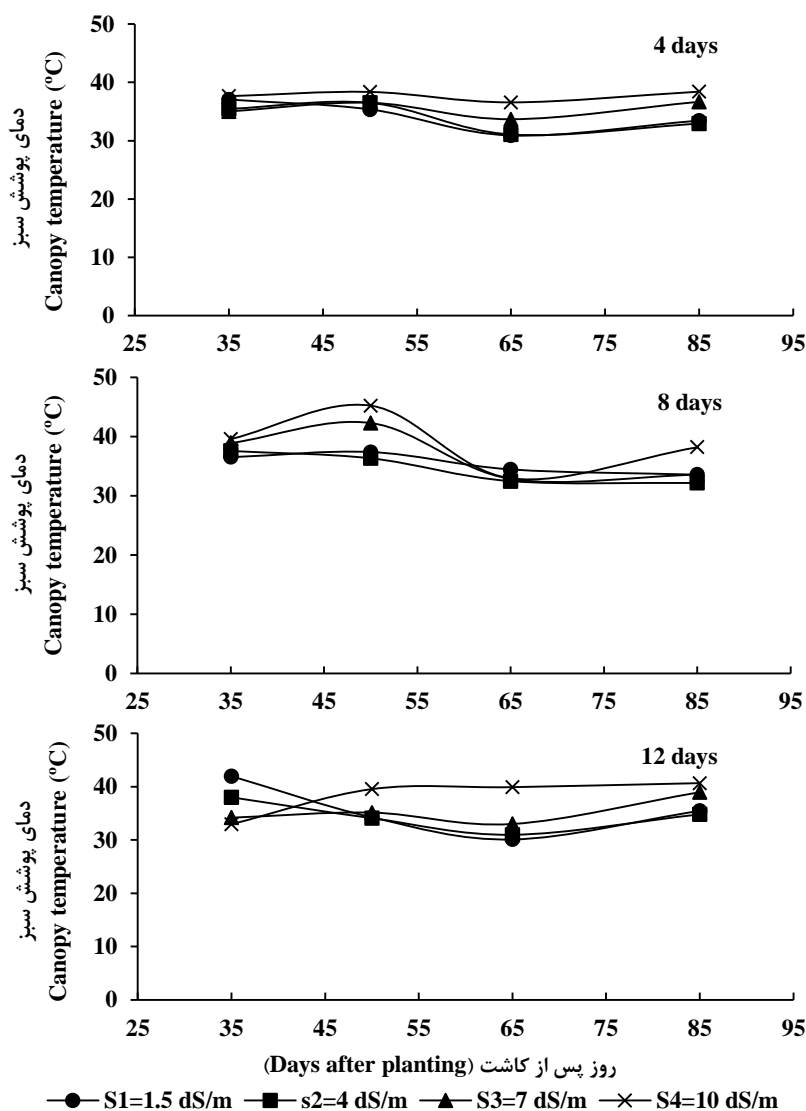
### شاخص سبزی‌نگی (SPAD)

جدول (۲) نشان می‌دهد که شوری آب آبیاری در سطح یک درصد اثر معنی‌دار بر شاخص SPAD داشته ولی اثر دور آبیاری و برهمکنش دور و شوری آب بر این صفت معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور و شوری آب آبیاری بر شاخص SPAD در زمان حداکثر پوشش سبز در جدول (۳) ارائه شده است. بررسی میانگین‌ها نشان داد که تقریباً در تمام سطوح شوری با افزایش دور آبیاری شاخص SPAD افزایش داشته است هرچند این افزایش معنی‌دار نبوده است.

اختلاف معنی‌دار در دمای پوشش با افزایش دور آبیاری مشاهده نشده است. دمای پوشش سبز بیشتر به باز و بسته شدن روزنه‌های برگ و رخداد تعرق وابسته است که خود فرآیند پیچیده‌ای است. در پژوهشی افزایش دمای پوشش سبز کنگد با افزایش تنش خشکی در سطوح آبیاری کامل (آبیاری در پتانسیل ماتریک ۰/۱ مگاپاسکال)، تنش ملایم (آبیاری در پتانسیل ماتریک ۱/۰ مگاپاسکال) و تنش شدید (آبیاری در پتانسیل ماتریک ۱/۵ مگاپاسکال) گزارش شده است (Khorsandi et al., 2018) درحالی‌که در پژوهش دیگری تغییر معنی‌دار در دمای پوشش سبز هشت ژنوتیپ کنگد در شرایط تنش خشکی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) نسبت به شرایط تأمین نیاز آبی کامل گیاه مشاهده نشده است (Golestani and Pakniyat, 2015). علت گزارش‌های متفاوت در مورد دمای پوشش سبز کنگد می‌تواند مربوط به عکس‌العمل‌های متفاوت ارقام مختلف این گیاه در شرایط تنش خشکی باشد.

بررسی تیمارهای تحت آبیاری با آب شور نشان داد که با افزایش شوری از ۱/۵ به ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب افزایش معنی‌داری حدود ۷ و ۱۸ درصد در دمای پوشش سبز به علت کاهش میزان تعرق گیاه مشاهده گردید. افزایش دمای پوشش سبز چغندرقد در شرایط تنش شوری نیز گزارش شده است (Assadi Nassab et al., 2012). افزایش دمای سطح برگ درختان پسته تحت تنش‌های رطوبتی و شوری، در پژوهش عطایی و همکاران (Ataee et al., 2019) و تحت تنش خشکی برای گیاه کلزا (Shabani et al., 2009) نیز گزارش شده است.

بررسی اثر متقابل دور و شوری آب آبیاری بر دمای پوشش سبز نشان می‌دهد که در سطوح شوری ۱/۵ تا ۷ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری در دمای پوشش سبز در دوره‌های مختلف آبیاری وجود نداشت درحالی‌که در بالاترین سطح شوری (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) دمای پوشش سبز در دور آبیاری ۱۲ روز نسبت به دور ۴ روز به طور معنی‌داری به میزان ۹ درصد افزایش یافت. در هر دور آبیاری نیز اختلاف معنی‌داری در دمای پوشش سبز در سطوح شوری ۱/۵ تا ۷ مشاهده نشد و فقط در دوره‌های آبیاری ۴ و ۱۲ روز اختلاف معنی‌داری بین سطوح شوری ۱/۵ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر وجود داشت. به‌طور کلی می‌توان گفت در یک دور آبیاری ثابت، افزایش شوری آب آبیاری سبب افزایش دمای پوشش سبز شد هرچند



شکل ۲. الگوی تغییرات دمای پوشش سبز در دوره رشد کنگد در شوری‌های مختلف آب آبیاری برای دوره‌های مختلف آبیاری

Fig. 2. Variation pattern of canopy temperature at different irrigation water salinities during growing period of sesame for different irrigation intervals

در نتیجه آن سلول‌های بیشتری در واحد وزن برگ تجمع یافته و شاخص کلروفیل (سبزی‌نگی) برگ افزایش می‌یابد اما با شدید شدن تنش خشکی به دلیل تجزیه کلروفیل مقدار این شاخص کاهش می‌یابد. در پژوهشی بیان شده است که وجود اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و رقم کنگد در کلروفیل a و کلروفیل کل بیانگر عکس‌العمل متفاوت ارقام مختلف کنگد به رژیم آبیاری برای این دو صفت است (Mehrabi zadeh and Ehsan Zade, 2012). در برخی پژوهش‌ها نیز بیان شده که با افزایش تنش خشکی غلظت کلروفیل b بیشتر از کلروفیل a کاهش می‌یابد در نتیجه نسبت کلروفیل a به کلروفیل b افزایش یافته و افزایش این

گزارش‌های مختلفی در رابطه با افزایش، کاهش یا حتی عدم تفاوت شاخص کلروفیل نسبت به تنش خشکی در گیاهان زراعی مختلف بیان شده است. به‌عنوان مثال موسوی فر و همکاران (Mousavifar et al., 2011) بیان کردند که تنش ملایم خشکی باعث افزایش شاخص SPAD و تنش شدید خشکی باعث کاهش این شاخص در سه ژنوتیپ گلرنگ شده است درحالی‌که فاضلی شورکی و همکاران (Fazeli-Shoroki et al., 2022) کاهش معنی‌دار شاخص SPAD را برای گلرنگ رقم گلدشت با افزایش تنش خشکی گزارش کردند. از نظر نونامی و همکاران (Nonami et al., 1997) در شرایط تنش ملایم خشکی، اندازه سلول‌ها کاهش می‌یابد که

میزان کلروفیل برگ به دلیل سازوکارهای تحمل به تنش از قبیل کاهش سطح برگ و افزایش ضخامت برگ شود که نتیجه آن افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ است (Rajcan et al., 1999). لیکن با افزایش بیش از اندازه شوری و اثرات سوء آن بر ساختار کلروفیل و در نتیجه تخریب کلروپلاست‌ها، میزان کلروفیل کاهش می‌یابد (Cramer, 2002).

تغییرات شاخص SPAD در طول دوره رشد برای دوره‌های مختلف آبیاری در شکل (۳) آمده است. الگوی تغییرات حاکی از آن است که در اولین اندازه‌گیری (۳۵ روز بعد از کاشت) مقادیر شاخص در حد بالایی بوده و بعد از آن در همه تیمارها تغییرات کاهشی مشاهده شده و مجدداً در انتهای دوره رشد (۸۵ روز بعد از کاشت) مقدار شاخص سبزیگی افزایش یافته است. یکی از دلایل این الگوی تغییرات این است که اعمال تنش باعث کاهش شاخص SPAD در ابتدا شده ولی به مرور زمان گیاه به شرایط تنش سازگاری پیدا کرده و این شاخص افزایش یافته است. دلیل دیگر این واقعیت است که عموماً با افزایش رشد و سن گیاه میزان تحمل به تنش در اغلب گیاهان زراعی افزایش می‌یابد به طوری که گزارش شده است که با افزایش سن گیاه تحمل به شوری در اغلب گیاهان زراعی بهبود پیدا می‌کند (Maas and Grattan, 1999). با توجه به شکل (۳) در هر دور آبیاری بیشترین مقدار شاخص SPAD مربوط به سطح شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده و با افزایش شوری مقدار آن کاهش پیدا کرده است.

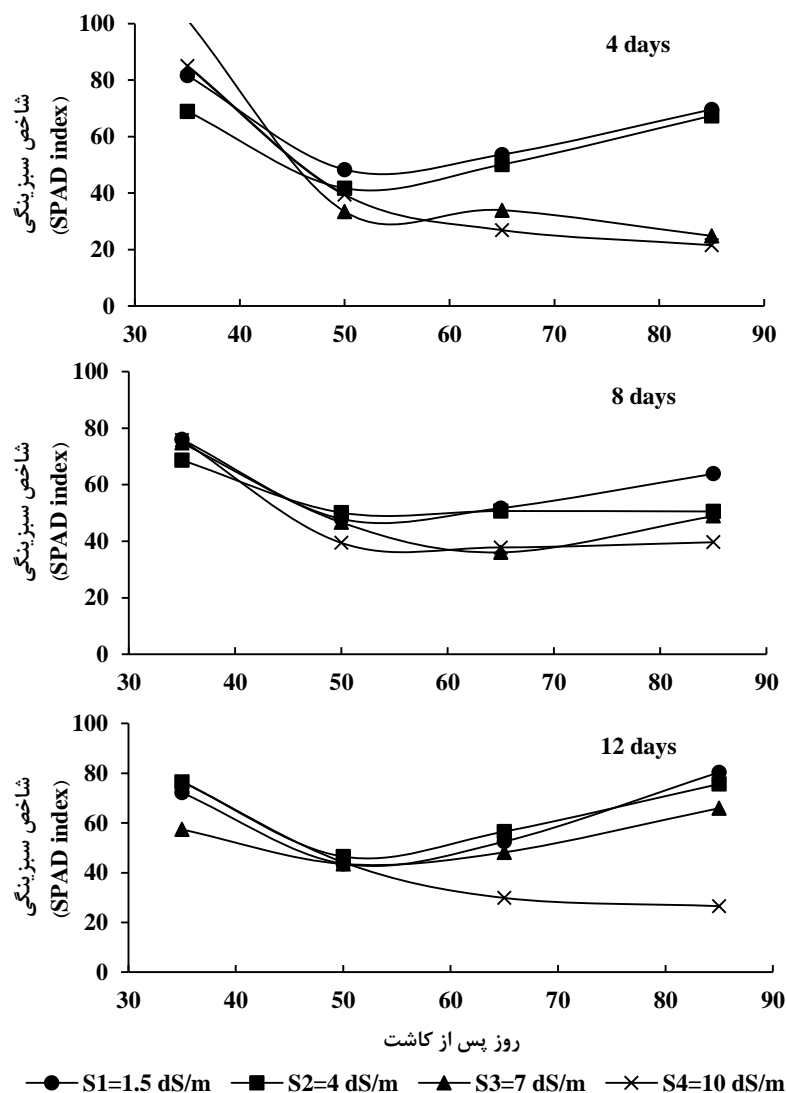
#### پتانسیل آب برگ

بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که هر دو عامل مورد آزمایش و برهمکنش آن‌ها بر پتانسیل آب برگ در سطح یک درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین پتانسیل آب برگ در جدول (۳) آمده است. بر اساس این جدول، در بررسی اثرات اصلی تیمارها، پتانسیل آب برگ از دور آبیاری ۴ به ۱۲ روز به‌طور معنی‌دار ۱۵ درصد کاهش یافت اما اختلاف معنی‌دار بین دور آبیاری ۴ و ۸ روز وجود نداشت. در پژوهشی کاهش معنی‌دار پتانسیل آب برگ در ژنوتیپ‌های مختلف کنجد در شرایط مواجهه با تنش خشکی (تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) در مقایسه با شرایط بدون تنش خشکی (تأمین نیاز آبی کامل گیاه) مشاهده شده است (Golestani and Pakniyat, 2015).

نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر می‌شود. بهزادنژاد و همکاران (Behzad Nejad et al., 2018) با انجام پژوهشی بر روی کنجد گزارش کردند که کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ به ۴۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش معنی‌دار رنگیزه‌های فتوسنتزی گردید.

بررسی نتایج اثر شوری بر شاخص SPAD حاکی از اختلاف غیر معنی‌دار این شاخص در دو سطح شوری اول (۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر) و کاهش معنی‌دار این شاخص در سطوح بیشتر شوری (۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) است. افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، کاهش معنی‌دار ۴۰ درصدی شاخص SPAD برگ کنجد را به همراه داشت. شوری در گیاه باعث افت ظرفیت فتوسنتزی می‌شود که این مسئله می‌تواند به دلیل کاهش محتوای کلروفیل، پتانسیل آب برگ، محتوای نسبی آب برگ و میزان تعرق گیاه باشد (Viera-Santos, 2004). کاهش میزان شاخص SPAD با افزایش شوری توسط دیگران نیز گزارش شده است (Ranjbar et al., 2016; Saleh, 2012). کاهش شاخص محتوای کلروفیل در شرایط شور می‌تواند به دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده میزان کلروفیل و کلروپلاست باشد (Jamil et al., 2007). دلیل این فرآیند تخریب ساختار کلروپلاست و همچنین ناپایداری ترکیبات پروتئینی رنگیزه‌های کلروپلاست گزارش شده است (Kim et al., 2004). شهبازی و همکاران (Shahbazi et al., 2021) دریافتند که رقم اولتان کنجد در بین ژنوتیپ‌های مختلف دارای بیشترین مقدار کلروفیل است و کاهش معنی‌دار غلظت کلروفیل a و b را در برگ کنجد با افزایش سطح شوری از ۰/۹ به ۹ دسی‌زیمنس بر متر در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گزارش نمودند.

نتایج اثر متقابل دور و شوری حاکی از آن است که با افزایش سطح شوری آب آبیاری، مقدار شاخص SPAD با افزایش تنش خشکی زیادتر می‌شود که این نتیجه می‌تواند به علت ایجاد مکانیسم‌های تحمل به تنش در گیاه در شرایط توأمان خشکی و شوری باشد. ثابت تیموری و همکاران (Sabet Teimouri et al., 2010) در پژوهش خود بیان داشتند که افزایش تنش شوری از سطح شاهد (۲/۴) تا ۶/۴ دسی‌زیمنس بر متر باعث افزایش شاخص SPAD در برگ ژنوتیپ‌های مختلف کنجد شد و با افزایش بیشتر شوری تا ۱۰/۴ دسی‌زیمنس بر متر تغییرات کاهشی به خود گرفت. تنش شوری تا حدی که شدید نباشد می‌تواند باعث افزایش



شکل ۳. الگوی تغییرات شاخص سبزی‌نگی در دوره رشد کنگد در شوریه‌های مختلف آب آبیاری برای دوره‌های مختلف آبیاری

Fig. 3. Variation pattern of SPAD index at different irrigation water salinities during growing period of sesame for different irrigation interval

و ۱۶/۰۰- بار مشاهده شد. در همه سطوح شوری به جز ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر تفاوت دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روز معنی‌دار نبود ولی تفاوت پتانسیل آب در دوره‌های ۴ و ۸ روز با دور ۱۲ روز در همه سطوح شوری معنی‌دار بود. در هر دور آبیاری ثابت سطوح شوری ۱/۵ و ۴ با سطح شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف کاهشی معنی‌دار داشتند. همچنین در شدیدترین سطح خشکی (دور آبیاری ۱۲ روز) اختلاف پتانسیل آب بین تیمار شاهد و بیشترین سطح شوری خیلی بیشتر از دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روز بود. با توجه به اینکه وجه اشتراک تنش شوری و خشکی اثر اسمزی است و در واقع تنش شوری از این جنبه نوعی خشکی فیزیولوژیک محسوب می‌گردد (Ranjbar and Anaghli, 2018)، به نظر

افزایش شوری در هر دور آبیاری، کاهش پتانسیل آب برگ را به همراه داشت. به طوری که پتانسیل آب در تیمارهای آبیاری شده با شوری ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب دارای ۷ و ۱۷ درصد کاهش معنی‌دار نسبت به اولین سطح شوری (۱/۵) بودند و تفاوت معنی‌دار بین ۱/۵ و دومین سطح شوری (۴) وجود نداشت. کاهش پتانسیل آب برگ تحت تأثیر افزایش شوری، توسط حاتمی و همکاران (Hatami et al., 2021) برای گیاه کینوا گزارش شده است.

اثر برهمکنش دور و شوری آب آبیاری نشان داد که کمترین و بیشترین مقدار پتانسیل آب برگ به ترتیب در تیمار دور ۱۲ روز و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر و تیمار دور ۴ روز و شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر متر با مقادیر ۲۱/۵۰-

کاهش معنی‌دار ۶۷ و ۶۸ درصدی عملکرد دانه کنگد را به همراه داشت. با افزایش تنش خشکی با طولانی‌تر شدن دور آبیاری (از ۴ به ۸ و ۱۲ روز) کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه مشاهده شد ولی در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز از نظر عملکرد دانه، اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد وجود نداشت. قاسمی‌پناه و همکاران (Ghasemi-Panah et al., 2020) متوسط کاهش عملکرد دانه ارقام مختلف کنگد را در اثر تنش خشکی (مقایسه آبیاری بر اساس تخلیه ۴۰ و ۸۰ درصد آب قابل دسترس خاک) به میزان ۶۰ درصد و عملکرد دانه رقم اولتان را تا ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار در شرایط آبیاری کامل گزارش کردند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۵ به ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کنگد به ترتیب به میزان ۳۵، ۸۰ و ۹۶ درصد شد.

می‌رسد در شرایط وجود توأمان هر دو تنش در مزرعه، ضرورت دارد مدیریت آبیاری گیاه به‌ویژه از نظر دور آبیاری به نحوی انجام پذیرد که جذب آب توسط گیاه به دلیل پتانسیل‌های پایین محلول خاک، تحت تأثیر قرار نگیرد. بر اساس نتایج وضعیت پتانسیل آب، دور آبیاری ۴ و ۸ روز و همچنین شوری آب آبیاری تا ۴ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط منطقه پژوهش حاضر قابل توصیه است.

### عملکرد دانه

**جدول (۲)** نشان می‌دهد که اثر دور آبیاری، شوری آب آبیاری و اثر متقابل آن‌ها، در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد دانه معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور و شوری آب آبیاری بر عملکرد دانه در **جدول (۴)** ارائه شده است. افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ روز،

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور آبیاری و شوری آب بر عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد

Table 4. Means comparison of main and interaction effects of irrigation interval and water salinity on grain yield, and water productivity of sesame

صفات Traits	دور آبیاری (روز) Irrigation interval (day)	شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر) Irrigation water salinity (dS m <sup>-1</sup> )				میانگین (Average)
		1.5	4.0	7.0	10.0	
عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha <sup>-1</sup> )	4	2054.2 <sup>a*</sup>	1362.0 <sup>b</sup>	236.1 <sup>e</sup>	60.9 <sup>fg</sup>	928.3 <sup>A</sup>
	8	645.6 <sup>c</sup>	365.7 <sup>d</sup>	178.8 <sup>ef</sup>	53.3 <sup>fg</sup>	310.9 <sup>B</sup>
	12	564.2 <sup>c</sup>	387.4 <sup>d</sup>	222.7 <sup>e</sup>	24.6 <sup>g</sup>	299.7 <sup>B</sup>
	(میانگین) (Average)	1088.0 <sup>A</sup>	705.0 <sup>B</sup>	212.5 <sup>C</sup>	46.3 <sup>D</sup>	
بهره‌وری مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) Water productivity (kg m <sup>-3</sup> )	4	0.216 <sup>a</sup>	0.143 <sup>b</sup>	0.025 <sup>e</sup>	0.006 <sup>f</sup>	0.098 <sup>A</sup>
	8	0.091 <sup>c</sup>	0.052 <sup>d</sup>	0.025 <sup>e</sup>	0.008 <sup>f</sup>	0.044 <sup>B</sup>
	12	0.090 <sup>c</sup>	0.062 <sup>d</sup>	0.035 <sup>e</sup>	0.004 <sup>f</sup>	0.048 <sup>B</sup>
	(میانگین) (Average)	0.132 <sup>A</sup>	0.086 <sup>B</sup>	0.028 <sup>C</sup>	0.006 <sup>D</sup>	

\* میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون دانکن اختلاف معنی‌دار ندارند، حروف بزرگ برای اثرات اصلی و حروف کوچک برای برهمکنش دو فاکتور بکار رفته است.

Means followed by the same letters for each trait are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's test, capital and small letters are used for main and interaction effects, respectively.

آن است که عملکرد دانه در تمام سطوح شوری در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز اختلاف معنی‌دار نداشتند و این نتیجه شاید به این دلیل باشد که در شرایط تنش خشکی شدید (دور آبیاری ۱۲ روز) گیاه رشد برگ و شاخساره خود را کاهش داده تا بتواند بیشترین انرژی خود را صرف تولید دانه کند.

### بهره‌وری مصرف آب

**جدول (۲)** نشان می‌دهد که دور و شوری آب آبیاری و برهمکنش آن‌ها اثر معنی‌دار بر بهره‌وری مصرف آب کنگد در

بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل که در **جدول (۴)** ارائه شده، در هر دور آبیاری با افزایش شوری کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه مشاهده شد، فقط در دور آبیاری ۸ روز کاهش عملکرد دانه در دو سطح شوری ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر معنی‌دار نبود. در دو سطح شوری ۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ کاهش معنی‌دار در عملکرد دانه حاصل گردید ولی در سطوح شوری بالا یعنی ۷ و ۱۰ اختلاف معنی‌دار در عملکرد دانه بین هر سه دور آبیاری مشاهده نشد. نتایج **جدول (۴)** حاکی از

معنی‌دار در بهره‌وری مصرف آب بین هر سه دور آبیاری مشاهده نشد. همچنین بهره‌وری مصرف آب در تمام سطوح شوری در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط شوری پایین اثر تنش خشکی بر کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کنگد معنی‌دار بود در حالی که در سطوح شوری بالا به علت اثرات منفی تنش شوری بر گیاه، تنش خشکی اثر معنی‌داری بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب نشان نداد.

### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج این پژوهش نشان داد که اثر دور آبیاری بر صفات حداکثر شاخص سطح برگ، پتانسیل آب برگ، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار بود در حالی که اثر شوری بر همه صفات مورد بررسی معنی‌دار شد و اثر متقابل این دو تیمار تنها بر شاخص SPAD معنی‌دار نبود. افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۲ روز و افزایش شوری از ۱/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب باعث کاهش حداکثر شاخص سطح برگ کنگد به میزان ۴۹ و ۵۸ درصد شد. همچنین افزایش شوری از ۱/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، افزایش معنی‌دار ۱۸ درصدی دمای سطح برگ، کاهش معنی‌دار ۴۰ درصدی شاخص سبزیگی و کاهش معنی‌دار ۱۷ درصدی پتانسیل آب برگ را به دنبال داشت. افزایش دور آبیاری باعث افزایش معنی‌دار ۱۴ درصدی شاخص سبزیگی و کاهش ۱۵ درصدی پتانسیل آب برگ شد. افزایش دور آبیاری از ۴ به ۱۲ روز، به ترتیب باعث کاهش معنی‌دار ۶۸ و ۵۱ درصدی عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد شد در حالی که بین دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز اختلاف این صفات معنی‌دار نبود. عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد با افزایش شوری از ۱/۵ به ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای به میزان ۹۶ و ۹۵ درصد کاهش یافت. نتایج اثر متقابل نیز نشان داد که در همه صفات مورد بررسی به‌جز پتانسیل آب برگ اختلاف معنی‌داری بین دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز در همه سطوح شوری مشاهده نشد. در سطوح شوری ۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در دوره‌های آبیاری ۴ و ۸ روز معنی‌دار بود در حالی که در سطوح شوری ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. به‌طور کلی اثر افزایش تنش شوری بر شاخص سطح برگ، صفات فیزیولوژیکی مورد بررسی، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در کنگد بیشتر از اثر افزایش تنش خشکی بود. از آنجاکه ایجاد

سطح احتمال یک درصد داشته است. مقایسه میانگین اثرات اصلی و برهمکنش دور و شوری آب آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب در جدول (۴) ارائه شده است. افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ روز، کاهش ۵۵ و ۵۱ درصدی بهره‌وری مصرف آب را به همراه داشت. با افزایش تنش خشکی با طولانی‌تر شدن دور آبیاری (از ۴ به ۸ و ۱۲ روز) کاهش معنی‌دار در بهره‌وری مصرف آب مشاهده شد ولی در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز از نظر بهره‌وری مصرف آب، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود نداشت. با وجود این که افزایش دور آبیاری سبب کاهش حجم آب آبیاری مصرفی در دوره‌های آبیاری ۸ و ۱۲ روز نسبت به شاهد (دور ۴ روز) شد، لیکن کاهش شدید محصول دانه با افزایش دور آبیاری سبب کاهش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب گردید. در پژوهشی کاهش معنی‌دار بهره‌وری مصرف آب کنگد در دو رقم داراب ۱ و دشتستان با کاهش سطح آبیاری از ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ۴۰ درصد نیاز آبی به ترتیب به میزان ۴۲ و ۲۳ درصد گزارش گردید و رقم داراب ۱ به‌عنوان رقمی با بهره‌وری مصرف آب بالاتر در شرایط تنش خشکی معرفی شد (Salamati et al., 2020). سلامتی و دانایی (Salamati and Danaie, 2016) در پژوهشی بیان کردند که از نظر میزان عملکرد دانه و روغن، تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و رقم کنگد محلی بهبهان تیمار برتر بود و از نظر بهره‌وری مصرف آب تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی به کشاورزان توصیه می‌شود. در پژوهش دیگری نیز افزایش کارایی مصرف آب کنگد در کشور سودان با افزایش آب آبیاری مصرفی از ۳۵۰۰ تا ۶۵۰۰ مترمکعب بر هکتار گزارش شده است (El Naim and Mahmoud, 2010). افزایش شوری آب آبیاری از ۱/۵ به ۴، ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر، بهره‌وری مصرف آب کنگد را به ترتیب حدود ۳۵، ۷۹ و ۹۵ درصد کاهش داد. با توجه به کاهش شدید محصول دانه تحت تأثیر افزایش شوری، کاهش ایجاد شده در بهره‌وری مصرف آب نیز چشم‌گیر بوده است.

بر اساس نتایج اثر متقابل دور و شوری، بیشترین میزان بهره‌وری مصرف آب مربوط به تیمار شاهد و کمترین میزان بهره‌وری مربوط به تیمار دور ۱۲ روز و شوری ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. در هر دور آبیاری با افزایش شوری کاهش معنی‌دار میزان بهره‌وری آب مشاهده شد. در دو سطح شوری ۱/۵ و ۴ دسی‌زیمنس بر متر با افزایش دور آبیاری از ۴ به ۸ و ۱۲ کاهش معنی‌دار در بهره‌وری آب حاصل گردید ولی در سطوح شوری بالا یعنی ۷ و ۱۰ دسی‌زیمنس بر متر اختلاف



متر (تیمار برتر) مشاهده شد اما بر اساس نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی، عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب کنگد به-خصوص در شرایط کمبود آب استفاده از دور آبیاری ۱۲ روز به‌جای دور ۸ روز در همه سطوح شوری قابل توصیه است به دلیل اینکه در بهره‌وری مصرف آب آن‌ها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

شرایط مناسب برای بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند در افزایش عملکرد گیاه تأثیر داشته باشد، لذا بر اساس نتایج بررسی صفات فیزیولوژیکی در این پژوهش توصیه به کوتاه کردن دور آبیاری (دور آبیاری ۴ روز) برای کشت کنگد و استفاده از آب تا شوری ۴ دسی‌زیمنس بر متر در شرایط پژوهش حاضر است. اگرچه بیشترین عملکرد دانه و بهره‌وری مصرف آب در تیمار دور ۴ روز و شوری ۱/۵ دسی‌زیمنس بر

## منابع

- Alinejadian Bidabadi, A., Hasani, M., Maleki, A., 2018. The effect of amount and salinity of water on soil salinity and growth and nutrients concentration of spinach in a pot experiment. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 49, 641-651. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.236843.667714>.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome. 300 pp.
- Asres, L. A., 2023. Alternative Techniques of Irrigation Water Management for Improving Crop Water Productivity. *Reviews in Agricultural Science*. 11, 36-53. [https://doi.org/10.7831/ras.11.0\\_36](https://doi.org/10.7831/ras.11.0_36)
- Assadi Nassab, N., Hassibi, P., Meskarbashee, M., 2012. Study of Photosynthesis and Respiration Changes in Different Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) Genotypes Under Salinity Stress. *The Plant Production (Scientific Journal of Agriculture)*. 35(1), 55-69. [In Persian with English Summary].
- Ataee, A., Akbari, M., Neyshabouri, M., ghaffari, Z., Zarehaghi, D., 2019. Effects of Surface and Subsurface Drip Irrigation Systems with Saline and Non-Saline Water on Sap Flow, Stomata Conductance and Canopy Temperature of Pistachio Trees. *Journal of Water Research in Agriculture*. 33, 583-599. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22092/jwra.2020.121240>
- Baghani, J., Alizadeh, A., Ansari, H., Azizi, M., 2015. Effect of water quality and drip irrigation management on yield and water use efficiency in late summer melon. *Water and Soil*. 29, 560-568. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.31578>
- Behzad Nejad; J., Tahmasebi Sarvestani; Z., Aien; A., Mokhtassi Bidgoli, A., 2018. Effect of drought stress and straw mulch of wheat on morpho-physiological characteristics of sesame. *Crop Ecophysiology*. 12, 393-410. [In Persian with English Summary].
- Behzad Nejad, J., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Aein, A., Mokhtassi-Bidgoli, A., 2020. Wheat straw mulching helps improve yield in sesame (*Sesamum indicum* L.) under drought stress. *International Journal of Plant Production*. 14, 389-400. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00091-8>
- Borg, H., Grimes, D.W., 1986. Depth development of roots with time: An empirical description. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 29, 194-197. <https://doi.org/10.13031/2013.30125>
- Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.01.005>
- Cramer, G.R., 2002. Response of abscisic acid mutant of Arabidopsis to salinity. *Functional Plant Biology*. 29(5), 561-567. <https://doi.org/10.1071/PP01132>
- Dargahi, Y., Asghari, A., Shekarpour, M., Rasoulzadeh, A., 2013. Effect of water deficit stress on root morphological characters in sesame cultivars Y. *Journal of Crop Production*. 5, 151-172. [In Persian with English Summary].
- Kaya, M.D., Ipek, A., Ozturk, A., 2003. Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 27(4), 221-227.

- Demiral, M.A., 2005. Comparative response of two olive (*Olea europaea* L.) cultivars to salinity. Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 29, 267-274.
- Desingh, R., Kanagaraj, G., 2020. Effect of salinity stress on photosynthetic enzymes of two sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties. Plant Archives. 20, 16-20.
- El Naim, M., Mahmoud, F. A., 2010. Effect of irrigation on consumptive use, water use efficiency and crop coefficient of sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agricultural Extension and Rural Development. 2, 59-63. <https://doi.org/10.5897/JAERD.9000032>
- Emam, Y., NikNejad, M., 2011. Introduction to the Physiology of Crop Yield. Third edition. Shiraz University Press. 576p. [In Persian].
- Fazeli-Shoroki, S., Yarami, N., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Soltani-Mehrjardi, A., 2022. Investigation of evapotranspiration, yield, yield components and some physiological traits of winter safflower under drought and salinity stresses. Iranian Journal of Irrigation & Drainage. 16, 1026-1043. [In Persian with English Summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20087942.1401.16.5.12.7>
- Feher-Juhasz, J., Majer, P., Sass, L., Lantos, C., Csiszár, J., Turoczy, Z., Mihály, R., Mai, A., Pauk, J., 2014. Phenotyping shows improved physiological traits and seed yield of transgenic wheat plants expressing the alfalfa aldose reductase under permanent drought stress. Acta Physiologiae Plantarum. 36, 663-673. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1445-0>
- García-Tejero, I., Durán-Zuazo, V.H., Arriaga, J., Hernández, A., Vélez, L.M. Muriel-Fernández, J.L., 2012. Approach to assess infrared thermal imaging of almond trees under water-stress conditions. Fruits. 67(6), 463-474. <https://doi.org/10.1051/fruits/2012040>
- Ghasemi-panah, M., Aminian, R., Gholamhoseini, M., Habibzadeh, F. 2020. Sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars response to full and low irrigation regimes. Iranian Journal of Field Crop Science. 51(3), 151-163. [In Persian with English Summary]. [10.22059/ijfcs.2019.250447.654439](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.250447.654439)
- Glenn, P., Nelson, S. G., Ambrose, B., Martínez, R., Soliz, D., Pabendinskas, V., Hultine, K., 2012. Comparison of salinity tolerance of three *Atriplex* spp. In well-watered and drying soils. Environmental and Experimental Botany. 83, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.04.010>
- Golestani, M., Pakniyat, H., 2015. Evaluation of traits related to drought stress in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. Journal of Asian Scientific Research. 5(9), 465-472. <https://doi.org/10.18488/journal.2/2015.5.9/2.9.465.472>
- Hatami, A., Aminian, R., Mafakheri, S., Soleimani Aghdam, M., 2021. Effect of Gamma Amino Butyric Acid on Morpho-Physiological Traits and Seed Yield of Quinoa under Salinity Stress. Plant Productions. 44(4), 559-572. <https://doi.org/10.22055/ppd.2021.35988.1960>
- Jamil, M. S., Rehman, K. J., Lee, J. M. Kim, H. S. Kim., Rha, E. S., 2007. Salinity reduced growth, PS2 photochemistry and chlorophyll content in radish. Scientia Agricola. 64(2), 111-118. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200002>
- Karamian Hasan Abadi; Z., Eisvand; H.R., Daneshvar, M., Akbarpour, O.A., 2021. Study the effect of drought stress and iron oxide nanoparticle foliar application on quantitative and qualitative traits of sesame (*Sesamum indicum* L.). Environmental stresses in Crop Sciences. 14(2), 375-386. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.2645.1687>
- Kazempour, N., Salehi Inchebron, M., Valizadeh, J. Sepehrimanesh, M., 2017. Clotting characteristics of milk by Withania coagulans: Proteomic and biochemical study. International Journal of Food Properties. 20, 1290-1301. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1207664>
- Khorsandi, A., Hemmat, A., Mireei, S.A., Amirfattahi, R. Ehsanzadeh, P., 2018. Plant temperature-based indices using infrared thermography for detecting water status in sesame under greenhouse conditions. Agricultural Water Management. 204, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.012>
- Kim, Y. J., Arihara, T., Nakayama, N., Nakayama, S.H. Shimada, Usui, K., 2004. Antioxidative responses and their relation to salt tolerance in *Echinochloa oryzicola* Vasing and *Setaria viridis* L. Beauv. Plant Growth

- Regulation. 44, 87-92. <https://doi.org/10.1007/s10725-004-2746-5>
- Maas, E. V., Grattan, S. R., 1999. Crop yields as affected by salinity. *Agricultural drainage*. 38, 55-108. <https://doi.org/10.2134/agronmonogr38.c3>
- Mahmood, S., Iram, S., Athar, H., 2003. Intra-specific variability in sesame (*Sesamum indicum* L.) for various quantitative and qualitative attributes under differential salt regimes. *Journal of Research Science*. 14(2), 177-186.
- Mehrabi zadeh, Z., Ehsan Zade, P., 2012. A study on physiological attributes and grain yield of sesame cultivars under different soil moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*. 13(2), 75-88. [In Persian with English Summary]. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.83372008.1390.13.2.7.3>
- Mousavifar, B. E., Behdani, M. A., Jami Al-Ahmadi, M., Hosseini bajd, M. S., 2011. Changes of chlorophyll index (SPAD), relative water content, electrolyte leakage and seed yield in spring safflower genotypes under irrigation termination. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 9(3), 525-534. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22067/gsc.v9i3.12001>
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*. 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Nonami, H., Wu, Y. Boyer, J.S., 1997. Decreased growth-induced water potential a primary cause of growth inhabitation at low water potentials. *Plant Physiology*. 114(2), 501-509. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.501>
- Poblaciones, M. J. Lopez-Bellido, L. Lopez-Bellido. R.J. 2009. Field estimation of technological bread-making quality in wheat. *Filed Crops Research*. 112(2-3), 253-259. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.03.011>
- Rajcan, I., Dwyer, L.D., Tollenaar, M., 1999. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentration in maize during leaf senescence. *Field Crops Research*. 63(1), 13-17. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(99\)00023-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(99)00023-4)
- Ranjbar, G.H. Anagholi, A., 2018. Concepts of Salt Stress and Plant Response. *Agricultural Education and Promotion Publication*. 179p. [In Persian].
- Ranjbar, G.H., Ghadiri, H., Edalat, M., 2016. Effect of Kochia (*Kochia indica*) plant density on yield and some physiological characteristics of sorghum under salinity stress. *Journal of Crop Production and Processing*. 5(18), 207-220. [In Persian with English Summary]. <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.5.18.207>
- Sabet Teimouri; M., Khazaie; H.R., Nassiri Mahallati; M., Nezami, A., 2010. Effect of salinity on seed yield and yield components of individual plants, morphological characteristics and leaf chlorophyll content of sesame (*Sesamum indicum* L.). *Environmental stresses in Crop Sciences*. 2(2), 119-130. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2010.71>
- Salamati, N., Danaie, A., 2016. Effects The amount of water of tape tube irrigation on qualitative and quantitative yield of three sesame varieties. *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 47(1), 137-146. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2016.57986>
- Salamati, N., Danaie, A., Behbahani, L., 2020. Study of Drought Stress Indices in Two Varieties of Sesame (Darab1 and Dashtestan2). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 50(9), 2201-2211. [In Persian with English Summary]. [10.22059/ijswr.2019.279471.668169](https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.279471.668169)
- Saleh, B., 2012. Salt stress alters physiological indicators in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Soil and Environment*. 31(2), 113-118.
- Shabani, A., Kamgar Haghghi., A.A., Sepaskhah, A.R. Emam, Y., Honar, T., 2009. Effect of water stress on physiological parameters of oil seed rape (*Brassica napus*). *Journal of Water and Soil Science*. 13(49), 31-42. [In Persian with English Summary]. [20.1001.1.24763594.1388.13.49.3.5](https://doi.org/10.1001.1.24763594.1388.13.49.3.5)
- Shahbazi, N., Kazemitabar, S.K., Kiani, G., Pakdin Parizi, A., Mehraban Joubani, P., 2021. Physiological and biochemical responses of different sesame (*sesamum indicum* L.) genotypes under salinity stress. *Plant Process and Function*. 10(45), 207-234. [In Persian with English Summary]. [20.1001.1.23222727.1400.10.45.18.6](https://doi.org/10.1001.1.23222727.1400.10.45.18.6)
- Sinclair, T. R., Gilbert, R. A., Perdomo, R. E., Shine J. R., Powell, G. Montes. G., 2004.

- Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA, *Journal of Field Crops Research*. 88(2-3), 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.005>
- Sorkhi; F., Fateh, M., 2019. Effect of drought stress on leaf area index, photosynthesis, stomatal conductance and proline content in two pinto bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Environmental stresses in Crop Sciences*. 12, 389-399. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.22077/escs.2018.1373.1294>
- Suassuna, J. F., Fernandes, P. D., Brito, M. E. B., Arriel, N. H. C., de Melo, A. S., Fernandes, J. D., 2017. Tolerance to salinity of sesame genotypes in different phenological stages. *American Journal of Plant Sciences*. 8, 1904-1920. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.88129>
- Teixeira, W. F., Soares, L. H., Fagan, E. B. Costa Mello, S. D., Reichardt, K., Dourado-Neto, D., 2020. Amino acids as stress reducers in soybean plant growth under different water-deficit conditions. *Journal of Plant Growth Regulator*. 39, 905–919. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-10032-z>
- Viera-Santos, C., 2004. Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticulturae*. 103(1), 93-99. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.009>
- Weiss, E.A., 2000. *Oilseed Crops*. Blackwell Science Publications Limited. London pp. 131-164.
- Wu, M. S., Aquino, L. B. B., Barbaza, M. Y. U., 2019. Anti-inflammatory and anticancer properties of bioactive compounds from *Sesamum indicum* L.-A review. *Molecules*. 24(24), 4426. <https://doi.org/10.3390/molecules24244426>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., Chen, S., 2021. Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*. 7, 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
- Zhao, W., Liu, L., Shen, Q., Yang, J., Han, X., Tian, F., Wu, J., 2020. Effects of water stress on photosynthesis, yield, and water use efficiency in winter wheat. *Water*. 12(8), 1-19. <https://doi.org/10.3390/w12082127>