


## Evaluation of phenological characteristics, light consumption efficiency and growth indicators of rapeseed cultivars under the condition of no irrigation and increased levels of plant density

Hana Aboodeh<sup>1</sup>, Abdelmehdi bakhshandeh<sup>2</sup>, Mohammad Reza Moradi-Telavat<sup>3\*</sup> , Seyed Ataollah Siadat<sup>4</sup>, SeyedAmir Moosavi<sup>5</sup>

1. PhD Student, Department of Plant Production and Genetics- Faculty of Agriculture- Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan-Ahvaz, Iran.
2. Professor Department of Plant Production and Genetics- Faculty of Agriculture-Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan-Ahvaz, Iran.
3. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics- Faculty of Agriculture-Agricultural and Natural Resources Sciences University of Khuzestan-Ahvaz, Iran.
4. Professor Department of Plant Production and Genetics- Faculty OF Agriculture-Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan- Ahvaz, Iran.
5. Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics- Faculty of Agriculture-Khuzestan University Agricultural Sciences and Natural Resources-Ahvaz, Iran.

**Citation:** Aboodeh, H., akhshandeh, A., Moradi-Telavat, M.R., Siadat, S.A., Moosavi, S.A. (2024) Evaluation of phenological characteristics, light consumption efficiency and growth indicators of rapeseed cultivars under the condition of no irrigation and increased levels of plant density. *Plant Productions*, 47(1), 37- 52

### Abstract

#### Introduction

Growth analysis has a significant perspective on the function of agricultural plants. In the early stages of plant growth, the growth indicators, including the leaf area index, the growth rate of the product decreases, and then due to suitable vegetation, the absorption of light radiation is better, and the accumulation of plant dry matter also increases, and after that Due to aging and yellowing, the leaves are reduced. The amount of light radiation absorbed by the plant varies during the growth period, which depends on the leaf surface index and the arrangement of the leaves of the plant.

#### Material and Methods

The experiment was conducted in the research farm of Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2021-2022. In this research, the effect of three factors of irrigation interruption, cultivars and density was investigated in the form of factorial split with

---

\* **Corresponding Author:** Mohammad Reza Moradi Telavat  
**E-mail:** moraditelavat@asnruk.ac.ir



the base design of randomized complete blocks in three replications. The factor (no interruption of irrigation (control), interruption of irrigation at the beginning of flowering until the formation of 50% of the pod and interruption irrigation at the stage of pod formation until harvest the main factor, rapeseed cultivars Hayola 4815 and Aram and plant density per meter square (80, 110 and 140 plants per square meter) were considered as secondary factors.

### Results and Discussion

Irrigation interruption caused a decrease in growth indicators, including the amount of plant dry matter accumulation, leaf surface index, and leaf surface durability. The changes in harvest index and durability of leaf surface and accumulation of dry matter at the beginning of the development of leaves had a slow trend until a little before the appearance of inflorescences, but after that the slope of the mentioned parameters increased. During the experiment, changes in growth parameters including LAI, LAD, RGR, CGR and TDW were evaluated. At the beginning of the plant growth season, the growth rate of the product was low due to the lack of complete vegetation cover and proper light consumption efficiency. In all treatments, with the passage of time, the growth rate of the crop was gradually increasing and it reached the maximum value in the reproductive stages and then went through a decreasing process. The effects of stopping irrigation on dry weight were evident and the accumulation of dry matter was observed during the increasing time. which can be due to the increase in dry weight of stems, leaves and reproductive organs over time. Also The relative growth rate also showed an increasing trend with the increase of the leaf area index at first and then a decreasing trend.

### Conclusion

It seems that the second-stage irrigation interruption treatment at a density of 80 plants per square meter and Haiola 4815 variety, by maintaining more green area through more leaf surface durability and lower light consumption in the condition of irrigation interruption at the end of the growing season, was able to achieve a higher RUE100 compared to other treatments. to dedicate The highest seed yield (1572.61 kg per hectare) was obtained from the density of 110 plants per square meter and Hayola variety 4815.

**Keywords:** Active photosynthetic radiation, Crop growth rate, Dry matter accumulation, Leaf area index

## ارزیابی تغییرات راندمان مصرف نور و شاخص‌های رشد ارقام کلزا در شرایط قطع آبیاری و سطوح افزایش یافته تراکم بوته

هنا عبوده<sup>۱</sup>، عبدالمهدی بخشنده<sup>۲</sup>، محمدرضا مرادی تلاوت<sup>۳\*</sup> , سید عطاءالله سیادت<sup>۴</sup>، سید امیر موسوی<sup>۵</sup>

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران  
استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران  
دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران  
استاد، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران  
دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران

### چکیده

با توجه به اهمیت شاخص‌های رشد گیاه زراعی و تأثیر آن بر میزان جذب نور در شرایط قطع آبیاری، این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش قطع آبیاری (شاهد بدون اعمال قطع آبیاری)، قطع آبیاری از مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی تا برداشت) به عنوان عامل اصلی و ارقام (هایولا ۴۸۱۵ و آرام) و تراکم بوته (۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع) به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. طی آزمایش تغییرات شاخص‌های رشد شامل شاخص سطح برگ (LAI)، شاخص دوام سطح برگ (LAD)، سرعت رشد نسبی (RGR)، سرعت رشد گیاه (CGR) و ماده خشک تجمعی (TDW) و کارایی مصرف نور (RUE) و تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) ارزیابی شد. تغییرات شاخص برداشت، دوام سطح برگ و تجمع ماده خشک در ابتدای توسعه برگ‌ها تا کمی قبل از ظهور گل‌آذین روندی کندی داشت، اما پس از آن شیب افزایش شاخص‌های ذکر شده بیشتر گردید. براساس نتایج بدست آمده در سطوح مختلف شاهد و قطع آبیاری RUE86 بین مقادیر ۰/۵۸۸-۱/۵۴۴ گرم ماده خشک بر مگاژول و RUE100 بین مقادیر ۰/۲۵۵-۰/۸۵۸ گرم ماده خشک بر مگاژول متغیر بود. به نظر می‌رسد تیمار قطع آبیاری مرحله دوم در تراکم ۸۰ بوته در متر مربع و رقم هایولا ۴۸۱۵ با حفظ سطح سبز بیشتر از طریق دوام سطح برگ بیشتر و استهلاك نوری پایین‌تر در شرایط قطع آبیاری انتهایی فصل رشد، توانست RUE100 بالاتری در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص دهد. بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۵۷۲/۶۱ کیلوگرم در هکتار) نیز به تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع و رقم هایولا ۴۸۱۵، اختصاص یافت.

کلید واژه: تشعشع فعال فتوسنتزی، تجمع ماده خشک، کارایی مصرف نور، شاخص سطح برگ

## مقدمه

مقدار و چگونگی جذب نور و کارایی مصرف آن تحت تأثیر شرایط محیطی، ژنوتیپ و مدیریت زراعی قرار دارد. کاشت ارقام با بهره‌برداری کارآمد از منابع، یکی از مهم‌ترین راهکارها جهت دستیابی به تولید پایدار است. علاوه بر ویژگی‌های ژنتیکی ارقام، مدیریت زراعی از جمله میزان آبیاری و ویژگی‌هایی نظیر کارایی مصرف نور، ساختار کانوپی در نهایت بر تجمع ماده خشک کل تأثیر گذار است (Ahmadi et al., 2018). کسری از تشعشع نوری که توسط گیاه جذب می‌شود در طول رشد گیاه متغیر و به شاخص سطح برگ و آرایش برگ‌ها وابسته است (Zhang et al., 2008). اختلاف آرایش برگ‌ها که توسط ضریب استهلاک نوری شرح داده می‌شود، به همراه شاخص سطح برگ گیاهان اختلاف جذب تشعشع نوری را در شرایط مختلف روشن می‌کند (Kiniry et al., 1989). به طور کلی هر چه برگ‌های بالای کانوپی زاویه کمتری با ساقه داشته باشند ضریب استهلاک کمتر و هر چه برگ‌ها افقی‌تر گردند ضریب استهلاک بیشتر می‌شود. بین تجمع ماده خشک در گیاه و میزان تشعشع جذب شده ارتباط مستقیم وجود دارد. شاخص‌های رشد همچون دوام سطح برگ و شاخص سطح برگ بر میزان تشعشع فعال فتوسنتزی برگ تأثیر گذار است و می‌توان میزان نور جذب شده توسط پوشش گیاهی را ارزیابی نمود (Zhang et al., 2008؛ Nouriani, 2020). میزان کارایی مصرف نور برای کلزای پاییزه ۱/۲ و برای کلزای بهاره ۱/۵ گرم ماده خشک به ازای هر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی است. مقادیر ذکر شده مربوط به قبل از مرحله گلدهی بوده و فتوسنتز خورجین‌ها را دربر ندارد (Morrison and Stewart, 1995). میزان کارایی مصرف نور در زمان پر شدن دانه در کلزا نسبت به مرحله گلدهی کاهش یافته و بین ۰/۴ تا ۰/۷۵ گرم بر مگاژول متغیر می‌باشد (Dwyer et al., 1992). همچنین مقدار کارایی مصرف تشعشع محاسبه شده برای

رقم هایولا ۴۰۱ کلزا در شرایط اهواز حدود ۰/۹۲ گرم بر مگاژول تشعشع فعال فتوسنتزی برآورد شد (Kamaei et al., 2016). میزان RGR به علت کارایی نور بالا، سایه‌اندازی کمتر برگ‌های بالایی بر روی برگ‌های پایینی روند افزایشی نشان می‌دهد (Tadaion and Karim Zadeh Sureshjani, 2019).

افزایش سرعت رشد در رسیدن به بالاترین عملکرد از طریق اصلاح ژنتیکی، از جمله اهداف کشاورزی نوین است. رشد، متغیری است که بیشترین اهمیت را دارد و به عنوان افزایش در ماده خشک شناخته می‌شود. تجزیه و تحلیل رشد، دیدگاه قابل توجهی در خصوص کارکرد گیاهان زراعی، فراهم می‌کند (Koocheki et al., 2008). در مراحل اولیه رشد به دلیل کم بودن رشد، وزن خشک، شاخص سطح برگ گیاه و به دنبال آن سرعت رشد محصول به صورت کاهش می‌باشد. در ادامه رشد رویشی به دلیل پوشش مناسب‌تر، جذب تشعشع نوری نیز بهتر انجام می‌گیرد، بنابراین میزان تجمع ماده خشک گیاهی افزایش می‌یابد. این روند تا اواسط دوره گلدهی ادامه یافته و پس از آن به دلیل پیری و زرد شدن برگ‌ها کاهش می‌یابد (Dehghanzadeh et al., 2018؛ Karimzadeh Soureshjani et al., 2019). با افزایش تراکم بوته تجمع ماده خشک، سرعت رشد محصول و شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد (Pourhadian et al., 2021؛ Abuzar et al., 2011).

با توجه به گزارشات، عملکرد کلزا تحت تأثیر کارایی مصرف نور در محدوده رشد زایشی قبل از گلدهی تا اواسط رشد خورجین‌ها می‌باشد. کارایی مصرف نور تحت تأثیر کاهش دریافت تابش خورشیدی و کاهش توان فتوسنتزی در این مرحله کمتر از سایر گیاهان با مسیر فتوسنتزی مشابه سه کربنه است. این موضوع در اثر تنش‌های محیطی اعمال شده در مراحل ذکر شده تشدید می‌گردد. بررسی این موضوع با جزئیات بیشتر و در ارقام جدید می‌تواند میزان واکنش و

کرت آزمایشی شامل شش خط کاشت و فاصله بین خطوط ۳۰ سانتی متر بود. آبیاری در طول دوره رشد رویشی براساس نیاز گیاه و بارندگی پاییزه انجام شد و در مراحل انتهایی رشد قطع آبیاری براساس مرحله رشدی رقم مورد نظر صورت گرفت. جهت اعمال مناسب قطع آبیاری مراحل گلدهی و خورجین دهی در هنگام بارندگی از شلتر و نایلون استفاده گردید.

در این پژوهش جهت سنجش سطح برگ ابتدا برگ‌ها بر روی یک صفحه سفید کنار هم چیده شد و سپس به صورت عمودی از برگ‌ها عکس برداری شد و تصویر حاصل به نرم افزار Digimizer نسخه ۲.۷.۵ منتقل گردید و سطح برگ محاسبه شد. به منظور محاسبه شاخص‌های رشد، نمونه برداری از ۳۰ روز پس از کاشت و به فاصله ۱۴ روز یک بار انجام گرفت. در هر بار نمونه برداری از هر کرت پس از حذف حاشیه، سه بوته به طور تصادفی برداشت و وزن خشک بعد از قرار گرفتن نمونه‌ها در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد و به مدت ۴۸ ساعت وزن خشک اندازه گیری شد. محاسبه آنالیزهای رشدی به شکل جدول (۳) می‌باشد.

با داشتن شاخص سطح برگ و مقدار نور اندازه گیری شده در بالا و کف کانوپی، ضریب استهلاک نوری با رگرسیون گیری از لگاریتم طبیعی مقدار نور عبور کرده ( $I_i/I_0$ ) در مقابل شاخص سطح برگ به دست آمد.

$$I_i/I_0 = e^{-k \times LAI}$$

$I_i$  = نور خورشید در قسمت پایین سایه‌انداز (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)

$I_0$  = نور خورشید در قسمت بالای سایه‌انداز (میکرومول بر متر مربع در ثانیه)

$$e = \text{پایه لگاریتم طبیعی برابر } 2.71828$$

$$K = \text{ضریب استهلاک نوری}$$

اندازه گیری شد.

$$LAI = \text{شاخص سطح برگ}$$

تنوع آن را در ژرم پلاسما موجود تعیین کند. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مراحل قطع آبیاری بر جذب، کارایی مصرف نور و عملکرد ارقام کلزا اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان انجام شد. این منطقه در مختصات جغرافیایی با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و با ۲۲ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد.

در این تحقیق تأثیر سه عامل قطع آبیاری، ارقام و تراکم به صورت اسپلیت فاکتوریل با طرح پایه بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. عامل آبیاری (بدون اعمال قطع آبیاری (شاهد)، قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین-دهی و قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت) به عنوان عامل اصلی، ارقام کلزا هایولا ۴۸۱۵ و آرام و تراکم بوته در متر مربع (۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع) به صورت فاکتوریل به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند. ارقام مورد بررسی در این پژوهش از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شد. عملیات کاشت در تاریخ ۳۰ آبانماه صورت گرفت. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم مورد نظر، پس از استقرار بوته‌ها در مرحله سه الی چهار برگی عملیات تنک انجام شد. قبل از اجرای آزمایش، نمونه برداری از خاک صورت گرفته، خصوصیات خاک و آب و هوای محل اجرای آزمایش در جداول ۱ و ۲ آمده است.

پس از دریافت نتایج، کودهای نیتروژن از منبع (اوره) به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله شامل چهار برگی و اوایل مرحله غنچه‌دهی، و کود فسفر از منبع (سوپرفسفات تریپل) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به صورت پایه اعمال شد. طی فصل رشد نیز به دفعات لازم وجین دستی انجام گردید. هر

**Table 1. Soil properties of research farm**

Depth of soil (cm)	EC dsm <sup>-1</sup>	(N) mgkg <sup>-1</sup>	(P) mgkg <sup>-1</sup>	(K) mgkg <sup>-1</sup>	pH	Soil texture
0-30	3.7	0.02	9.38	214	7.4	Clay Silt

**Table 2. Climate data of experimental were taken from of Ahvaz Metrological data (2021-2022)**

Month	Max temperature (°C)	Min temperature (°C)	Precipitation (mm)	Evaporation (mm)
November	31.3	15.2	8.7	152.7
December	23.7	10.7	44.1	87.8
January	18.2	6.8	65.1	55.3
February	20.6	6.5	13.4	93.6
March	25.1	11.7	4.3	147.4
April	32.5	14.7	0	231.0
May	36.3	20.1	9.8	302.68

**Table 3. Calculation method of growth analysis**

$LAI = LA / GA$	$LAD = 1/2(LA_2 + LA_1) (T_2 - T_1)$
$CGR = (9W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \times (1/GA)$	$RUE = (\Delta TDM) / (\sum PAR)$
$RGR = (\ln W_2 - \ln W_1) / (T_2 - T_1)$	

LAI: (Leaf area index), LA (Leaf area), W1 and W2 dry weight of the plant in the time T1 and T2 and GA (The land area occupied by the plant). CGR (Crop growth rate), PAR (photosynthetic active radiation) and TDM (Total dry matter changes)

شد و برای ترسیم نمودارها از نرم افزار JMP نسخه ۱۶ استفاده گردید و در نهایت داده‌ها بوسیله نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ تجزیه و تحلیل و مقایسه میانگین‌ها براساس آزمون دانکن انجام شد.

### نتایج و بحث

#### شاخص و دوام سطح برگ

تغییرات شاخص سطح برگ برای شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) در اوایل دوره رشد رویشی تقریباً مشابه بود (شکل ۱- A). در تیمار قطع آبیاری از گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و رقم آرام در تراکم ۱۴۰ بوته در متر مربع حداکثر شاخص سطح برگ به مقدار ۴/۵ رسید در حالی که سایر تیمارهای دیگر مربوط به قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی شاخص سطح برگ به میزان ۳ تا ۳/۵ مشاهده شد (شکل ۱- B).

تشعشع فعال فتوسنتزی در زمان بسته شدن کانوپی و با استفاده از دستگاه پارسنج (PAR/LAL) (Ceptometer) مدل (DECAGON DEVICES, INC) ساخت کشور آمریکا در فاصله ساعات ۱۰ تا ۱۲ اندازه‌گیری شد. درصد دریافت تابش فعال فتوسنتزی براساس رابطه‌ی ذیل محاسبه شد (Van derwerf, 1997).

$$PAR \% = (1 - (PAR_b / PAR_a)) * 100$$

PAR<sub>b</sub>، نور فعال فتوسنتزی در پایین تاج پوشش و PAR<sub>a</sub>، نور فعال فتوسنتزی در سطح تاج پوشش می‌باشد.

جهت اندازه‌گیری زیست توده و عملکرد دانه پس از حذف اثرات حاشیه‌ای، بوته‌ها از سطح ۰/۶ متر مربع از مرکز هر کرت برداشت شدند. در نهایت وزن کل زیست توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. برای محاسبه شاخص برداشت نیز از نسبت وزن عملکرد دانه به زیست توده استفاده

کاهش سرعت رشد محصول در مرحله قطع آبیاری خورجین دهی تا برداشت در تیمارهای رقم هایولا ۴۸۱۵ و تراکم ۱۱۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع و رقم آرام و تراکم ۸۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع در ۸۵ روز بعد از استقرار و سبز شدن و در تیمارهای ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع و ژنوتیپ آرام و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع در ۹۰ روز پس از استقرار و سبز شدن حاصل شد.

همچنین در تیمار قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین دهی در تراکم ۸۰ و ۱۱۰ بوته در متر مربع و رقم آرام و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع و رقم هایولا ۴۸۱۵ در ۸۵ روز پس از کاشت، به صورت کاهشی بود در صورتی که در تیمارهای رقم هایولا ۴۸۱۵ و تراکم های ۸۰ و ۱۱۰ بوته در متر مربع و تراکم ۱۴۰ بوته در متر مربع و رقم آرام در ۹۰ روز پس از استقرار و سبز شدن و بعد از رسیدن به حداکثر سرعت رشد محصول، کاهش یافت (شکل ۳- B).

سطح برگ عامل مهمی در کارایی مصرف نور است. با تغییر در سطح برگ، سرعت رشد محصول نیز تغییر می‌یابد. در ابتدای فصل رشد گیاه به دلیل کامل نبودن پوشش گیاهی و کارایی نور مناسب، سرعت رشد محصول پایین بود. در تمامی تیمارها با گذشت زمان سرعت رشد محصول به تدریج افزایشی بود و در مراحل زایشی به حداکثر مقدار رسید و پس از آن روند کاهشی را طی نمود. در صورتی که در مراحل زایشی به علت توسعه بالاتر شاخص سطح برگ (سطح فتوسنتز کننده)، سرعت رشد محصول به حداکثر می‌رسد. در مراحل انتهایی دوره رشد، به دلیل سایه‌اندازی برگ‌های بالایی و پیر شدن و ریزش برگ‌ها سرعت رشد محصول کاهش می‌یابد. با کاهش تراکم بوته در متر مربع شرایط برای استفاده بهینه از عوامل محیطی از جمله میزان جذب نور، فراهم شده که این موضوع سبب افزایش وزن خشک و افزایش CGR شده است. در صورتی که در پژوهش Pourhadian *et al* (2021) افزایش سرعت رشد گیاه در اثر افزایش تراکم بوته گزارش شده است.

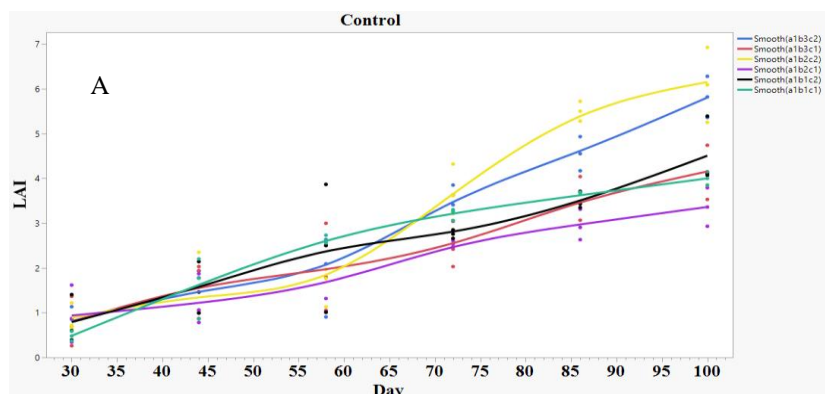
در تیمار قطع آبیاری از خورجین دهی تا برداشت، شاخص سطح برگ رقم هایولا ۴۸۱۵ در تراکم های ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع کمتر از ۳ بود در صورتی که در تیمارهای رقم آرام و تراکم های ۸۰، ۱۱۰ و ۱۴۰ بوته در متر مربع به مقدار ۴ به دست آمد. با افزایش تراکم بوته، با وجود ایجاد رقابت بین بوته‌ای به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح، تعداد برگ در واحد سطح افزایش یافته که منجر به افزایش شاخص سطح برگ گردیده است. همچنین در یافته‌های تحقیقاتی دیگران (Tadaion and Karimzadeh, 2018; Soureshjani, 2019; Fouroghi *et al*, 2019) تنش خشکی باعث کاهش سطح برگ گردید که می‌تواند به دلیل پژمردگی و جمع شدن پهنک در شرایط تنش شدید و در نهایت میزان جذب تشعشع فعال فتوسنتزی باشد.

تغییرات دوام سطح برگ (LAD) روندی مشابه با شاخص سطح برگ (LAI) در طول زمان دارد. بیشترین مقدار دوام سطح برگ در مراحل زایشی و انتهایی فصل رشد در شرایط بدون اعمال قطع آبیاری از تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع و رقم آرام بدست آمد و در هر دو مرحله‌ی اعمال قطع آبیاری انتهایی فصل رشد بیشترین مقدار دوام سطح برگ از تراکم ۸۰ بوته در متر مربع به رقم هایولا ۴۸۱۵ اختصاص یافت (شکل ۲). بنابراین در پژوهش حاضر رقم هایولا ۴۸۱۵ در شرایط قطع آبیاری و تراکم پایین تر از دوام سطح برگ بالاتری نسبت به رقم آرام دارا بود (شکل ۲). همچنین دوام سطح برگ با توجه به نتایج به دست آمده در مراحل زایشی به حداکثر مقدار خود رسید که با یافته‌های تحقیقاتی سایر محققان (Modhej and Fathi, 2008) مطابقت داشت.

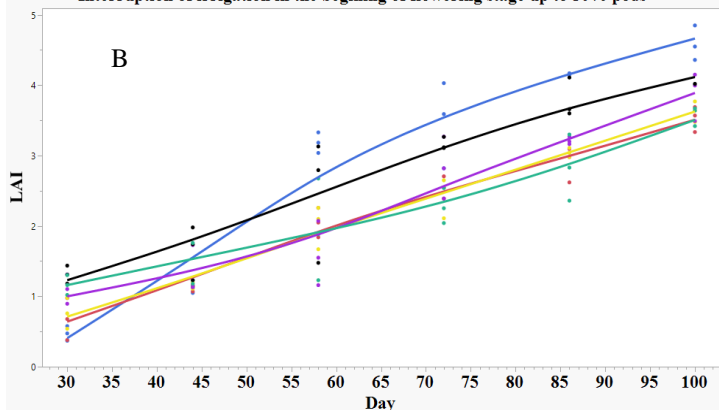
### روند سرعت رشد گیاه (CGR)

سرعت رشد گیاه، میزان تغییرات ماده خشک در واحد سطح و زمان را بیان می‌کند. میزان سرعت رشد محصول در تیمار قطع آبیاری خورجین دهی تا برداشت در ۸۵ روز پس از سبز شدن و در تیمارهای شاهد و قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین دهی در ۹۰ روز پس از سبز شدن حداکثر بود (شکل ۳).

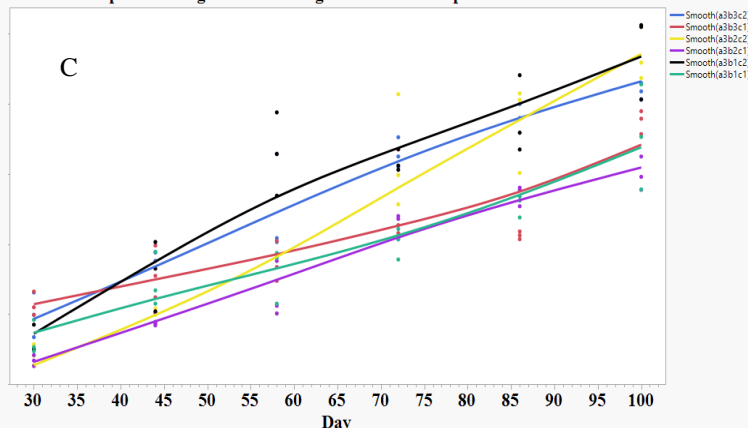
عبوده و همکاران: ارزیابی تغییرات راندمان مصرف نور و...



Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods



Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest



**Figure 1.** The changes of leaf area index (LAI). A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), a<sub>1</sub> (Control), a<sub>2</sub> (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a<sub>3</sub> (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D<sub>1</sub> (Density 80 plants per square meter), D<sub>2</sub> (Density 110 plants m<sup>-2</sup>), D<sub>3</sub> (Density 140 plants m<sup>-2</sup>), C<sub>1</sub> (Hayola 4815), C<sub>2</sub> (Aram)

کاهش یافته است. می‌تواند به دلیل پیری برگ‌ها و افزایش بافت و کربوهیدرات‌های ساختمانی که فعالیتی در فتوسنتز ندارند باشد.

در پژوهش Karimzadeh Soureshjani *et al* (2018) شاخص سرعت رشد نسبی، سرعت رشد را در هر مرحله نسبت به مرحله قبل می‌سنجد. در مطالعه‌ی وی سرعت رشد نسبت به شاخص سطح برگ، در هر مرحله نسبت به مرحله قبل روند کاهشی نشان داد و میزان رشد در هر مرحله متناظر با افزایش شاخص سطح برگ افزایش نیافته است.

### سرعت رشد نسبی (RGR)

نتایج نشان داد روند تغییرات سرعت رشد نسبی در تیمار شاهد (بدون اعمال قطع آبیاری) در اوایل فصل رشد افزایشی، و در هر دو تیمار قطع آبیاری در اوایل و اواسط فصل رشد، افزایشی و در انتهای فصل رشد کاهشی بود (شکل ۴). از نظر سرعت رشد نسبی تیمار قطع آبیاری خورجین دهی تا برداشت تفاوت اندکی بین تیمارهای مورد بررسی، بخصوص در اوایل مرحله رشد داشت. با توجه به اینکه هدف از اندازه‌گیری شاخص سرعت رشد نسبی ارزیابی راندمان تولید است. تغییرات سرعت رشد نسبی بر مبنای روزهای پس از کاشت در ترکیبات تیماری، سرعت رشد نسبی با افزایش سن گیاه



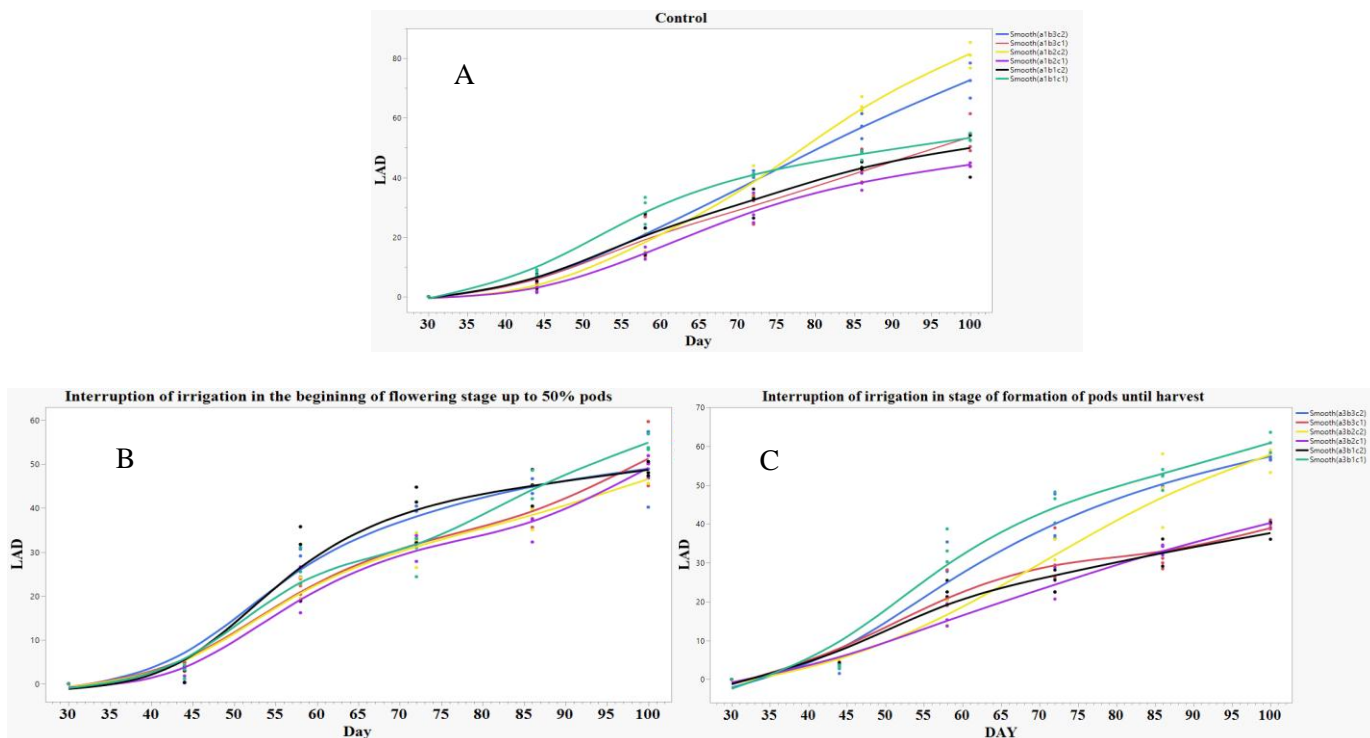


Figure 2. The trend of Leaf area duration (LAD) changes. A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest). a1 (Control), a2(Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a3 (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D1 (Density 80 plants per squarc meter), D2 (Density 110 plants per squarc meter), D3 (Density 140 plants

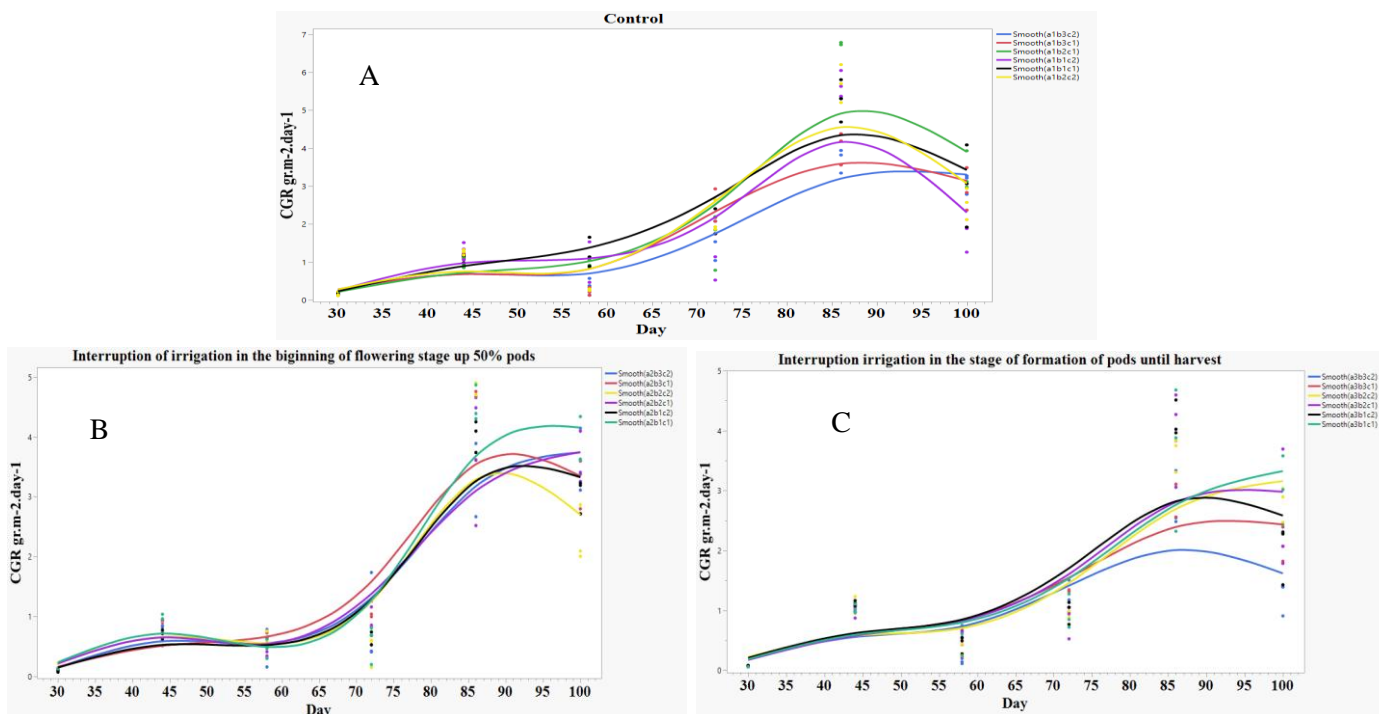


Figure 3. The trend of crop growth rate (CGR) changes. A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest). a1 (Control), a 2(Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a3 (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D1 (Density 80 plants per squarc meter), D2 (Density 110 plants per squarc meter), D3 (Density 140 plants per squarc meter), C1(Hayola 4815), C2 (Aram)

میزان سرعت اسیمیلایون خالص و سرعت رشد محصول و در نهایت تجمع ماده خشک اثر گذار است. افزایش سریع سطح برگ و رسیدن به شاخص سطح برگ بحرانی باعث می شود سرعت فتوسنتز و رشد محصول به حداکثر برسد. وجود تعداد کافی برگ، جهت به حداکثر رسیدن سرعت رشد محصول الزامی است تا بیشترین میزان تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شود. سرعت رشد محصول در اثر بالا بودن شاخص سطح برگ تا حدی افزایش می یابد که میزان نوری که برای فتوسنتز به برگ های پایینی گیاه می رسد برای جبران تنفس کافی باشد که این عکس العمل در تجمع ماده خشک کل نمایان می شود (Chimenti *et al.*, 2002). همچنین در پژوهش (Ren *et al* 2016) کاهش ماده خشک در شرایط قطع آبیاری را به کاهش و ریزش سطح برگ و به دنبال آن کاهش دریافت نور گزارش کرده است.

### تجمع ماده خشک (TDM)

روند تجمع ماده خشک کلزا در بین تمامی تیمارهای قطع آبیاری، تراکم بوته و رقم دارای الگوی سیگموئیدی بود (شکل ۴). در این پژوهش منحنی تجمع ماده خشک تیمار هایولا ۴۸۱۵ و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در تیمار شاهد و قطع آبیاری از شیب تندتری نسبت به سایر تیمارها برخوردار بود که بیانگر قابلیت تجمع ماده خشک بیشتر در طی زمان در این رقم است که منجر به عملکرد ماده خشک بیشتر این رقم شده است (شکل ۴). به طور کلی اثرات قطع آبیاری بر وزن خشک مشهود بود و تجمع ماده خشک در طول زمان افزایشی بود. همان طور که در نتایج مشخص است رقم هایولا ۴۸۱۵ و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع از سرعت رشد محصول بالایی (شکل ۳-B) برخوردار بود و همین عامل باعث وزن خشک بیشتر در این رقم شده است. شاخص سطح برگ بر

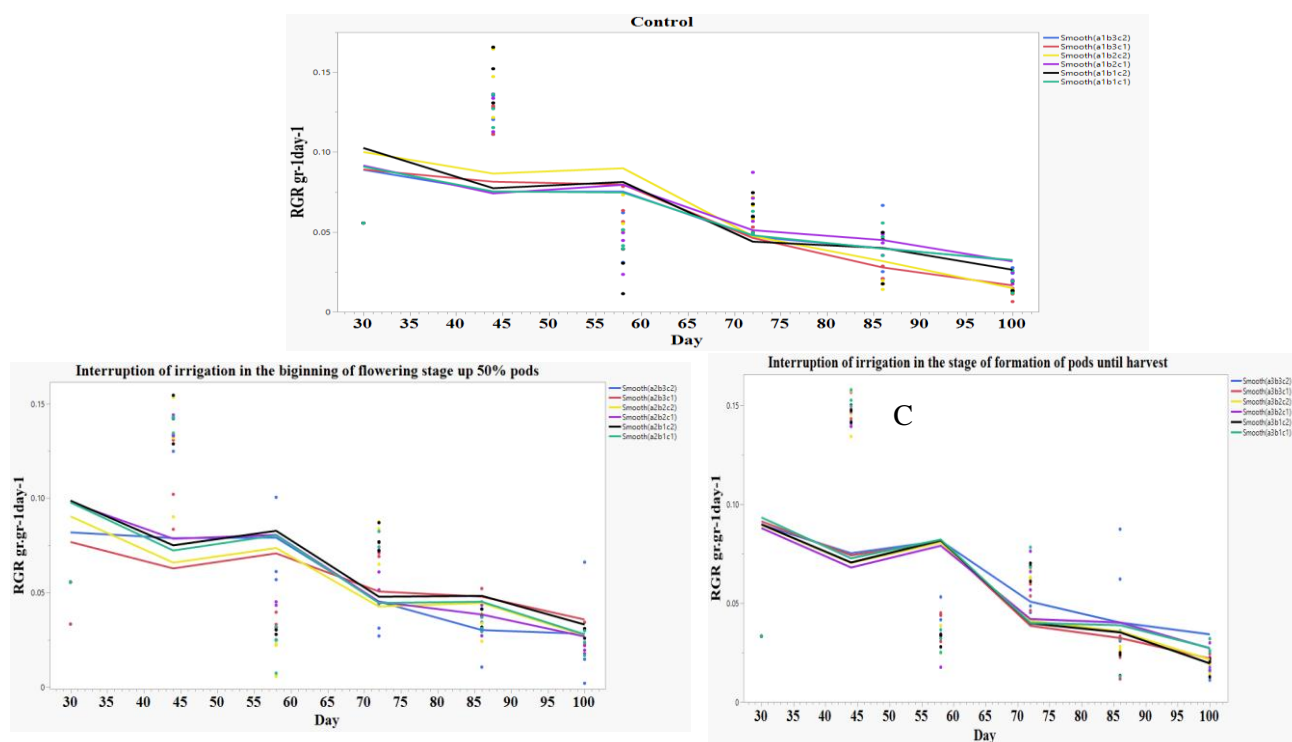
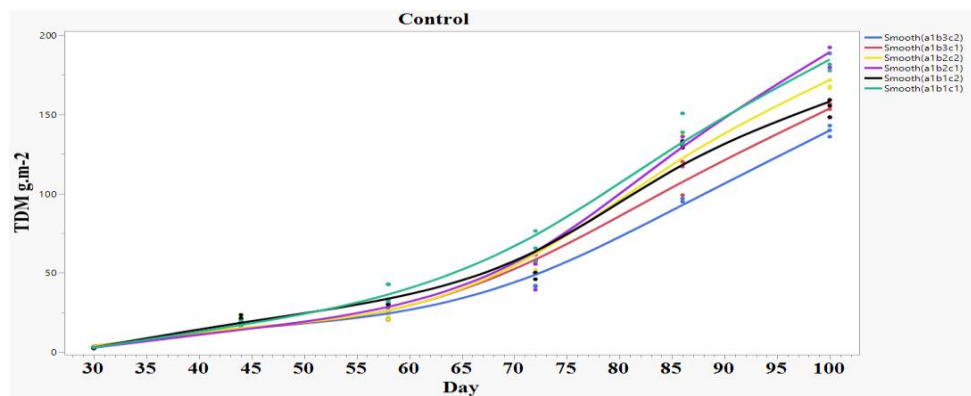
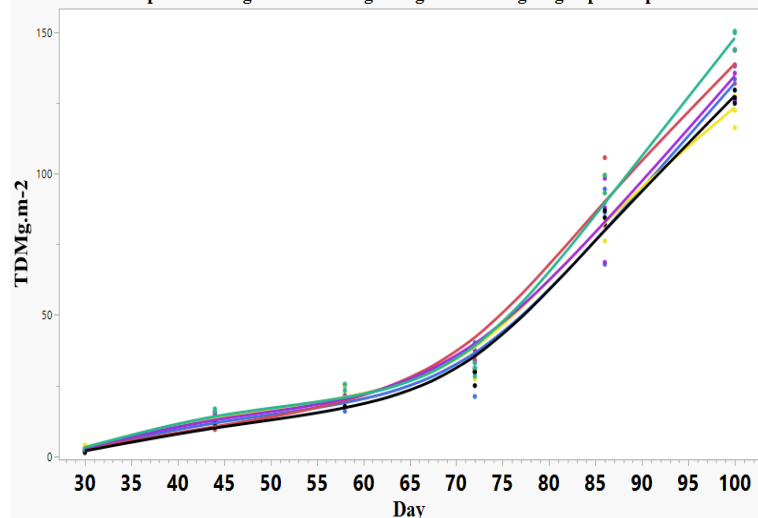


Figure 4. The trend of relative crop rate changes. A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest). a1 (Control), a2 (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a3 (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D1 (Density 80 plants per square meter), D2 (Density 110 plants per square meter), D3 (Density 140 plants per square meter), C1 (Hayola 4815), C2 (Aram)



Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up 50% pods



Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest

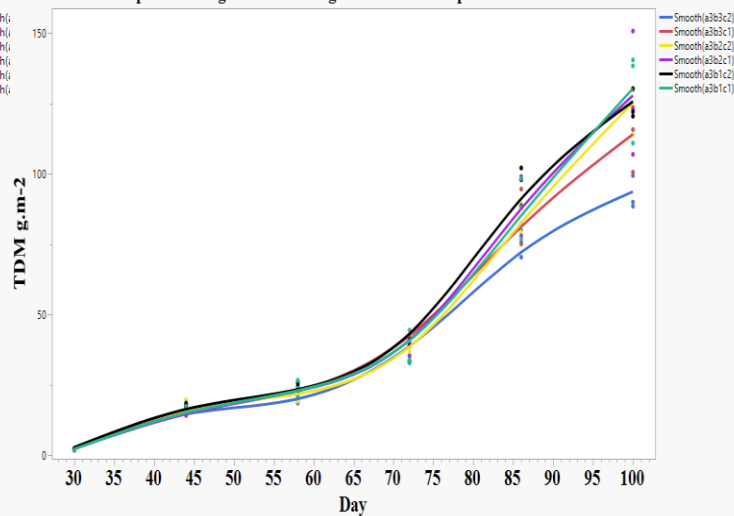


Figure 4. The trend of total dry matter changes (TDM). A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest). a1 (Control), a2 (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a3 (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D1 (Density 80 plants per square meter), D2 (Density 110 plants per square meter), D3 (Density 140 plants per square meter), C1(Hayola 4815), C2 (Aram)

تراکم ۸۰ بوته در متر مربع اختصاص یافت (جدول ۴). سایه‌انداز مطلوب منجر به جذب نور بیشتر در داخل سایه‌انداز می‌شود (Ghafari and Tadayon, 2019). تشعشع فعال فتوسنتزی دریافتی تجمعی توسط سایه‌انداز طی دوره چهارده روزه بین ۷۲ تا ۸۶ روز بعد از کاشت ( $PAR_{86}$ ) و همچنین ۸۶ تا ۱۰۰ روز بعد از کاشت ( $PAR_{100}$ ) تحت اثر متقابل معنی‌دار هر سه فاکتور آزمایشی قرار گرفت. بر این اساس بیشترین  $PAR_{86}$  در رقم آرام و تراکم بوته ۱۱۰ بوته در متر مربع از سطح آبیاری شاهد (بدون اعمال قطع آبیاری)، و بیشترین  $PAR_{100}$  نیز در شرایط قطع آبیاری مرحله سوم و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع از رقم آرام مشاهده شد که

### استهلاک نوری، دریافت تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR) و کار آبی مصرف نور (RUE)

براساس نتایج پژوهش، در تیمار آبیاری نرمال، کمترین استهلاک نوری از رقم آرام و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شد که با رقم هایولا ۴۸۱۵ در تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع در یک سطح آماری قرار داشتند. در قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت نیز کمترین استهلاک نوری، از تراکم ۸۰ بوته در متر مربع و رقم هایولا ۴۸۱۵ بدست آمد (جدول ۴). در مرحله‌ی قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت نیز کمترین استهلاک نوری به ژنوتیپ هایولا ۴۸۱۵ و

گیاهان سه کربنه می‌شود، هر تیماری که بتواند مقادیر RUE بالاتری داشته باشد عملکرد دانه بالاتری نیز خواهد داشت. چنانچه محققان گزارش کرده‌اند که فتوسنتز بعد از گل‌دهی در کلزا بیش از ۹۰ درصد ماده خشک دانه‌ها را تولید می‌کند. کاهش RUE بعد از گل‌دهی کلزا معمولاً به دو دلیل روی می‌دهد. اول این که ماده خشک دانه کلزا در این مرحله شامل مقادیر قابل توجهی روغن و پروتئین است که نیاز به جذب و متابولیسم انرژی بیشتری در مقایسه با کربوهیدرات‌هاست. دلیل دوم آن است که در مراحل بعد از گل‌دهی با کاهش سطح برگ‌ها، نقش خورجین‌ها در جذب نور و فتوسنتز اهمیت بیشتری می‌یابد و در اواخر مرحله گل‌دهی، مبدأ اصلی فتوسنتزی گیاه است که به دلیل هدایت روزنه‌ای کمتر، غلظت کلروفیل و تعداد کلروپلاست کمتر در هر واحد سطح خورجین، مقادیر RUE به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد (Fathi *et al.*, 2010). به نظر می‌رسد تیمار قطع آبیاری مرحله دوم تراکم ۸۰ بوته در متر مربع و رقم هایولا ۴۸۱۵ با حفظ سطح سبز بیشتر از طریق دوام سطح برگ بیشتر و استهلاک نوری پایین‌تر، توانست RUE<sub>100</sub> بالاتری در مقایسه با سایر تیمارها به خود اختصاص دهد. این موضوع با عملکرد دانه بالاتر در این تیمار نیز تأیید می‌شود (جدول ۳).

با قطع آبیاری مرحله دوم و تراکم ۱۴۰ بوته در متر مربع و رقم آرام در یک سطح آماری قرار داشتند (جدول ۴). این موضوع نشان می‌دهد که طی دوره چهارده روزه قبل گل‌دهی و چهارده روز بعد از گل‌دهی روند دریافت PAR توسط سایه‌انداز تقریباً مشابه و همچنین در یک سطح بوده است. این موضوع می‌تواند ناشی از به حداکثر رسیدن سطح سبز در هر دو مرحله رشد گیاه بوده باشد. چنانچه بعد از گل‌دهی نیز سطح سبز برگ‌ها و همچنین سطح دیواره خارجی خورجین‌های در حال رشد به عنوان مبادی فتوسنتزی می‌توانند دریافت PAR را به حداکثر برسانند (Fathi *et al.*, 2010).

اثر فاکتورهای آزمایشی بر کارآیی مصرف نور طی ۱۴ روز بین ۷۲ تا ۸۶ روز بعد از کاشت (RUE<sub>86</sub>) و همچنین ۸۶ تا ۱۰۰ روز بعد از کاشت (RUE<sub>100</sub>) معنی‌دار بود. بیشترین RUE<sub>86</sub> (۱/۵۴۴) گرم ماده خشک بر مگاژول) در تیمار شاهد (بدون اعمال قطع آبیاری) و تراکم ۱۱۰ بوته در متر مربع از رقم هایولا ۴۸۱۵، و همچنین بیشترین RUE<sub>100</sub> (۰/۸۵۸) گرم ماده خشک بر مگاژول) در تیمار قطع آبیاری مرحله‌ی دوم و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع از رقم هایولا ۴۸۱۵ بدست آمد.

بر این اساس RUE با روندی نسبتاً مشابه و البته در مقادیر کمتری مشاهده شد (جدول ۴ و شکل ۵). با توجه به کاهش RUE به کمتر از ۱ گرم ماده خشک بر مگاژول در مرحله بعد از گل‌دهی که سبب کمتر شدن مقادیر این شاخص در مقایسه با مقادیر معمول سایر

**Table 4. Three fold interaction effect of Irrigation of irrigation × Density × Genotype treatments on the studied traits**

Interruption of irrigation	Density	Genotype	PAR <sub>86</sub> (mj.m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	PAR <sub>100</sub> (mj.m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup> )	RUE <sub>86</sub> (g.mj <sup>-1</sup> )	RUE <sub>100</sub> (g.mj <sup>-1</sup> )	Extinction coefficient	Grain Yield (kg.ha <sup>-1</sup> )	Harvest Index (%)
Without interruption of irrigation	80	Hayola 4815	11.32 <sup>ef</sup>	12.76 <sup>ef</sup>	1.312 <sup>ab</sup>	0.664 <sup>abcd</sup>	0.528 <sup>efg</sup>	1251.21 <sup>b</sup>	16.86 <sup>cdefg</sup>
	80	Aram	12.31 <sup>cde</sup>	12.99 <sup>cdef</sup>	1.291 <sup>ab</sup>	0.364 <sup>fg</sup>	0.476 <sup>fg</sup>	1482.69 <sup>a</sup>	23.36 <sup>a</sup>
	110	Hayola 4815	11.42 <sup>ef</sup>	12.73 <sup>efg</sup>	1.544 <sup>a</sup>	0.734 <sup>ab</sup>	0.482 <sup>fg</sup>	1572.67 <sup>a</sup>	18.20 <sup>cdef</sup>
	110	Aram	14.03 <sup>a</sup>	13.95 <sup>ab</sup>	1.137 <sup>bcd</sup>	0.510 <sup>cdef</sup>	0.556 <sup>cdefg</sup>	1460.63 <sup>a</sup>	22.26 <sup>ab</sup>
	140	Hayola 4815	12.38 <sup>cde</sup>	13.13 <sup>bcde</sup>	0.912 <sup>de</sup>	0.622 <sup>bcde</sup>	0.545 <sup>defg</sup>	934.82 <sup>cde</sup>	17.26 <sup>cdefg</sup>
	140	Aram	13.77 <sup>ab</sup>	13.70 <sup>abcd</sup>	0.752 <sup>ef</sup>	0.631 <sup>bcde</sup>	0.565 <sup>cdefg</sup>	770.39 <sup>ef</sup>	12.50 <sup>hi</sup>
Irrigation of irrigation in the beginning of flowering stage	80	Hayola 4815	10.40 <sup>fg</sup>	12.57 <sup>fg</sup>	1.217 <sup>bc</sup>	0.858 <sup>a</sup>	0.596 <sup>cdef</sup>	1112.59 <sup>bc</sup>	16.91 <sup>cdefg</sup>
	80	Aram	12.05 <sup>cde</sup>	13.64 <sup>abcd</sup>	0.948 <sup>cde</sup>	0.625 <sup>bcde</sup>	0.687 <sup>bc</sup>	877.03 <sup>de</sup>	13.89 <sup>ghi</sup>
	110	Hayola 4815	12.61 <sup>bcde</sup>	12.86 <sup>def</sup>	0.783 <sup>ef</sup>	0.782 <sup>ab</sup>	0.610 <sup>bcdef</sup>	1216.79 <sup>b</sup>	18.71 <sup>cde</sup>
	110	Aram	12.18 <sup>cde</sup>	13.74 <sup>abc</sup>	0.952 <sup>cde</sup>	0.472 <sup>def</sup>	0.665 <sup>bcde</sup>	633.17 <sup>f</sup>	11.25 <sup>h</sup>
	140	Hayola 4815	12.22 <sup>cde</sup>	12.90 <sup>cdef</sup>	0.994 <sup>cde</sup>	0.661 <sup>abcd</sup>	0.680 <sup>bcd</sup>	759.42 <sup>ef</sup>	12.71 <sup>hi</sup>
	140	Aram	13.27 <sup>abcd</sup>	14.08 <sup>a</sup>	0.781 <sup>e</sup>	0.705 <sup>abc</sup>	0.744 <sup>b</sup>	887.33 <sup>de</sup>	16.11 <sup>defgh</sup>
Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest	80	Hayola 4815	9.98 <sup>g</sup>	11.90 <sup>g</sup>	1.043 <sup>bcde</sup>	0.708 <sup>abc</sup>	0.449 <sup>g</sup>	1208.21 <sup>b</sup>	20.16 <sup>abc</sup>
	80	Aram	11.94 <sup>de</sup>	14.23 <sup>a</sup>	0.994 <sup>cde</sup>	0.394 <sup>fg</sup>	1.054 <sup>a</sup>	779.99 <sup>ef</sup>	14.84 <sup>fgh</sup>
	110	Hayola 4815	11.43 <sup>ef</sup>	11.90 <sup>g</sup>	0.970 <sup>cde</sup>	0.595 <sup>bcde</sup>	0.642 <sup>bcde</sup>	924.72 <sup>cde</sup>	19.31 <sup>bcd</sup>
	110	Aram	12.38 <sup>cde</sup>	12.92 <sup>cdef</sup>	0.827 <sup>ef</sup>	0.608 <sup>bcde</sup>	0.639 <sup>bcde</sup>	896.01 <sup>de</sup>	15.43 <sup>efgh</sup>
	140	Hayola 4815	11.51 <sup>ef</sup>	12.92 <sup>cdef</sup>	0.777 <sup>e</sup>	0.452 <sup>efg</sup>	0.586 <sup>cdef</sup>	1062.24 <sup>bcd</sup>	18.11 <sup>cdef</sup>
	140	Aram	13.34 <sup>abc</sup>	13.49 <sup>abcde</sup>	0.588 <sup>f</sup>	0.255 <sup>g</sup>	0.639 <sup>bcde</sup>	661.87 <sup>f</sup>	12.34 <sup>hi</sup>

Mean followed by the same letters in each column are not significantly different according to Duncans Multiple Range test (p 0.05).

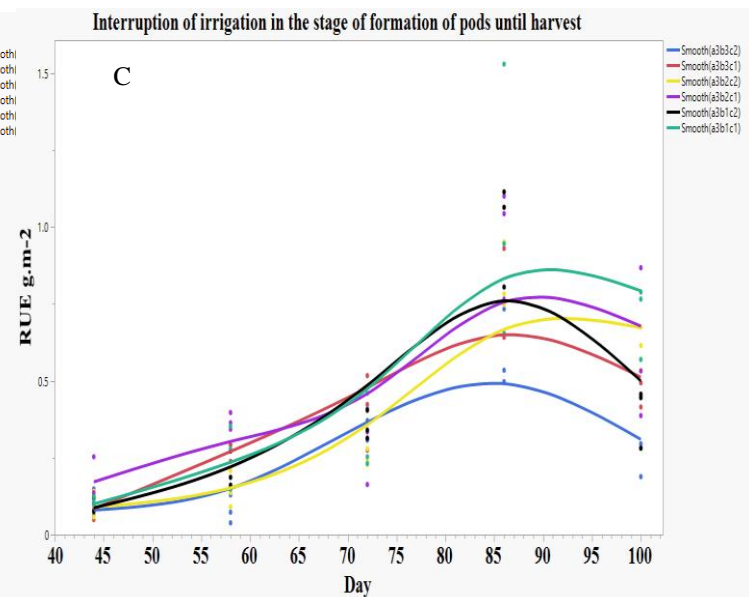
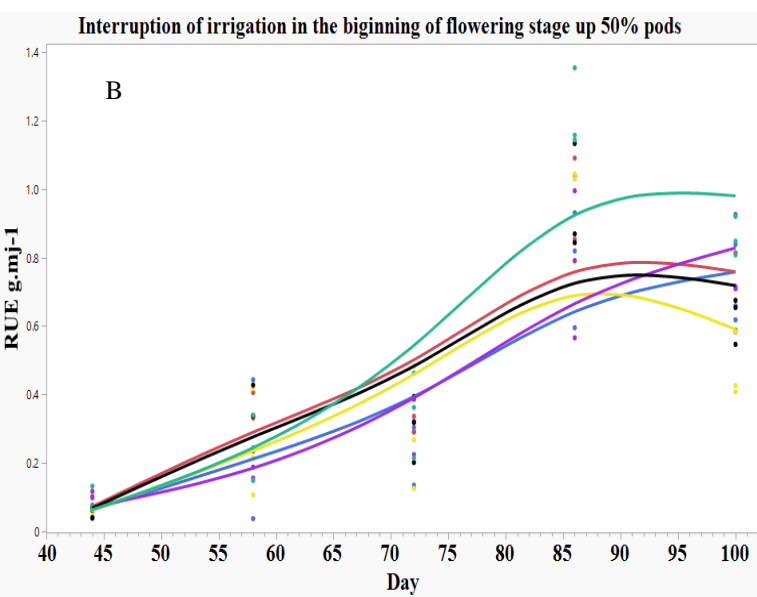
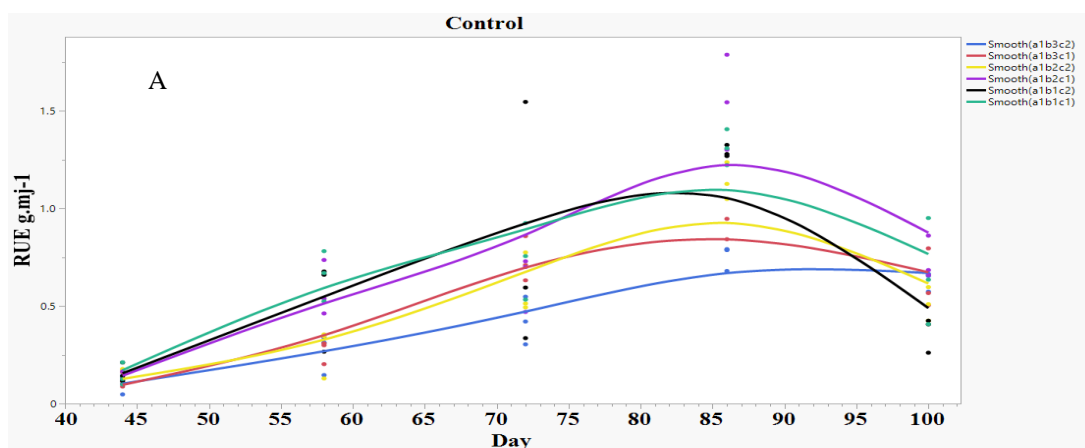


Figure 5. The trend of radiation use efficiency changes (RUE). A: (Control), B: (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), C: (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest). a1 (Control), a2 (Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage up to 50% pods), a3 (Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest), D1 (Density 80 plants per square meter), D2 (Density 110 plants per square meter), D3 (Density 140 plants per square meter), C1(Hayola 4815), C2 (Aram)

متر مربع اختصاص یافت (جدول ۴). رقم هایولا ۴۸۱۵ به سبب داشتن بالاترین جذب تشعشع فتوسنتزی، پایین بودن استهلاك نوری و شاخص برداشت بالاتر از عملکرد دانه بالاتری برخوردار بود. این موضوع نشان می‌دهد که شاخص برداشت به شکل مطلوبی می‌تواند به عنوان معیاری مناسب برای ارزیابی عملکرد دانه مورد استفاده واقع گردد. در پژوهش *Alizadeh et al.* (2021) که بر روی ارقام کلزا صورت گرفت بیشترین مقدار عملکرد دانه نیز مربوط به رقم هایولا ۴۰۱ با تراکم ۸۸ بوته در متر مربع حاصل شد.

### شاخص برداشت و عملکرد دانه

بیشترین شاخص برداشت در تیمار شاهد (بدون قطع آبیاری) از رقم آرام و تراکم ۸۰ بوته در متر مربع حاصل شد و در هر دو مرحله قطع آبیاری انتهای فصل رشد و تراکم ۸۰ بوته در مترمربع، رقم هایولا ۴۸۱۵ بالاترین مقدار شاخص برداشت مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین کاهش میانگین عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری مربوط به رقم آرام و تراکم ۱۴۰ بوته در متر مربع و کمترین کاهش عملکرد دانه در شرایط اعمال قطع آبیاری به رقم هایولا ۴۸۱۵ و تراکم ۸۰ و ۱۱۰ بوته در

ضریب استهلاک نوری پایین تری در شرایط قطع آبیاری انتهایی فصل رشد برخوردار بود. بنابراین سبب افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه رقم ذکر شده گردید.

### سپاس گذاری

بدین وسیله نویسندگان قدردانی خود را از معاونت آموزشی، تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، جهت فراهم آوردن امکانات پژوهشی برای انجام این تحقیق ابراز می‌دارند.

### نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که قطع آبیاری باعث کاهش شاخص‌های رشدی از جمله میزان تجمع ماده خشک گیاه، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ گردید. از آنجایی که ساختار سایه‌انداز مطلوب می‌تواند منجر به جذب درصد نور بیشتر و در نتیجه دسترسی نور بیشتر در داخل سایه‌انداز گردد. در این پژوهش رقم هایولا ۴۸۱۵ در تراکم پایین تر به سبب شاخص سطح برگ مناسب تر و کمتر بودن سایه‌اندازی برگ‌های بالایی بر روی برگ‌های پایین تر گیاه و به سبب داشتن دوام سطح برگ بالاتر، از کارایی مصرف نور بالاتر و

### References

- Abuzar, M. R., Sadozai, G. U., Baloch, M., SBaloch, A. A., Shah, I. H., Javaid, T. & Hussain, N. (2011). Effect of plant population densities on yield of maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21: 692-695.
- Ahmadi, M., Mondani, F., Khorramivafa, M., Mohammadi, G. & Shirkhani, A. (2018). Evaluation of Nitrogen Uptake and Productivity of Maize Cultivars (*Zea mays* L.) under Kermanshah Climate Conditions. *Journal of Agroecology*, 10: 234-247. [In Persian].
- Alizadeh, F., Abbasi, R. & Torabi, B. (2021). Investigating the effect of plant density on the yield and some growth indicators of four varieties of rapeseed (*Brassica napus* L.) in the climatic conditions of Mazandaran. *Crop production journal*, 14(3), 107-124. [In Persian]
- Chimenti, C.A., Pearson, J. & Hall, A. J. (2002). Osmotic adjustment and yield maintenance under drought in sunflower. *Field Crop Research*, 75, 235-246.
- Dehghanzadeh, H. (2019). Evaluation of the evaluation of the physiological indices of grain yield and yield of three wheat cultivars under drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12, 366-375. [In Persian]
- Dwyer, L., Stewart, R., Hamilton, I. & Honwing, L. (1992). Ear position and vertical distribution of leaf area in corn. *Agronomy Journal*, 84: 430-438.
- Fouroghi, A., Biabani, A., Rahemi karizaki, A. & Rasam, Gh. (2019). Evaluation of adaptation of different varieties of canola (*Brassica napus* L.) under the climatic conditions of Shirvan. *Journal Crop productions*, 12, (2), 33-56.
- Ghafari, H. & Tadayon, M. R. (2019). Impact of Jasmonic Acid on Radiation Use Efficiency and Dry Biomasses of Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.) under Water Deficit Conditions. *Journal of Plant Productions* (Scientific Journal of Agriculture), 14(4): 111-124.
- Fathi, Gh., Moradi Telavat, M. R. & Naderi Arefi, A. (2010). Rapeseed Physiology. Publications of Shahid Chamran University.
- Kamaei, H., Eisvand, H. R., Daneshvar, M. & Nazarian-Firouzabadi, F. (2019). Effect of Potassium and Zinc Foliar Application on Growth Physiological Indices, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Yield of Two Bread Wheat Cultivars under Late Planting Date. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(3), 441-455. [In Persian]

- Kamaei, H., Fathi, Gh., Abdali Mashhadi, A. R., Porreza., J. & Gharineh, M. H. (2016). Estimated Extinction Coefficient, Radiation Use Efficiency and Dry Matter Distribution Coefficients Cultivar Hyola 401 of Canola in Ahvaz. *Plant Productions*, 39 (1): 21-34. [In Persian]
- Karimzadeh Soureshjani, H., Nezami, A., Kafi, M. & Tadayon, M. R. (2018). Evaluation of the RUE and Growth Indices of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes Deficit Irrigation Condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 16(3), 525-540. [In Persian]
- Kiniry, J. R., Jones, C. A., Toole, J. C. O., Blanchet, R., Cabelguenne, M. & Spanel. D. A. (1989). Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. *Field Crops Research*, 20, 51-64.
- Koocheki, A., Zand, E., Bannayan, M., Rezavani Moghadam, P., Mahdavi Damghani, A. Jami Al-Ahmadi, M. & Vesal, R.S. (2008). *Plant Physiological Ecology* (translation). Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.
- Major, D. J. & Otegu, B.W. (1996). Leaf area light interception and development in maize radiation use efficiency. *Agronomy Journal*, 83, 37-40.
- Marcelis, L. F. M., Heuvelink, E. & Goudriaan. J. (1998). Modelling biomass production and yield of horticultural crops: A review. *Scientia Horticulturae*, 74, 83-111.
- Modhej, A. & Fathi, Gh. (2008). *Wheat physiology*. Islamic Azad University Publication (Shushtar branch). Pp. 317.
- Morrison, J. M. & Stewart, D. W. (1995). Radiation use Efficiency in summer Rape. *Agronomy Journal*, 87: 1139-1142.
- Nouriani, H. (2020). Evaluation of some eco-physiological characteristics of corn 704 C.S. in intercropping with mung bean. *Scientific Research Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 30 (4), 45-58. [In Persian]
- Pourhadian, H., Hadavand, N. & Kazem Aslani, H. (2021). Effect of Row Spacing and Plant Density on Growth Indices and Yield of Red Bean in Azna Climatic Conditions in Lorestan Province of Iran. *Journal of Crop Production and Processing*, 12 (2), 77-90. [In Persian]
- Ren, D., Xu, X., Hao, Y. & Huang, G. (2016). Modeling and assessing field irrigation water use in a canal system of Hetao, upper Yellow River basin: Application to maize, sunflower and Watermelon. *Journal of Hydrology*, 532, 122-139.
- Tadaion, M. R. & Karimzade Sureshjani, H. A. (2019). The effect of zeolite on growth and physiological parameters of millet (*Panicum miliaceum* L.). Under irrigation management. *Environmental Stresses in CropSciences*, 12(2), 415-427. [In Persian]
- Van der Werf, H. M. G. (1997). The effect of plant density on light interception in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association*, 4, 8-13.
- Zhang, L., Vander, W., Werf, L., Bastiaans, S., Zhang, B. & Spiertz, J. H. (2008). Light interception and utilization in relay intercrops of wheat and cotton. *Field Crops Research*, 107, 29-42.