

The effect of irrigation intervals and irrigation cut-off time on sesame genotypes yield

Majid Gholamhoseini^{1*}, Saadollah Mansouri², Farnaz Shariati³, Hormoz Asadi⁴

¹ Corresponding Author, Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir

² Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: sadollahmansouri@yahoo.com

³ Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: frzshariati@gmail.com

⁴ Associate Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Email: hormoz.asadi3@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-06-10
Accepted: 2024-08-17

Keywords:
Deficit irrigation
Oil percentage
Oil yield
Water use efficiency
Yield components

ABSTRACT

Background and Objectives: Given that agriculture in Iran is the largest consumer of water resources, reducing water availability due to climate change is the most significant limiting factor for agricultural production. Therefore, increasing water productivity and optimising these limited water resources are essential. Considering the constraints on water resources, especially during the summer when sesame cultivation and growth occur in the country, it is necessary to conduct practical studies on optimal water use in sesame farming and the possibility of replacing native varieties and old cultivars with new ones. Hence, it is hypothesised that introducing sesame varieties and lines through reduced plant access to water (increasing irrigation intervals or accelerating irrigation cut-off at the end of the growth period) can achieve greater water use efficiency with minimal seed and oil yield losses. The present research was designed and implemented to address this hypothesis.

Materials and Methods: The experiment was conducted over two years, 2022 and 2023, at the research farm of the Seed and Plant Improvement Institute, located in Alborz Province, Karaj. The experiment investigated the effect of irrigation intervals, including irrigation after consuming 40% (full irrigation) and 80% (deficit irrigation) of available soil moisture, and the timing of the last irrigation, including irrigation cut-off at the beginning of flowering, irrigation cut-off at the beginning of capsule formation, and irrigation cut-off during mid-capsule formation, on the yield, yield components, oil percentage, and water use efficiency of two sesame genotypes, Ultan and Sesame Line 2. The experiment was laid out in a split-split-plot design (treatment of irrigation intervals as the main plot, the time of the last irrigation as the sub-plot and the genotype as the sub-sub-plot) within randomised complete blocks with three replications. Compound data analysis assuming the random effect of year and using the GLM procedure in SAS software was employed. To compare the means of main effects, LSD test (means statement) was conducted at a 5% significance level, and in case of significant interaction effects, slicing

and comparison were performed using the lsmeans procedure (slice and pdiff statements).

Results: Results showed that, in both genotypes, irrigation cut-off at the beginning of capsule formation compared to mid-capsule formation had no significant effect on the number of capsules per plant under full irrigation conditions. The results showed that under full irrigation conditions, there was no significant difference in grain yield between the two irrigation cut-off timings (early and mid-capsule formation). In other words, continuing irrigation after the early stage of capsule formation did not increase sesame grain yield. Additionally, results revealed that although the yield of both genotypes was approximately equal under full irrigation conditions (871 and 890 kg per hecta, respectively, in Oltan and Line 2), the yield of Line 2 was 51% higher than Ultan under deficit irrigation conditions. In Ultan, accelerating irrigation cut-off was accompanied by significantly reducing water use efficiency. In contrast, in Line 2, irrigation cutoff at the early stage of capsule formation not only did not decrease water use efficiency but also insignificantly increased it. In conclusion, it can be inferred that by substituting native masses and old varieties with new varieties and lines in sesame cultivation, savings in water consumption can be achieved, increasing water use efficiency in sesame farming while preventing yield reduction.

Conclusion: In general, it can be concluded that in low irrigation conditions, postponing the time of cutting irrigation until the mid-capsule formation and in full irrigation conditions, cutting off irrigation at the beginning of capsule formation can be a suitable management for sesame production. Also, the replacement of newer cultivars, including the line 2, can be effective in increasing the yield and efficiency of water consumption in sesame cultivation.

Cite this article: Gholamhoseini, M., Mansouri, S., Shariati, F., Asadi, H. 2024. The effect of irrigation intervals and irrigation cut-off time on sesame genotypes yield. *Crop Production Journal*, 17 (3), 65-84.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/ejcp.2024.22524.2632

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۷۳۹۸
شاپا الکترونیکی: ۲۰۰۸-۷۴۰۳



تأثیر فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد

مجید غلامحسینی^{۱*}، سعداله منصوری^۲، فرناز شریعتی^۳، هرمز اسدی^۴

استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir
استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: sadollahmansouri@yahoo.com
استادیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: frzshariati@gmail.com
دانشیار موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران، رایانامه: hormoz.asadi3@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

سابقه و هدف: از آنجائیکه در ایران، بخش کشاورزی با مصرف بیش از نیمی از منابع آب، عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌آید، کاهش فراهمی آب ناشی از تغییرات اقلیمی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی است. بنابراین افزایش بهره‌وری آب و استفاده بهینه از این منابع محدود آبی ضروری به نظر می‌رسد. با در نظر داشتن محدودیت در منابع آبی مخصوصاً در فصل تابستان که زمان کاشت، داشت و برداشت کنجد در کشور است، ضرورت دارد درخصوص نحوه مصرف بهینه آب در زراعت کنجد و امکان جایگزینی توده‌های بومی و ارقام قدیمی با ارقام جدید، بررسی‌های کاربردی صورت گیرد. بنابراین این فرضیه وجود دارد که می‌توان در خصوص ارقام و لاین‌های در دست معرفی کنجد از طریق کاهش دسترسی گیاه به آب (افزایش فواصل زمانی بین آبیاری و یا تسریع در قطع کردن آبیاری در انتهای دوره رشد) با حداقل کاهش عملکرد دانه و روغن، به کارایی مصرف آب بیشتری دست یافت. بدین منظور پژوهش حاضر طراحی و اجرا شده است.

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی - پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۷

مواد و روش‌ها: آزمایش در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، واقع در استان البرز، کرج اجرا شد. در این آزمایش اثر تیمار فواصل آبیاری شامل آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده (آبیاری کامل) و آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده (کم آبیاری)، و زمان قطع آخرین آبیاری شامل قطع آبیاری در ابتدای گلدهی، قطع آبیاری در ابتدای کپسول‌دهی و قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی بر عملکرد و اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن و کارایی مصرف آب دو ژنوتیپ کنجد شامل رقم اولتان و لاین در دست معرفی کنجد مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خردشده (تیمار فواصل آبیاری عامل اصلی، زمان قطع آخرین آبیاری عامل فرعی و ژنوتیپ عامل فرعی) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش از تجزیه مرکب داده‌ها با فرض اثر تصادفی سال و با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی از آزمون LSD (گزاره

واژه‌های کلیدی:

اجزای عملکرد

درصد روغن

عملکرد روغن

کارایی مصرف آب

کم آبیاری

means) در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون lsmeans (گزاره‌های slice و pdiff) انجام گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که در هر دو ژنوتیپ، قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی در مقایسه با اواسط آن در شرایط آبیاری کامل تأثیر معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته نداشت. همچنین در شرایط آبیاری کامل بین دو تیمار قطع آبیاری در اوایل و اواسط کپسول‌دهی تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. به عبارت دیگر ادامه آبیاری پس از اوایل کپسول‌دهی نقشی در افزایش عملکرد دانه کنگد ندارد. علاوه بر این، نتایج نشان داد که عملکرد هر دو ژنوتیپ در شرایط آبیاری کامل تقریباً برابر (۸۷۱ و ۸۹۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در رقم اولتان و لاین شماره ۲) ولی در شرایط کم آبیاری عملکرد لاین شماره ۲ تا ۵۱ درصد از رقم اولتان بیشتر بود. در رقم اولتان تسریع در قطع آبیاری با کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب همراه بود، حال آنکه در لاین شماره ۲، قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی در مقایسه با اواسط آن نه تنها کارایی مصرف آب را کاهش نداد، بلکه به‌طور غیر معنی‌داری موجب افزایش آن شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع چنین جمع‌بندی می‌شود که در شرایط کم آبیاری تعویق زمان قطع آبیاری تا اواسط کپسول‌دهی و در شرایط آبیاری کامل قطع آب در ابتدای کپسول‌دهی می‌تواند مدیریت مناسبی برای تولید کنگد باشد. همچنین جایگزینی ارقام جدیدتر از جمله لاین در دست معرفی شماره ۲ می‌تواند در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت کنگد مؤثر باشد.

استناد: غلامحسینی، مجید؛ منصور، سعداله؛ شریعتی، فرناز؛ اسدی، هرمز. (۱۴۰۳). تأثیر فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های کنگد. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۷ (۳)، ۶۵-۸۴.



© نویسنده‌گان.

DOI: 10.22069/ejcp.2024.22524.2632

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

امروزه موضوع کم‌آبی به دلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن بر اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی از یک سو و جوامع انسانی از سوی دیگر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و سیاستگذاران قرار گرفته است. ایران گرچه دارای تنوع اقلیمی است، اما بیش از ۸۵ درصد از پهنه آن، دارای آب و هوای نیمه‌خشک و خشک است که موجب شده دارای ۰/۳ درصد از منابع تجدیدپذیر آب در دنیا باشد، در صورتی که یک درصد از جمعیت جهان را در خود جای داده است (۱). از آنجائیکه در ایران، بخش کشاورزی با مصرف بیش از نیمی از منابع آب، عمده‌ترین مصرف‌کننده آب به شمار می‌آید (۲)، کاهش فراهمی آب ناشی از تغییرات اقلیمی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولیدات زراعی است. بنابراین افزایش بهره‌وری آب و استفاده بهینه از این منابع محدود آبی ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر با توجه به اهمیت روغن خوراکی به‌عنوان یک کالای اساسی در سبد خانوار و همچنین واردات سالانه بیش از یک و نیم میلیون تن روغن مورد نیاز کشور (۳)، تحقیقات گسترده در زمینه انواع دانه‌های روغنی ضروری می‌باشد. در بین دانه‌های روغنی، کنجد (*Sesamum indicum* L.) از قدیمی‌ترین دانه‌های روغنی است که در سراسر جهان به دلیل کاربردهای متنوع غذایی از جمله روغن خوراکی با کیفیت آن کشت می‌شود (۴). طبق آخرین آمار، سطح کشت کنجد در جهان در سال ۲۰۲۲ میلادی حدود ۱۴ میلیون هکتار و میزان تولید نزدیک به هفت میلیون تن گزارش شده است (۵). در سال ۱۴۰۲، سطح کشت کنجد در ایران ۴۲ هزار هکتار با تولیدی نزدیک به ۴۴ هزار تن برآورد شده است (۶).

گرچه کنجد به عنوان گیاه مقاوم به خشکی شناخته می‌شود (۷)، اما در این گیاه نیز مشابه با سایر گیاهان زراعی دیگر عملکرد بالقوه رابطه نزدیکی با قابلیت

دسترسی به آب دارد. با این حال با در نظر داشتن محدودیت در منابع آبی مخصوصاً در فصل تابستان که زمان کاشت، داشت و برداشت کنجد در کشور است، ضرورت دارد در خصوص نحوه مصرف بهینه آب در زراعت کنجد و امکان جایگزینی توده‌های بومی و ارقام قدیمی با ارقام جدید، بررسی‌های کاربردی صورت گیرد. در همین زمینه اوکان و کیلی (۲۰۱۰) گزارش کردند که کمبود آب در مرحله رشد رویشی کنجد می‌تواند عملکرد این گیاه را به دلیل کاهش ارتفاع بوته و کاهش تعداد کپسول در بوته حتی تا ۵۰ درصد تقلیل دهد (۸). در مقابل نتایج مطالعه آئین (۲۰۱۳) نشان داد که اگرچه در سطوح متوسط تنش، اجزای رویشی کنجد کاهش می‌یابند ولی عملکرد دانه تنها در شرایط خشکی شدید کاهش یافت (۹). در تحقیقی که توسط جیان و همکاران (۲۰۱۰) در چین و با پنج ژنوتیپ کنجد انجام شد، نتایج نشان داد که تأثیر تنش در مرحله گلدهی بیش از مرحله دانه‌بندی بود و ژنوتیپ‌های مختلف پاسخ‌های متفاوتی به تیمارهای آبی دادند (۱۰). به‌عبارت دیگر اثر زمان ظهور تنش کم آبی بر عملکرد دانه ممکن است به اندازه شدت تنش اهمیت داشته باشد (۱۱). مورتی و بی‌هاتیا (۲۰۰۰) در بررسی اثر کاهش فراهمی آب بر عملکرد کنجد گزارش کردند که در سایر تیمارهای آبیاری در مقایسه با آبیاری شاهد (دو بار آبیاری در هفته)، رشد اندام‌های رویشی کاهش یافت (۱۲). در تنش ملایم (یک بار آبیاری در هفته) و متوسط (یک بار آبیاری در دو هفته)، کاهش معنی‌داری در عملکرد دانه ایجاد نشد. در مقابل در شرایط تنش شدید خشکی (یک بار آبیاری در سه هفته)، عملکرد دانه با کاهش معنی‌داری مواجه شد. بنابراین پژوهش حاضر با این فرض که می‌توان در ارقام و لاین‌های در دست معرفی کنجد از طریق کاهش دسترسی گیاه به آب (افزایش فواصل زمانی بین آبیاری و یا تسریع در زمان

واقع در کرج با مختصات جغرافیائی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۲۳ متر از سطح دریا اجرا شد. ویژگی‌های اقلیمی (در دو سال اجرای آزمایش و داده‌های بلند مدت ۱۰ ساله) و خاک منطقه اجرای آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

قطع کردن آبیاری در انتهای دوره رشد) با کمترین کاهش عملکرد دانه و روغن، به کارایی مصرف آب بیشتری دست یافت، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در دو سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۲ در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر،

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی و خاکی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر) منطقه اجرای آزمایش

Table 1. Climatic and soil (depth of 0 to 30 cm) characteristics of study area

ویژگی و نوع اقلیم Characteristics and type of climate	میانگین بارندگی در فصل تابستان (میلی‌متر) Average precipitation in summer season (mm)			میانگین بارندگی سالیانه (میلی‌متر) Average annual precipitation (mm)			میانگین دما در فصل تابستان (درجه سانتی‌گراد) Average temperature in summer season (°C)			میانگین دمای سالیانه (درجه سانتی‌گراد) Average annual temperature (°C)		
	Long term	First year	Second year	Long term	First year	Second year	Long term	First year	Second year	Long term	First year	Second year
Dry and hot summers	6	3	3	250	235	233	24	25.5	26.2	14	14.7	14.8
رطوبت قابل استفاده (درصد) Available water (%)	درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی Volumetric moisture content at WP(%)			درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی Volumetric moisture content at FC(%)			ماده آلی خاک (درصد) Soil organic matter (%)			بافت خاک Soil texture		
	14			24			0.55			Clay loam		

مصرف آب دو ژنوتیپ کنجد شامل رقم اولتان، رقم متداول برای نیمه شمالی کشور، و لاین در دست معرفی کنجد (لاین شماره ۲) مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خردشده (تیمار فواصل آبیاری عامل اصلی، زمان قطع آخرین آبیاری عامل فرعی و ژنوتیپ عامل فرعی فرعی) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد.

پس از اجرای عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم، دیسک و تسطیح زمین، بذور ضد عفونی شده کنجد با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام (با غلظت دو در هزار) در ۱۶ و ۲۰ خرداد ماه به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش در کرت‌های آزمایشی کشت شدند. هر کرت شامل پنج ردیف کاشت به طول چهار متر بود. بذرها ابتدا به صورت متراکم کشت شده و سپس در

در این آزمایش اثر تیمار فواصل آبیاری (A)، شامل آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده (A1)، به طور متوسط هر هفته یک‌بار آبیاری، آبیاری کامل) و آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده (A2)، به طور متوسط هر دو هفته یک بار آبیاری، کم آبیاری)، و زمان قطع آخرین آبیاری (B)، شامل قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی (B1)، زمانیکه کپسول‌ها به ۷۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند، کد رشدی ۷۷ بر اساس مقیاس BBCH معرفی شده توسط آتیبایا و همکاران (۲۰۱۰) (۱۳) قطع آبیاری در ابتدای کپسول‌دهی (B2)، زمانیکه کپسول‌ها به ۳۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند، کد رشدی (۷۳) و قطع آبیاری در ابتدای گلدهی (B3)، زمانیکه ۳۰ درصد گل‌ها باز بودند، کد رشدی (۶۳) بر عملکرد و اجزای عملکرد، درصد و عملکرد روغن و کارایی

تأثیر فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد / مجید غلامحسینی و همکاران

مراحل اولیه رشد و نمو (دو تا سه برگی) تنک شدند، به‌طوری که تراکم ۲۵ بوته در مترمربع (فاصله ۴۵ سانتی‌متری بین ردیف‌های کاشت و هشت سانتی‌متری بین بوته‌ها) حاصل گردد. آبیاری واحدهای آزمایشی به‌روش قطره‌ای و با استفاده از نوار تیپ انجام شد. فاصله‌ائی به اندازه سه متر بین بلوک‌ها، پنج متر بین کرت‌های اصلی و سه متر بین کرت‌های فرعی، به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آبیاری لحاظ گردید. برای ثبت و اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی از کنتور حجمی استفاده شد. زمان‌بندی آبیاری واحدهای آزمایشی بر اساس روش تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک انجام شد. در این روش هنگامی که درصد رطوبت خاک از حد مشخصی کمتر شود، آبیاری انجام می‌گیرد.

جدول ۲- ویژگی‌های ژنوتیپ‌ها

Table 2. Genotype properties

رقم اولتان Oltan cultivar	لاین امیدبخش شماره ۲ Promising line number 2	
الگوی رشد و تیپ شاخه‌دهی Growth habit and branching	رشد نامحدود و چندشاخه Indeterminate and multi-branched	
شجره Pedigree	لاین خالص شده از توده محلی مغان Pure line selection from Moghan landrace germplam	لاین خالص شده از تلاقی Pure line selection from cross breeding
تعداد کپسول در محور برگ Number of capsules per leaf axil	1	3
گروه رسیدگی* Maturity group	دیررس Late maturity	زود رس Early maturity
رنگ بذر Seed color	قهوه‌ای تیره Dark brown	قهوه‌ای روشن Light brown

*بر اساس دسته بندی لانگهام (۲۰۰۷) (۱۴)

According to the Langham (2007) (14)

جدول ۳- مقدار آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) در تیمارهای آزمایشی

Table 3. Amount of water used ($m^3 ha^{-1}$) in experimental treatments

	B1	B2	B3		B1	B2	B3		
رقم اولتان Oltan cultivar	A1	6600	6000	4800	لاین امیدبخش شماره ۲ Promising line number 2	A1	6000	5400	4200
	A2	4200	3600	2400		A2	3600	3000	2400

A1: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (آبیاری کامل)

A1: Irrigation was initiated after using 40% of available soil water (Full irrigation)

A2: آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (کم آبیاری)

A2: Irrigation was initiated after using 80% of available soil water (Low irrigation)

B1: قطع آبیاری در اواسط کپسول دهی (زمانی که کپسول‌ها به ۷۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند)

B1: Irrigation cut-off at the mid-capsule formation (when capsule about 70% of final size)

B2: قطع آبیاری در ابتدای کپسول دهی (زمانی که کپسول‌ها به ۳۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند)

B2: Irrigation cut-off at the beginning of capsule formation (when capsule about 30% of final size)

B3: قطع آبیاری در ابتدای گلدهی (زمانی که ۳۰ درصد گلها باز بودند)

B3: Irrigation cut-off at the beginning of flowering (when 30% of flowers open)

اندازه‌گیری شد. برای ثبت تعداد دانه در کپسول از هر واحد آزمایشی ۳۰ کپسول به‌طور تصادفی انتخاب و پس از بوجاری و شمارش تعداد بذور موجود در آنها، متوسط تعداد دانه در کپسول برای هر واحد آزمایشی مشخص شد. برای تعیین وزن هزار دانه نیز دو نمونه ۵۰۰ تایی از بذور هر یک از کرت‌ها شمارش و توزین گردید و بر اساس آن وزن هزار دانه محاسبه شد. درصد روغن دانه، پس از خشک کردن دانه‌ها، با استفاده از روش سوکسله در آزمایشگاه کیفیت روغن بخش دانه‌های روغنی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر اندازه‌گیری شد. عملکرد روغن در واحد سطح نیز از حاصل‌ضرب درصد روغن دانه در عملکرد دانه به‌دست آمد. همچنین پس از برداشت نهائی، کارائی استفاده از آب آبیاری بر اساس نسبت عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) بر مقدار آب آبیاری مصرفی (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید.

از آنجائیکه فرض تجانس واریانس‌ها در هر دو سال در صفات مختلف منطبق بر نتایج آزمون بارتلت صادق بود، در این آزمایش از تجزیه مرکب داده‌ها با فرض اثر تصادفی سال و با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) استفاده شد. برای مقایسه میانگین اثرات اصلی از آزمون LSD (گزاره means) در سطح احتمال پنج درصد و در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل، برش‌دهی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون lsmeans (گزاره‌های slice و pdiff) انجام گرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی: نتایج نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آزمایشی، به جز اثر ژنوتیپ بر تعداد شاخه فرعی، بر هر دو این صفات در سطح آماری پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

در این آزمایش آبیاری زمانی صورت گرفت که ۴۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک به‌ترتیب در تیمارهای A1 و A2 مصرف گردید. تعیین مقدار رطوبت قابل استفاده نیز از تفاوت درصد حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی از درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی بدست آمد (جدول ۱). برای کنترل رطوبت خاک از دستگاه T.D.R (Model 6050 X1, SOILMOISTURE EQUIPMENT CORP. CA, USA) استفاده شد. در هر مرحله از آبیاری، کرت‌ها به‌طور مساوی (به‌وسیله قرائت‌کننده) آبیاری شدند. جدول (۳) مجموع مقدار آب مصرفی تیمارهای مختلف را به‌صورت میانگین دو سال آزمایش نشان می‌دهد.

کنترل علف‌های هرز با استفاده از علفکش پیش کاشت ترفلان (تری فلورالین به‌مقدار دو لیتر در هکتار) و عملیات وجین در طول فصل رشد انجام شد. همچنین ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره به صورت تقسیط شده در دو مرحله، نیمی در مرحله سه تا چهار برگی و مابقی به صورت جایگذاری کنار ردیف‌های کاشت، در مرحله هفت تا هشت برگی مصرف شد. علاوه بر این ۴۰ کیلوگرم فسفر در هکتار از منبع کود سوپر فسفات تریپل و ۴۵ کیلوگرم پتاسیم در هکتار از منبع کود سولفات پتاسیم قبل از کاشت استفاده گردید. برداشت بر اساس زمان رسیدگی در هر یک از تیمارها و قبل از باز شدن کپسول‌ها و ریزش دانه در اواخر مهرماه تا اواسط آبان ماه انجام گرفت. مساحت برداشت شده هر کرت از سه ردیف میانی با لحاظ کردن اثر حاشیه، چهار مترمربع بود. عملکرد دانه بر اساس شش درصد رطوبت دانه محاسبه گردید. جهت تعیین اجزاء عملکرد، هشت بوته به‌صورت تصادفی از کل بوته‌های برداشت شده از هر کرت انتخاب شد و سپس ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و تعداد کپسول در بوته

جدول ۴- میانگین مربعات صفات گیاهی اندازه‌گیری شده کنجد

Table 4. Mean square of sesame plant traits measured

S.O.V	df	H	SB	CP	SC	SW	SY	WUE	OP	OY
Yr	1	47 ^{ns}	0.003 ^{ns}	105 ^{ns}	440 ^{ns}	0.28 ^{ns}	8471 ^{ns}	0.00007 ^{ns}	0.84 ^{ns}	1919 ^{ns}
R(Yr)	4	24	0.29	16	3.47	0.01	23441	0.00014	6.45	5046
A	1	5416*	10.8*	6105 ^{ns}	11001 ^{ns}	4.91 ^{ns}	4242331*	0.00366 ^{ns}	1403*	883533*
Yr×A	1	7.03 ^{ns}	0.03 ^{ns}	171 ^{ns}	313 ^{ns}	0.07 ^{ns}	23220 ^{ns}	0.00144 ^{ns}	5.93 ^{ns}	3303 ^{ns}
R×A(Yr)	4	61	0.08	3.70	31	0.06	7065	0.00007	1.73	1389
B	2	3444*	1.99*	2098*	2308**	2.38*	1413721**	0.01689*	54**	399082**
A×B	2	755 ^{ns}	2.38 ^{ns}	154 ^{ns}	2994*	0.03 ^{ns}	360197*	0.0084 ^{ns}	0.08 ^{ns}	10640 ^{ns}
Yr×B	2	76 ^{ns}	0.05 ^{ns}	70 ^{ns}	10 ^{ns}	0.03 ^{ns}	13854 ^{ns}	0.00039 ^{ns}	0.45 ^{ns}	2697 ^{ns}
Yr×A×B	2	110 ^{ns}	0.39 ^{ns}	64 ^{ns}	78 ^{ns}	0.01 ^{ns}	13372 ^{ns}	0.00067 ^{ns}	0.03 ^{ns}	3303 ^{ns}
R×A×B(Yr)	16	44	0.15	26	13	0.02	17696	0.00014	3.26	3915
C	1	19487*	0.68 ^{ns}	276 ^{ns}	2289 ^{ns}	0.01 ^{ns}	48 ^{ns}	0.00579*	32*	841 ^{ns}
A×C	1	1.25 ^{ns}	0.05 ^{ns}	496 ^{ns}	329 ^{ns}	16.4*	5117*	0.0125*	0.55 ^{ns}	2654*
B×C	2	63 ^{ns}	0.21 ^{ns}	78 ^{ns}	2197**	0.10 ^{ns}	8280*	0.00074*	0.34 ^{ns}	1926 ^{ns}
A×B×C	2	123 ^{ns}	0.44 ^{ns}	916*	2445**	0.02 ^{ns}	13950 ^{ns}	0.00034 ^{ns}	4.56 ^{ns}	4292 ^{ns}
Yr×C	1	87 ^{ns}	3.33 ^{ns}	21 ^{ns}	567 ^{ns}	0.09 ^{ns}	2300 ^{ns}	0.00011 ^{ns}	0.19 ^{ns}	482 ^{ns}
Yr×A×C	1	7.67 ^{ns}	1.00 ^{ns}	5.01 ^{ns}	181 ^{ns}	0.007 ^{ns}	5.01 ^{ns}	0.00004 ^{ns}	0.06 ^{ns}	4.70 ^{ns}
Yr×B×C	2	138 ^{ns}	0.06 ^{ns}	12 ^{ns}	19 ^{ns}	0.02 ^{ns}	364 ^{ns}	0.00003 ^{ns}	0.40 ^{ns}	121 ^{ns}
Yr×A×B×C	2	135 ^{ns}	0.15 ^{ns}	45 ^{ns}	15 ^{ns}	0.002 ^{ns}	4366 ^{ns}	0.00002 ^{ns}	1.00 ^{ns}	645 ^{ns}
Error	24	69	0.19	13	16	0.03	18523	0.00012	4.05	4200
CV (%)		7.82	20.34	12.67	8.12	6.89	20.36	7.52	4.09	19.46

; SB: Number of Secondary (ارتفاع) ; H: Height (ژنوتیپ) ; C: Genotype (ژنوتیپ) ; B: Irrigation cut-off time (فواصل آبیاری) ; A: Irrigation intervals (تکرار) ; R: Replication (سال) ; Yr: Year (عملکرد دانه) ; SY: Seed Yield (اوزن هزار دانه) ; SW: 1000-Seed Weight (تعداد بذر در کیسول) ; SC: Number of Seed in Capsule (تعداد کیسول در گیاه) ; CP: Number of Capsule in Plant (تعداد شاخه فرعی) ; Branch (تعداد شاخه فرعی) ; WUE: Water Use Efficiency (کارایی مصرف آب) ; OP: Seed Oil Percentage (درصد روغن دانه) ; OY: Oil Yield (عملکرد روغن) ; CV: Coefficient of Variation (ضریب تغییرات)

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

*, ** Significant at the 0.05, 0.01 probability level, respectively.

ns: non-significant

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات گیاهی کنجد در اثرات اصلی تیمارهای آزمایشی

Table 5. Mean comparison of sesame traits in main effects of experimental treatments.

Treatments	H (cm)	SB (Number)	CP (Number)	SC (Number)	SW (g)	SY (kg ha ⁻¹)	WUE (kg m ⁻³)	OP (%)	OY (kg ha ⁻¹)
A	A1	115 ± 20 a	2.5 ± 0.4 a	38 ± 6 a	3.0 ± 0.1 a	881 ± 139 a	0.16 ± 0.04 a	50.0 ± 1.9 a	440 ± 71 a
	A2	97 ± 14 b	1.8 ± 0.3 b	20 ± 6 a	2.5 ± 0.2 a	456 ± 132 b	0.14 ± 0.01 a	48.5 ± 1.0 b	225 ± 68 b
B	B1	118 ± 19 a	2.3 ± 0.8 a	36 ± 6 a	3.0 ± 0.1 a	854 ± 193 a	0.16 ± 0.01 a	50.4 ± 1.0 a	430 ± 55 a
	B2	108 ± 21 b	2.2 ± 0.1 a	33 ± 8 a	2.8 ± 0.1 b	758 ± 158 a	0.16 ± 0.03 a	49.7 ± 1.7 a	368 ± 89 a
	B3	94 ± 12 c	1.9 ± 0.5 b	18 ± 3 b	2.4 ± 0.1 c	394 ± 88 b	0.12 ± 0.01 b	47.5 ± 0.52 b	187 ± 42 b
C	C1	118 ± 17 a	2.1 ± 0.5 a	27 ± 5 a	2.4 ± 0.1 a	668 ± 132 a	0.14 ± 0.02 b	48.8 ± 1.4 b	326 ± 72 a
	C2	95 ± 14 b	2.3 ± 0.5 a	31 ± 5 a	2.7 ± 0.1 a	669 ± 142 a	0.16 ± 0.03 a	49.6 ± 1.9 a	332 ± 84 a

A: Irrigation intervals

A1: آبیاری پس از مصرف ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (آبیاری کامل)

A2: آبیاری پس از مصرف ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده خاک (کم آبیاری)

A1: Irrigation was initiated after using 40% of available soil water (Full irrigation)

A2: Irrigation was initiated after using 80% of available soil water (Low irrigation)

B: زمان قطع آبیاری

B1: قطع آبیاری در اواسط کیسول‌دهی (زمانی که کیسول‌ها به ۷۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند)

B2: قطع آبیاری در ابتدای کیسول‌دهی (زمانی که کیسول‌ها به ۳۰ درصد اندازه نهایی خود رسیده بودند)

B3: قطع آبیاری در ابتدای گلدهی (زمانی که ۳۰ درصد گل‌ها باز بودند)

B1: Irrigation cut-off at the mid-capsule formation (when capsule about 70% of final size)

B2: Irrigation cut-off at the beginning of capsule formation (when capsule about 30% of final size)

B3: Irrigation cut-off at the beginning of flowering (when 30% of flowers open)

C: Genotype

C1: رقم اولتان

C2: Promising line number 2

H: Height (ارتفاع); SB: Number of Secondary Branch (تعداد شاخه فرعی); CP: Number of Capsule in Plant (تعداد کیسول در گیاه); SC: Number of Seed in Capsule (تعداد بذر در کیسول); SW: 1000-Seed Weight (وزن هزار دانه); SY: Seed Yield (عملکرد دانه); WUE: Water Use Efficiency (آب مصرف آب); OP: Oil Yield (عملکرد روغن); OY: Oil Yield (عملکرد روغن)

In each trait and for each treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

در هر صفت و برای هر تیمار، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

In each trait and for each treatment, means followed by the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$).

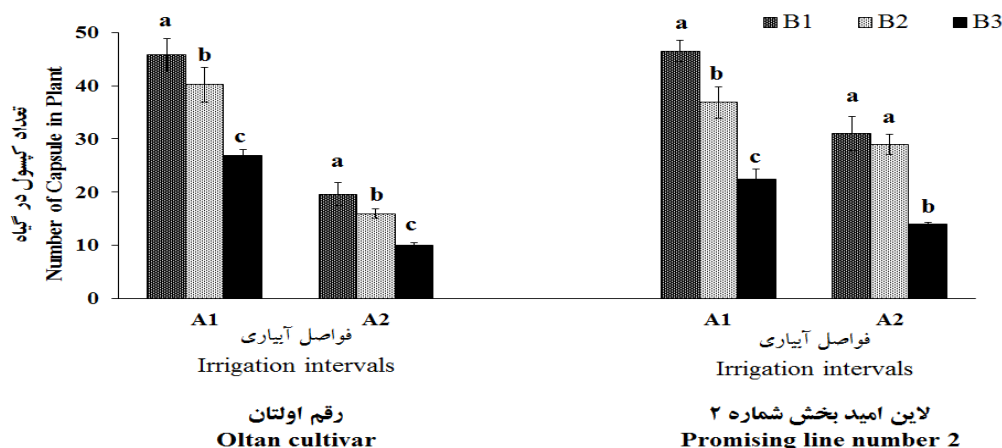
با افزایش فواصل آبیاری و یا تسریع در زمان قطع آخرین آبیاری، ارتفاع بوته و تعداد شاخه فرعی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). در شرایط کم آبی فشار تورژسانس سلول‌های ساقه کنجد کاهش می‌یابد و از طرفی تولید مواد فتوسنتزی نیز کم می‌شود، بنابراین طول میان‌گره‌های ساقه و تعداد شاخه‌های فرعی کاهش می‌یابد (۱۵). همچنین از آنجایی که تمامی ژنوتیپ‌های کنجد در کشور از جمله دو ژنوتیپ مورد بررسی در این آزمایش عادت رشد نامحدود دارند، تسریع در قطع آبیاری در دوره زایشی نیز باعث کاهش ارتفاع بوته شد، به طوری که تیمار قطع آبیاری در ابتدای کپسول‌دهی در مقایسه با تیمار قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی ارتفاع بوته را نه درصد کاهش داد. با این حال بین این دو تیمار قطع آبیاری در ابتدا و اواسط کپسول‌دهی از نظر تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و تنها قطع آبیاری در ابتدای گلدهی به‌طور معنی‌داری تعداد شاخه فرعی را کاهش داد (جدول ۵). همچنین بین دو ژنوتیپ از نظر ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری وجود داشت و رقم اولتان در مقایسه با لاین شماره دو به‌طور متوسط پنج سانتی‌متر بلندتر بود (جدول ۵). یافته‌های سایر پژوهشگران نیز بیانگر وجود تفاوت در ارتفاع ارقام و ژنوتیپ‌های کنجد می‌باشد (۱۶).

اجزای عملکرد: علاوه بر اثر اصلی زمان قطع آبیاری، اثر متقابل سه جانبه فواصل آبیاری \times زمان قطع آبیاری \times ژنوتیپ بر تعداد کپسول در بوته معنی‌دار بود (جدول ۴). در جزء دیگر عملکرد، تعداد دانه در کپسول، نیز علاوه بر اثر اصلی فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری، اثر متقابل فواصل آبیاری \times زمان قطع آبیاری \times ژنوتیپ معنی‌دار بود (جدول ۴). برش‌دهی و مقایسه میانگین این اثرات متقابل نشان می‌دهد که در هر دو ژنوتیپ، قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی در مقایسه با اواسط آن در شرایط آبیاری کامل تأثیر

معنی‌داری بر تعداد کپسول در بوته نداشت (شکل ۱). با توجه به اینکه تعداد کپسول در گیاه کنجد در اواسط گلدهی تعیین می‌شود (۱۷)، آبیاری اضافی پس از کپسول‌دهی تأثیری بر تعداد کپسول در بوته نداشت. در مقابل واکنش دو ژنوتیپ به زمان قطع آبیاری در شرایط کم آبیاری متفاوت بود. در این شرایط در رقم اولتان تسریع در قطع آبیاری موجب کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته شد، حال آن‌که در لاین شماره ۲ بین قطع آبیاری در اوایل و اواسط کپسول‌دهی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت و تنها قطع زودتر آبیاری (قطع آبیاری در اوایل گلدهی) موجب کاهش معنی‌دار تعداد کپسول در بوته شد (شکل ۱). نکته حایز اهمیت آن‌که تعداد کپسول در بوته لاین شماره ۲ در شرایط آبیاری کامل تقریباً برابر، ولی در شرایط کم آبیاری ۶۷ درصد بیشتر از رقم اولتان بود. به نظر می‌رسد ویژگی سه کپسوله بودن لاین شماره ۲ در حصول این نتایج مؤثر بوده باشد (جدول ۲). به عبارت دیگر، در این لاین علاوه بر بیشتر بودن تعداد کپسول تولید شده در شرایط کم آبیاری، قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی نیز تأثیر منفی بر تعداد کپسول در بوته ایجاد نمی‌کند. برخلاف تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول در هر دو ژنوتیپ و در هر دو تیمار آبیاری کامل و کم آبیاری با تسریع در زمان قطع آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲). گزارش شده هر عامل محدودکننده رشد کنجد از جمله کم آبی به‌ویژه در مرحله گلدهی و اوائل نمو دانه، تعداد دانه در کپسول کنجد را کاهش می‌دهد (۱۸). تلفات دانه می‌تواند ناشی از عدم همزمانی نمو گل‌ها (۱۹)، نمو غیر عادی کیسه جنینی (۲۰) و عدم نمو دانه پس از گرده افشانی و باروری (۲۱) باشد. با این حال شدت کاهش در دو ژنوتیپ متفاوت بود. حداقل فراهمی آب (کم آبیاری در طول دوره رشد و قطع آبیاری در اوایل گلدهی) در مقایسه با حداکثر فراهمی آب (آبیاری

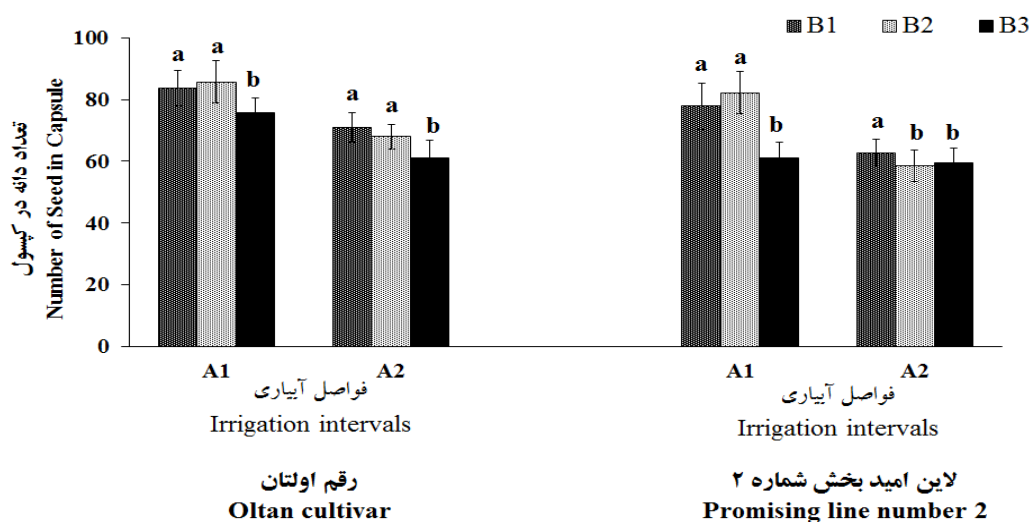
اولتان در مقایسه با لاین شماره ۲ بیشتر بود، ولی این روند در شرایط کم آبیاری برعکس بود به طوری که با افزایش شدت تنش کم آبی (افزایش فواصل آبیاری و تسریع در زمان قطع آبیاری)، تعداد دانه در کپسول لاین شماره ۲ بیشتر از رقم اولتان بود.

کامل در طول دوره رشد و قطع آبیاری در اواسط کپسول دهی) تعداد دانه در کپسول رقم اولتان و لاین شماره ۲ را به ترتیب ۶۳ و ۵۱ درصد کاهش داد. از طرف دیگر اگرچه در شرایط آبیاری کامل و در هر تیمار زمان قطع آبیاری، تعداد دانه در کپسول در رقم



شکل ۱- برش دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل آبیاری × زمان قطع آبیاری × ژنوتیپ (A×B×C) بر تعداد کپسول در بوته کنگد. در هر تیمار فواصل آبیاری، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2; B1, B2, B3) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 1- Slicing and mean comparison of A×B×C interaction on number of capsule in plant of sesame. In each group of irrigation intervals treatment, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2; B1, B2, B3), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

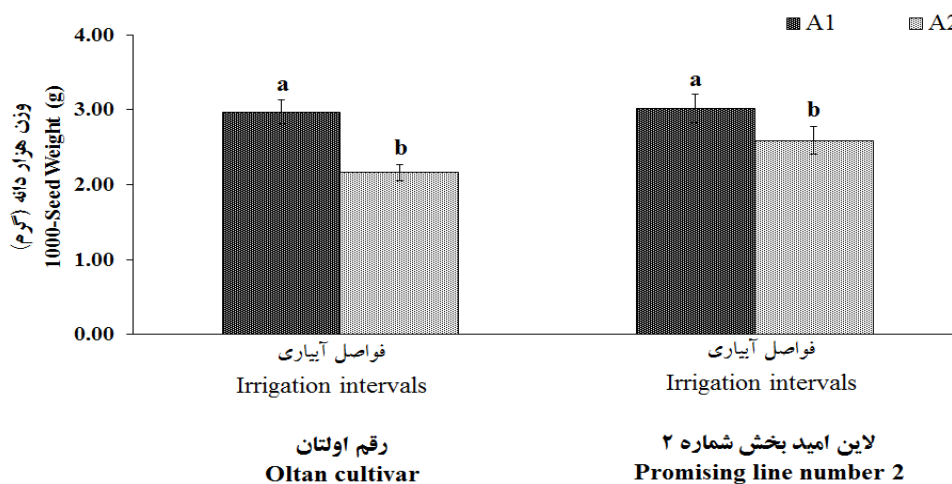


شکل ۲- برش دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل آبیاری × زمان قطع آبیاری × ژنوتیپ (A×B×C) بر تعداد دانه در کپسول کنگد. در هر تیمار فواصل آبیاری، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2; B1, B2, B3) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 2- Slicing and mean comparison of A×B×C interaction on number of seed in capsule of sesame. In each group of irrigation intervals treatment, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2; B1, B2, B3), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

شماره ۲ حساسیت کمتری به کاهش فراهمی آب داشت. عملکرد دانه در کنجد مشابه با سایر محصولات زراعی ناشی از اثرات تجمعی اجزای تشکیل دهنده آن می‌باشد، بنابراین شناسایی این اجزاء و رابطه‌ی آن‌ها با عملکرد دانه می‌تواند در گزینش ژنوتیپ‌های پرمحصول موثر واقع شود. مطالعات نشان می‌دهد که با افزایش فواصل آبیاری تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول کنجد کاهش می‌یابد (۱۸). همچنین افزایش فواصل آبیاری در دوره زایش گیاه، به دلیل کوتاه کردن دوره پر شدن دانه و نیز کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه سبب کاهش وزن هزار دانه می‌گردد (۲۳). با این حال واکنش ژنوتیپ‌ها و اجزای عملکرد آنها به تیمارهای مختلف آبیاری یکسان نبود. نتایج حاکی از آن بود که در شرایط بدون محدودیت آبیاری، برتری اجزای عملکرد، بویژه در صفت تعداد دانه در کپسول، با رقم اولتان بود. در مقابل هرچه محدودیت آب چه از نظر افزایش فواصل آبیاری و یا تسریع در زمان قطع آبیاری شدیدتر شد، لاین شماره ۲ کاهش کمتری را در اجزای عملکرد نشان داد.

در صفت وزن هزار دانه علاوه بر اثر اصلی زمان قطع آبیاری، اثر متقابل فواصل آبیاری در ژنوتیپ نیز معنی‌دار بود (جدول ۴). بر خلاف دو جزء دیگر عملکرد، در وزن هزار دانه بین دو تیمار قطع آبیاری در ابتدای کپسول‌دهی و اواسط آن اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۵). به عبارت دیگر انجام آبیاری در اواسط کپسول‌دهی اگر چه به‌طور معنی‌داری تعداد کپسول در بوته و تعداد دانه در کپسول را افزایش نداد، اما موجب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه شد. از آنجاییکه وزن هزار دانه در کنجد مشابه با سایر گیاهان زراعی آخرین جزء عملکردی است که تعیین می‌شود (۲۲)، آبیاری در اواخر فصل رشد نیز بر آن تأثیر مثبت داشته است. همچنین اگرچه در هر دو ژنوتیپ افزایش فواصل آبیاری موجب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه شد (شکل ۳)، با این حال ثبات وزن هزار دانه لاین شماره ۲ بیشتر بود. نتایج حاکی از آن است که تغییر رژیم آبیاری از آبیاری کامل به کم آبیاری وزن هزار دانه رقم اولتان و لاین شماره ۲ را به‌ترتیب ۲۷ و ۱۴ درصد کاهش داد. به عبارت دیگر وزن هزار دانه لاین

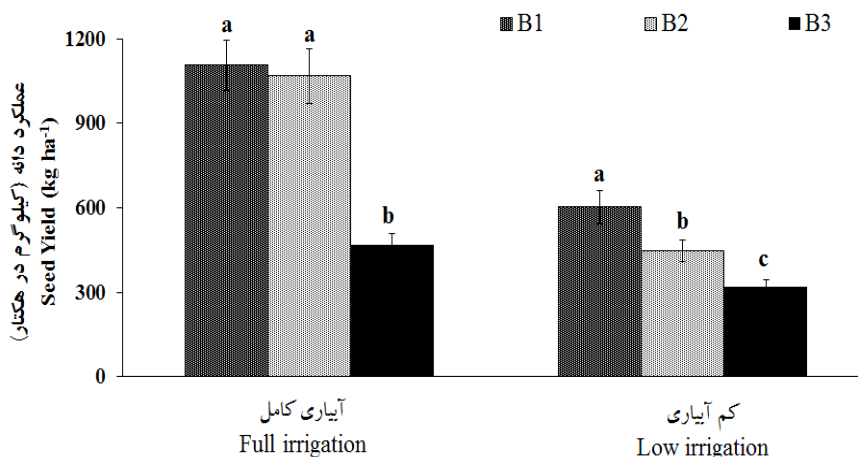


شکل ۳- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل آبیاری × ژنوتیپ (A×C) بر وزن هزار دانه کنجد. در هر تیمار فواصل آبیاری، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 3- Slicing and mean comparison of A×C interaction on 1000-seed weight of sesame. In each group of irrigation intervals treatment, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

توقف گل‌دهی و تحریک به پرکردن دانه‌ها با قطع عملیات آبیاری برای دستیابی به عملکرد دانه بالا مهم است. در مقابل، در شرایط کم آبیاری به تعویق انداختن زمان قطع آبیاری تا اواسط کپسول‌دهی با افزایش معنی‌دار عملکرد دانه همراه بود (شکل ۴). اگرچه متوسط عملکرد دانه در تیمار کم آبیاری ۴۸ درصد کمتر از تیمار آبیاری کامل بود، با این حال در تیمار کم آبیاری همراه با قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی با مصرف ۳۹۰۰ مترمکعب آب در هکتار، عملکرد دانه ۶۰۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد که قابل توجه است. در مقایسه با شرایطی که حداکثر آب فراهم شد (تیمار آبیاری کامل و قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی)، تیمار کم آبیاری و قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی ۴۵ درصد افت عملکرد دانه را نشان داد با این حال ۴۰ درصد نیز در مصرف آب صرفه‌جویی داشت. بنابراین در شرایط کم آبیاری تعویق زمان قطع آبیاری تا اواسط کپسول‌دهی و در شرایط آبیاری کامل قطع آب در ابتدای کپسول‌دهی می‌تواند مدیریت مناسبی برای تولید کنجد باشد.

عملکرد دانه و کارایی مصرف آب: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آزمایشی شامل فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری و اثر متقابل آنها و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ در فواصل آبیاری و ژنوتیپ در زمان قطع آبیاری بر عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل آبیاری در زمان قطع آبیاری نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری کامل بین دو تیمار قطع آبیاری در اوایل و اواسط کپسول‌دهی تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد (شکل ۴). به عبارت دیگر ادامه آبیاری پس از اوایل کپسول‌دهی نقشی در افزایش عملکرد دانه کنجد ندارد. گزارش شده است که در ارقام مختلف کنجد، میزان آب زیاد سبب افزایش طول ساقه اصلی شده و رسیدگی گیاهان را به تأخیر می‌اندازد (۲۴). در اقلیم‌های گرم و مرطوب اگر رطوبت و مواد غذایی در دسترس کنجد باشد گیاهان ممکن است ۸۰ تا ۸۵ روز پس از کاشت نیز به تولید گل ادامه دهند (۱۴). بنابراین مجبور کردن گیاهان به



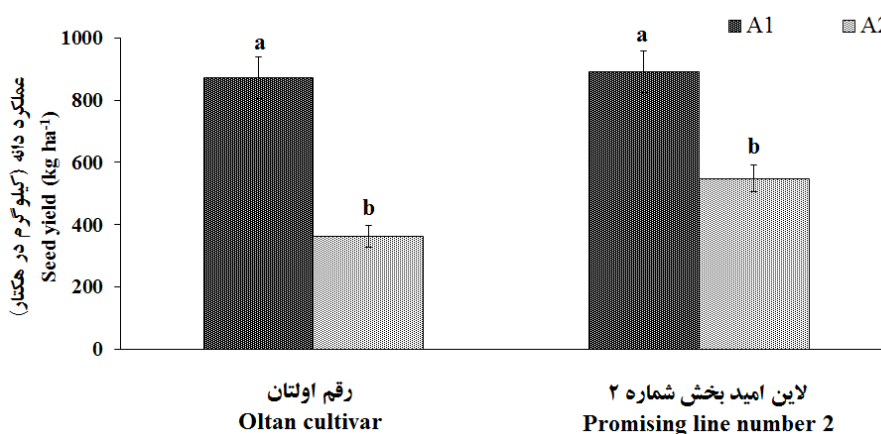
شکل ۴- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل فواصل آبیاری × زمان قطع آبیاری (A×B) بر عملکرد دانه کنجد. در هر تیمار آبیاری، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (B1, B2, B3) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 4- Slicing and mean comparison of A×B interaction on seed yield of sesame. In each group of irrigation treatment, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (B1, B2, B3), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

تأثیر فواصل آبیاری و زمان قطع آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های کنجد / مجید غلامحسینی و همکاران

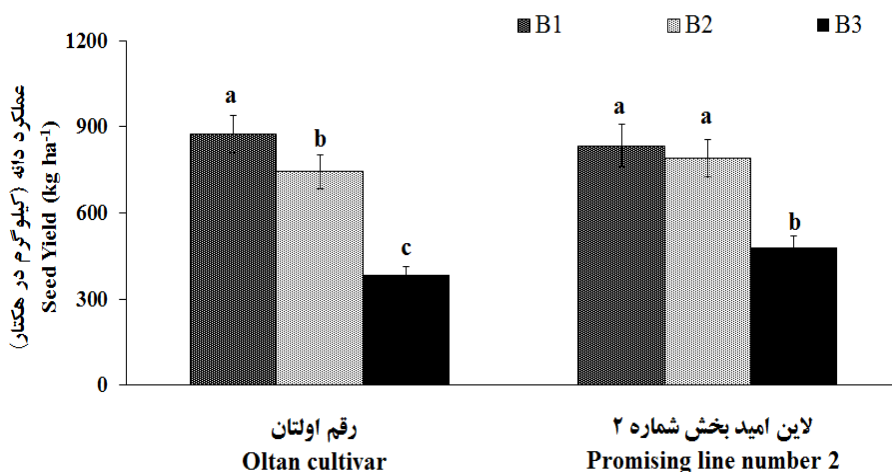
علاوه بر این در لاین شماره ۲ قطع آبیاری در ابتدای کپسول‌دهی در مقایسه با قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نشد (شکل ۶). حال آن‌که در رقم اولتان این تسریع در زمان قطع آبیاری با کاهش معنی‌دار عملکرد دانه همراه بود (شکل ۶).

همچنین مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ در فواصل آبیاری (شکل ۵) نشان داد که عملکرد هر دو ژنوتیپ در شرایط آبیاری کامل تقریباً برابر ولی در شرایط کم آبیاری عملکرد لاین شماره ۲ تا ۵۱ درصد از رقم اولتان بیشتر بود. به نظر می‌رسد دو ویژگی مهم لاین شماره ۲ شامل زودرسی و سه کپسوله بودن در برتری این لاین در شرایط کم آبیاری موثر بوده است.



شکل ۵- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × فواصل آبیاری (A×C) بر عملکرد دانه کنجد. در هر ژنوتیپ، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 5- Slicing and mean comparison of A×C interaction on seed yield of sesame. In each genotype, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.



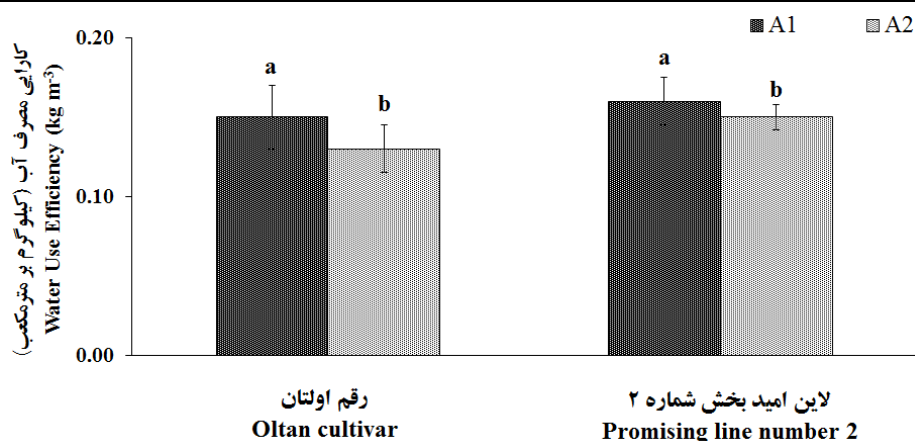
شکل ۶- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × زمان قطع آبیاری (B×C) بر عملکرد دانه کنجد. در هر ژنوتیپ، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (B1, B2, B3) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 6- Slicing and mean comparison of A×C interaction on seed yield of sesame. In each genotype, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (B1, B2, B3), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

اما شدت کاهش در دو ژنوتیپ یکسان نبود. در رقم اولتان تیمار کم آبیاری موجب کاهش ۳۹ درصدی و معنی‌دار کارایی مصرف آب شد حال آن‌که در لاین شماره ۲ افت کارایی مصرف آب ناشی از کم آبیاری ۶ درصد و غیر معنی‌دار بود (شکل ۷). این نتایج نشان می‌دهد که ویژگی‌های ژنوتیپ در نوع پاسخ کارایی مصرف آب به تیمارهای آبیاری تأثیرگذار است. از طرف دیگر در رقم اولتان تسریع در قطع آبیاری با کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب همراه بود، در مقابل در لاین شماره ۲، قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی در مقایسه با اواسط آن نه تنها کارایی مصرف آب را کاهش نداد بلکه به‌طور غیر معنی‌داری موجب افزایش آن شد (شکل ۸). این ویژگی (امکان قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی) لاین شماره ۲، که ناشی از زودرسی این ژنوتیپ است، موجب صرفه جویی ۶۰۰ مترمکعبی آب گردید. به عبارت دیگر عامل اصلی ایجاد اختلاف در کارایی مصرف آب بین ژنوتیپ‌ها، نه تنها عملکرد دانه بلکه مقدار آب مصرفی نیز می‌باشد. اما آنچه بین دو ژنوتیپ مشترک بود افت شدید و معنی‌دار کارایی مصرف آب در اثر قطع آبیاری در اوایل گلدهی بود (شکل ۸). از آنجایی‌که مرحله گلدهی، مرحله حیاتی در شکل‌گیری عملکرد نهایی کنگد محسوب می‌شود (۲۷)، هرگونه تنش رطوبتی در این مرحله با کاهش شدید عملکرد و در نتیجه کاهش کارایی مصرف آب همراه است. هرچند قطع آبیاری در اوایل گلدهی موجب کاهش ۱۷۰۰ و ۱۵۰۰ مترمکعبی مصرف آب به‌ترتیب در رقم اولتان و لاین شماره ۲ شد.

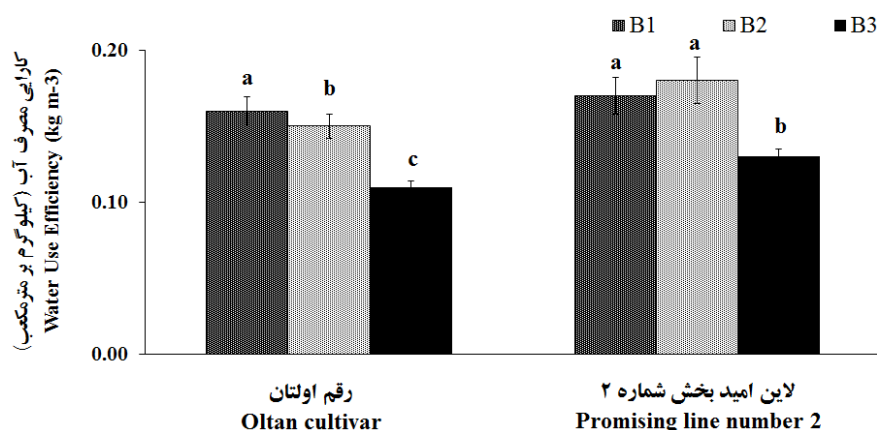
نتایج نشان داد که به استثناء قطع آبیاری در اواسط کپسول‌دهی که در آن رقم اولتان ۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه بالاتری در مقایسه با لاین شماره ۲ داشت، در سایر تیمارهای قطع آبیاری (قطع آبیاری در اوایل گلدهی و قطع آبیاری در اوایل کپسول‌دهی) برتری عملکرد دانه از آن لاین شماره ۲ بود. زودرس بودن لاین شماره ۲ به ویژه در شرایطی که تامین رطوبت در اواخر فصل رشد به عنوان یک عامل محدود کننده مطرح است، یک امتیاز برای این لاین محسوب می‌شود. اگرچه برخی از پژوهشگران معتقدند که توجه به صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ در شرایط تنش خشکی برای دستیابی به عملکرد بالاتر از ویژگی‌های فنولوژیک گیاه مهم‌تر است (۲۵).

نتایج حاکی از آن بود که اثر زمان قطع آبیاری، ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ در تیمارهای آبیاری بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۴). گرچه انتظار می‌رفت کم آبیاری با افزایش کارایی مصرف آب همراه باشد، اما نتایج خلاف این موضوع را نشان داد به‌طوری‌که در هر دو ژنوتیپ تیمار کم آبیاری موجب کاهش کارایی مصرف آب شد (شکل ۷). در مورد اثر مقدار آب مصرفی بر کارایی مصرف آب نتایج متناقضی گزارش شده است. تعدادی از پژوهشگران اظهار داشتند کاهش فراهمی آب باعث کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب می‌گردد (۲۴). در مقابل در آزمایش‌هایی نیز افزایش این صفت در شرایط کم آبیاری گزارش شده است (۲۶). در هر صورت در این آزمایش اگرچه در هر دو ژنوتیپ کارایی مصرف آب با کاهش فراهمی آب کاهش یافت،



شکل ۷- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × فواصل آبیاری (A×C) بر کارایی مصرف آب کنجد. در هر ژنوتیپ، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 7- Slicing and mean comparison of A×C interaction on water use efficiency of sesame. In each genotype, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.



شکل ۸- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × زمان قطع آبیاری (B×C) بر کارایی مصرف آب کنجد. در هر ژنوتیپ، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (B1, B2, B3) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

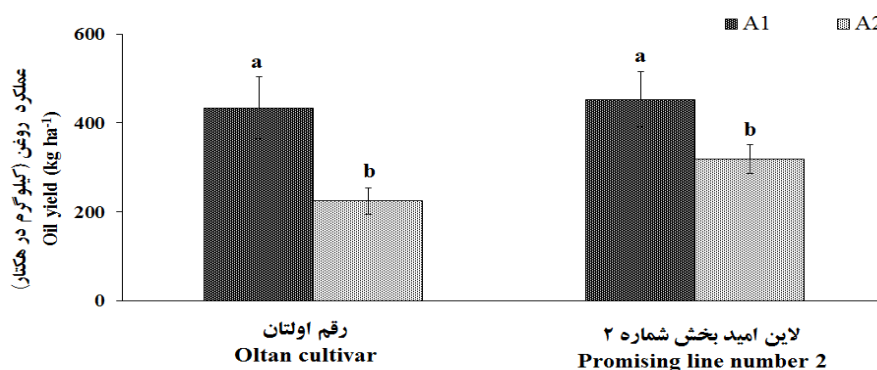
Figure 8- Slicing and mean comparison of B×C interaction on water use efficiency of sesame. In each genotype, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (B1, B2, B3), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و تیمار کم آبیاری در مقایسه با آبیاری کامل باعث کاهش سه و ۴۹ درصدی به‌ترتیب در درصد روغن دانه و عملکرد روغن شد (جدول ۵). همچنین هرچه قطع آخرین آبیاری زودتر انجام گرفت، افت این دو صفت نیز شدیدتر بود (جدول ۵). اگرچه پژوهشگرانی مانند ظفر و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که درصد روغن دانه گیاهان

درصد روغن دانه و عملکرد روغن: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی تیمارهای آزمایشی بر درصد روغن دانه معنی‌دار بود (جدول ۴). همچنین عملکرد روغن نیز تحت تأثیر فواصل آبیاری، زمان قطع آبیاری و اثر متقابل فواصل آبیاری در ژنوتیپ قرار گرفت (جدول ۴). نتایج نشان داد درصد روغن دانه و عملکرد روغن در شرایط کم آبیاری

(۳۱). همچنین کاهش عملکرد روغن لاین شماره ۲ در مقایسه با رقم اولتان با کاهش فراهمی آب کمتر بود (شکل ۹). تغییر تیمار آبیاری از آبیاری کامل به کم آبیاری ۳۰ درصد عملکرد روغن لاین شماره ۲ را کاهش داد. این مقدار برای رقم اولتان برابر با ۴۹ درصد بود. این روند مشابه با نتایجی بود که در صفت عملکرد دانه حاصل شد. همبستگی بسیار معنی دار و مستقیم عملکرد دانه با عملکرد روغن کنجد در مقایسه با همبستگی ضعیفتر عملکرد روغن با درصد روغن گزارش شده توسط غلامحسینی و همکاران (۲۰۲۲) نیز گواه این مطلب است که عملکرد روغن به عنوان یک صفت تعیین کننده در گیاهان دانه روغنی بیشتر وابسته به عملکرد دانه است تا درصد روغن دانه (۳۲). به عبارت دیگر مجموعه عواملی که در تیمارهای مختلف منجر به کاهش یا افزایش عملکرد دانه می‌شوند، در کاهش یا افزایش عملکرد روغن نیز نقش مستقیمی دارند.

زراعی عمدتاً تحت کنترل عوامل ژنتیکی می‌باشد (۲۸)، اما باد و لپینیک (۲۰۱۰) اظهار داشتند در صورتی که گیاه در معرض تنش‌های شدید محیطی باشد، مقدار روغن دانه به دلیل کاهش توانایی گیاه برای سنتز اسیدهای چرب کاهش می‌یابد (۲۹). همچنین کاهش فراهمی آب طول دوره پر شدن دانه را کوتاه می‌کند (۲۱) که یکی از اثرات آن کاهش درصد روغن دانه می‌باشد. بین دو ژنوتیپ مورد بررسی نیز از نظر درصد روغن دانه اختلاف معنی‌داری مشاهده شد به طوری که لاین شماره ۲، تا دو درصد محتوی روغن دانه بیشتری در مقایسه با رقم اولتان داشت (جدول ۵). گزارش شده که رنگ بذرها در کنجد با میزان روغن آنها همبستگی دارد (۳۰). ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) بیان داشتند که بذره‌های تیره (مانند رقم اولتان در این آزمایش) در مقایسه با بذره‌های با رنگ روشن (مانند لاین شماره ۲) دارای درصد روغن کمتری هستند و کمتر بودن میزان روغن در بذره‌های تیره‌تر را به ضخیم‌تر بودن پوسته بذر مربوط دانسته‌اند



شکل ۹- برش‌دهی و مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × فواصل آبیاری (A×C) بر عملکرد روغن کنجد. در هر ژنوتیپ، میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند. برای آگاهی از تیمارها (A1, A2) به زیر نویس جدول ۵ مراجعه کنید. ارور بارها انحراف معیار می‌باشند.

Figure 9- Slicing and mean comparison of A×C interaction on oil yield of sesame. In each genotype, means with the same letter are not significantly different ($p \leq 0.05$). For information about the treatments (A1, A2), refer to the subtitle of Table 5. The error bars are the standard deviation.

در شرایط کم آبیاری لاین شماره ۲ تا ۵۱ درصد عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با رقم اولتان داشت. علاوه بر این در لاین شماره ۲ قطع آبیاری در ابتدای

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد هر دو ژنوتیپ در شرایط آبیاری کامل تقریباً برابر بود، ولی

می‌شود که در شرایط کم آبیاری تعویق زمان قطع آبیاری تا اواسط کیسول‌دهی و در شرایط آبیاری کامل قطع آب در ابتدای کیسول‌دهی می‌تواند مدیریت مناسبی برای تولید کنجد باشد. همچنین جایگزینی ارقام جدیدتر از جمله لاین در دست معرفی شماره ۲ می‌تواند در افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت کنجد مؤثر باشد.

کیسول‌دهی در مقایسه با قطع آبیاری در اواسط کیسول‌دهی نه تنها موجب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نشد، بلکه کارایی مصرف آب را افزایش داد و موجب صرفه جویی مصرف آب تا ۶۰۰ مترمکعب در هکتار شد. در مقابل در رقم اولتان این تسریع در زمان قطع آبیاری با کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و کارایی مصرف آب همراه بود. در مجموع چنین جمع‌بندی

References

1. Oloniruha, J.A., Ogundare, S.K. & Olajide, K. (2021). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) as influenced by plant population density and organo-mineral fertilizer rates. *Agro-Science*, 20(1), 15-21.
2. Dehghani, S., Bani Habib, M.A. & Galbi, M.R. (2019). Water governance in Iran: Challenges and Solutions. *Water Resources Engineering Journal*, 14, 238-254. [In Persia]
3. Nasrabadi, E. (2015). Evidence of Iran Water Crisis and some Solutions. *The Socio Cultural Strategy Journal*, 4(15), 65-89. [In Persia]
4. Iran Customs Administration. (2023). Annual export and import statistics. Available at: https://www.irica.ir/web_directory/55335.
5. Bedigian D. (2010). Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm: A critique. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 57, 641-647.
6. FAO. 2024. Food and Agriculture Organization Statistical Databases [FAOSTAT] statistics service. Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
7. Agricultural Production Statistics. 2023. Ministry of Agricultural (Deputy Planning and Economic, Information and Communication Technology Center). Available at: <https://maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/94-95.pdf>
8. Ghasemi Hamedani, N., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Amiri, B. & Habibzadeh, F. (2020). Variability of root traits in sesame genotypes under different irrigation regimes. *Rhizosphere*, 13, 100190.
9. Ucana, K. & F. Killi. (2010). Effects of different irrigation programs on flower and capsule numbers and shedding percentage of sesame. *Agricultural Water Management*, 98, 227-233.
10. Aien, A. (2013). Effect of eliminating of irrigation at different growth stages on seed yield and some agronomic traits of two sesame genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, 29(1), 67-79. [In Persia]
11. Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L.E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y. & Hong- Ving, Z. (2010). Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops sciences*, 4, 42-48.
12. Lamaoui, M., Jemo, M., Datla, R. & Bekkaoui, F. (2018). Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Frontiers in Chemistry*, 6, 26-36.
13. Murty, G.S.A. & Bhatia, C. R. (2000). Effect of recurring water stress on growth, yield and other agronomical characters in sesame. *Sesame and Safflower News letter*, 5, 4-10.
14. Attibayeba, A., Elie, N-M., Serina, N.J., Dianga, J.G.C. & Francois, M-Y. (2010). Description of different growth stages of *Sesamum indicum* L. using the extended BBCH scale. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(3), 235-239.
15. Langham, D.R. (2007). Phenology of sesame. In: Janick and Whipkey A (eds) *Issues in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, pp. 144-182.
16. Yemata, G. & Bekele, T. (2024). Evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties for drought tolerance using agromorphological traits and drought tolerance indices. *PeerJ*, 12, 16840.

17. Karimi, Z., AghaAlikhani, M. & Gholamhoseini, M. (2018). Study of planting density on agronomic traits of sesame cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(4), 821-831. [In Persia]
18. Kadkhodaie, A., Razmjoo, J., Zahedi, M. & Pessarakli, M. (2014). Selecting sesame genotypes for drought tolerance based on some physiochemical traits. *Agronomy Journal*, 106(1), 111-118.
19. Kouighat, M., Nabloussi, A., Kettani, R., Fakhour, S., El Fechtali., M. & Hamdani, A. (2023). Drought-tolerant sesame mutant lines assessed by physiological traits and stress indices under water deficit conditions. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100842.
20. Sun, J., Rao, Y., Yan, T., Yan, X. & Zhou, H. (2010). Effects of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese journal of oil crop sciences*, 32, 525-533.
21. Zeng, Y.X., Hu, C.Y., Lu, Y.G., Li, J.Q. & Liu, X.D. (2009). Abnormalities occurring during female gametophyte development result in the diversity of abnormal embryo sacs and leads to abnormal fertilization in indica/japonica hybrids in rice. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51(1), 3-12.
22. Boureima, S., Diouf, S., Amoukou, M. & Van Damme, P. (2016). Screening for sources of tolerance to drought in sesame induced mutants: Assessment of indirect selection criteria for seed yield. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 4, 45-60.
23. Pandey, B.B., Ratnakumar, P., Kiran, B.U., Dudhe, M.Y., Lakshmi, G.S., Ramesh, K. & Guhey, A. (2021). Identifying traits associated with terminal drought tolerance in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Frontiers in Plant Science*, 12, 739896.
24. Pabuayon, I.L.B., Singh, S., Lewis, K.L. & Ritchie, G.L. (2019). Water extraction and productivity of cotton, sorghum, and sesame under deficit irrigation. *Crop Science*, 59(4), 1692-1700.
25. Saboury, A., Gholamhoseini, M., Bazrafshan, F., Habibzadeh, F. & Amiri, B. (2021). Interaction of irrigation and nitrogen fertilization on yield and input use efficiency of sesame cultivars. *Agronomy Journal*, 113(6), 5133-5142.
26. Seleiman, M.F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., Dindaroglu, T., Abdul-Wajid, H.H. & Battaglia, M.L. (2021). Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2), 259-275.
27. Norwood, C.A. & Dumler T.J. (2002). Transition to dryland agriculture: limited irrigation vs. dryland corn. *Agronomy Journal*, 94, 310-320.
28. Sadeghi Garmaroodi, H., Gholamhoseini, M. & Habibzadeh H. (2022). Sesame production, Challenges and Approaches. International Imam Khomeini University Publication. ISBN: 978-622-5903-18-0. pp. 231. [In Persia]
29. Zafar, S., Li, Y-L., Li, N-N., Zhu, K-M. & Tan, X-L. (2019). Recent advances in enhancement of oil content in oilseed crops. *Journal of Biotechnology*, 301, 35- 44.
30. Baud, S. & Lepiniec, L. (2010). Physiological and developmental regulation of seed oil production. *Progress in Lipid Research*, 49(3), 235-249.
31. Kanu, P.J. (2011). Biochemical analysis of black and white sesame seeds from China. *American Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 1, 145-157.
32. Zhang, H., Miao, H. & Ju, M. (2019). Potential for adaptation to climate change through genomic breeding in sesame. Pages 371-440. In: Kole C. (ed.). *Genomic designing of climate smart oilseed crops*, Springer Nature Switzerland AG. pp. 350.
33. Gholamhoseini M. (2022). Optimizing irrigation and nitrogen fertilization of Iranian sesame cultivars for grain yield and oil quality. *Journal of Food Composition and Analysis*, 108, 104448.