

به‌زراعی کشاورزی

دوره ۲۴ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۱

صفحه‌های ۱۷۱-۱۵۹

DOI: 10.22059/jci.2022.326748.2579

مقاله پژوهشی:

بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا با استفاده از فراتحلیل

امید لطفی فر^{۱*}، سمانه متقی^۱

۱. استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۸

چکیده

هدف از این پژوهش استفاده از متآنالیز جهت ترکیب نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در ایران در مورد اثر تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو، بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا بود. ویژگی‌های موردبررسی شامل عملکرد دانه، روغن و ماده خشک، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه و میزان روغن دانه بودند. نتایج نشان داد که تمامی ویژگی‌ها تحت تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف نمو قرار گرفتند. قطع آبیاری در مراحل مختلف به‌صورت میانگین سبب کاهش ۳۴/۵ درصدی عملکرد دانه، ۳۶ درصدی عملکرد روغن، ۴/۷ درصدی میزان روغن، ۲۵/۸ درصدی ماده خشک، ۳۵/۴ درصدی تعداد خورجین، ۱۸/۵ درصدی تعداد دانه در خورجین و ۱۷/۵ درصدی وزن هزاردانه و افزایش ۴۹/۹ درصدی میزان پرولین شد. بالاترین میزان کاهش در عملکرد دانه و روغن در تیمار قطع آبیاری از ساقه‌دهی مشاهده شد که به‌ترتیب منجر به کاهش ۴۱ و ۴۶ درصدی این دو ویژگی شد. همچنین در مورد اجزاء عملکرد بالاترین میزان کاهش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه به‌ترتیب از تیمارهای قطع آبیاری از ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی مشاهده شد.

کلیدواژه‌ها: پرولین، تنش خشکی، عملکرد دانه، فراتحلیل، کلزا.

Investigation of the Effect of Irrigation Interruption at Different Stages of Development on Yield and Yield Components of Rapeseed Using Meta-Analysis

Omid Lotfifar^{1*}, Samaneh Mottaghi¹

1. Assistant Professor, Agriculture Faculty, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Received: August 30, 2021

Accepted: September 19, 2021

Abstract

The purpose of this study is to use meta-analysis to combine the results of experiments conducted in Iran on the effect of drought stress due to irrigation cessation at different stages of development, on yield and yield components of canola. The studied traits include grain yield, oil and dry matter, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000-seed weight, and grain oil content. Results show that all traits under the influence of stress at different stages of development are significantly affected by drought stress. Irrigation interruption in different stages on average cuts grain yield by 34.5%, oil yield by 36%, oil content by 4.7%, dry matter by 25.8%, number of pods by 35.4%, seeds per pod ratio by 18.5%, and 1000-seed weight by 17.5%, while raising the proline content by 49.9%. The highest reduction rate in grain and oil yield belongs to the irrigation cut-off treatment, in turn leading to a reduction of 41% and 46% of these two traits, respectively. Also, regarding the yield components, the highest reduction in the number of pods per plant, number of seeds per pod, and 1000-seed weight is observed in the cut-off treatments of stem, flowering, and podding, respectively.

Keywords: Drought stress, meta-analysis, proline, rapeseed, seed yield.

۱. مقدمه

بخش عمده روغن خوراکی مصرفی کشور از منابع خارجی تأمین می‌شود (Pasban-Eslam & Omid, 2019) که ضرورت توجه به تولید این ماده غذایی پراهمیت را با تکیه بر گیاهان بومی و سازگار به شرایط ایران را بیش از پیش نشان می‌دهد. کلزا از مهم‌ترین گیاهان زراعی است که با هدف تولید روغن خوراکی کشت می‌شود و بعد از نخل روغنی و سویا رتبه سوم بالاترین تولید روغن خوراکی را دارد (Anonymous, 2018). پایین‌بودن درصد اسیدهای چرب اشباع نسبت به روغن‌های گیاهان دیگر (Scarath & Tang, 2006)، هم‌چنین بازدهی مصرف آب بالا، تحمل به خشکی و تحمل متوسط به شوری (Albarrak, 2006) سبب شده تا جایگاه ویژه‌ای برای کلزا به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نظر گرفته شود.

در بین عوامل بازدارنده محیطی مؤثر بر نمو گیاهان، خشکی مهم‌ترین عامل کاهش عملکرد است (Farooq et al., 2015; Jaberi et al., 2016). باوجود این‌که تنش خشکی در همه مراحل رشد سبب کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه می‌شود، با این‌حال بروز تنش در مراحل رشد زایشی از جمله در مراحل گل‌دهی و ظهور خورجین‌ها سبب کاهش شدیدتر عملکرد می‌شود (Sinaki et al., 2007). قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو گیاه زراعی از جمله روش‌های حذف آبیاری غیرضروری و صرفه‌جویی در مصرف آب است و با این‌حال حذف آبیاری بسته به مرحله وقوع و نوع گیاه می‌تواند با تأثیر بر رشد و اجزای عملکرد منجر به کاهش عملکرد گیاه شوند (Sadeghi Bakhtvari et al., 2019).

به‌طورکلی کمبود رطوبت در دسترس گیاه سبب کوتاه‌شدن طول عمر گیاه، کاهش تولید ماده خشک و عملکرد محصول می‌شود (Nazeri et al., 2019). در اثر

تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری، خورجین‌های نارس کلزا می‌ریزند و هم‌چنین علاوه بر کاهش فتوسنتز جاری، منجر به توقف نقل و انتقال مواد فتوسنتزی از ساقه به دانه شده و در نهایت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Khan et al., 2010). حساس‌ترین مرحله رشد و نمو کلزا نسبت به کمبود آب، مرحله گل‌دهی است. کمبود آب در این مرحله سبب افت شدیدی تعداد گل، تعداد خورجین و تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه شده و از میزان روغن دانه نیز می‌کاهد. تنش خشکی سبب می‌شود که گیاه در شرایط نامطلوب محیطی وارد مرحله گل‌دهی شود و به‌دلیل بالا بودن گرما، همرا با تنش خشکی، تعداد زیادی از گل‌ها عقیم مانده و ریزش اتفاق بیافتد. هم‌چنین به‌خاطر کوتاه‌شدن طول دوره گلدهی و رسیدگی دانه نیز سبب کاهش پتانسیل تولید خورجین و پایین‌آمدن پتانسیل وزن هزاردانه می‌شود (Sepehri & Golparvar, 2011).

خشکی در هر یک از مراحل نمو زایشی سبب کاهش عملکرد می‌شود ولی میزان کاهش بسته به مرحله نموی وقوع تنش متفاوت است و تأثیر منفی تنش در مراحل گل‌دهی، تشکیل و پرشدن دانه شدیدتر می‌باشد (Nazeri et al., 2019). براساس گزارش پژوهش‌گران مختلف کمبود آب خاک در نیمه انتهایی رشد زایشی به حداکثر می‌رسد. کم‌آبی طی دوره گل‌دهی، باعث کاهش طول دوره گل‌دهی، تعداد گل، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه می‌شود (Keerthi et al., 2017). تنش خشکی در مرحله نمو خورجین و تشکیل دانه، توانایی گیاه را برای سازش با تنش خشکی با محدودیت روبه‌رو می‌کند (Sabaghnia et al., 2010).

اسیدآمینو پرولین در سیتوپلاسم ذخیره می‌شود و در شرایط تنش، به‌ویژه تنش خشکی، در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول، نقش مؤثری دارد. این

منتشرشده از مطالعات مربوط به تأثیر تنش قطع آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و میزان پرولین گیاه کلزا در ایران است.

۲. مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده در این آزمایش از مرور کلیه مقاله‌های چاپ شده در نشریات فارسی از سال ۱۳۸۳ تاکنون که از سایت پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) به دست آمده است. کلیه مقاله‌هایی که در آن قطع آبیاری در کلزا مطالعه شده بود جمع‌آوری و اطلاعات آن شامل عملکرد ماده خشک، میزان پرولین، اجزای عملکرد شامل تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه، درصد روغن، عملکرد دانه و روغن از مقالات استخراج شد. میانگین ویژگی‌های یاد شده از مقاله‌هایی که در آن‌ها تیمارهای قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی با شاهد عدم تنش (آبیاری تا آخر فصل رشد) مقایسه شده بود استخراج شد. هم‌چنین تعداد تکرار نیز برای هر میانگین یادداشت شد. از ۱۶۸ مقاله موجود در رابطه با تنش خشکی و رطوبتی در پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی، در ۴۰ مقاله قطع آبیاری در مراحل مختلف مورد آزمایش قرار گرفته بودند (پیوست ۱).

متاآنالیز اثرات هر یک از تیمارها در مطالعات مختلف را با استفاده از مقیاس مشترک میزان اثر، ارزیابی می‌کند. میزان اثر نیز به صورت لگاریتم طبیعی ($\ln R$) نسبت پاسخ و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد (Hedges et al., 1999):

$$\ln R = \ln \left(\frac{\bar{X}_P}{\bar{Y}_C} \right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن \bar{X}_P و \bar{X}_C به ترتیب شامل میانگین هر ویژگی در تیمار تنش و تیمار عدم تنش هستند. هر یک از میانگین‌ها در هر مطالعه با استفاده از تعداد تکرار وزن‌دهی شدند.

$$W_i = n \quad \text{رابطه (۲)}$$

اسیدآمیننه از طریق دو مسیر شامل گلوتامات که آنزیم‌های آن در سیتوپلاسم قرار دارند و اورنیتین که آنزیم‌های آن در میتوکندری واقع هستند ساخته می‌شود (Delaney, 1993). افزایش میزان پرولین در شرایط بروز تنش یکی از شاخص‌های مهم در ایجاد تحمل گیاه نسبت به تنش محسوب می‌شود و این ماده قادر به ایفای نقش حفاظتی برای پروتئین‌ها و آنزیم‌ها در شرایط وقوع تنش است (Vendruscolo et al., 2007; Hatamvand et al., 2014).

اگرچه پژوهش‌های زیادی درباره اثر تنش بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد و اجزای عملکرد کلزا انجام گرفته است و عمده نتایج حاکی از کاهش عملکرد و اجزای عملکرد می‌باشد، اما میزان تأثیر قطع آبیاری در هر مقطع از نمو بر ویژگی‌های مختلف کلزا با مطالعات مختلف با هم متفاوت است که این امر منجر به عدم بیان نظر قطعی در مورد میزان تأثیر تنش خشکی بر این گیاه می‌شود. متاآنالیز می‌تواند با در نظر گرفتن میزان تأثیرگذاری اطلاعات موجود در هر یک از مطالعات، به جمع‌بندی و تفسیر یافته‌ها و اطلاعات بزرگ کمک کند (Gurevitch & Hedges, 1999). به‌طور کلی در مطالعات متاآنالیز، داده‌های حاصل از هر مطالعه با استفاده از شاخصی تحت عنوان اندازه اثر خلاصه و شاخص‌های به‌دست‌آمده از کل مطالعات در محاسبات نهایی استفاده می‌شود. تجزیه آماری اندازه اثرات به‌دست‌آمده می‌تواند پاسخگوی بسیاری از سؤال‌ها باشد (Soltani et al., 2017). به‌عنوان مثال، به‌طور کلی تأثیر تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری چقدر است؟ تأثیر قطع آبیاری در کدام مرحله بیش‌تر است و آیا اطمینان آن با صفر متفاوت است؟ قطع آبیاری در هر مرحله چه تأثیری بر هر یک از اجزای عملکرد دارد؟ و ... برای پاسخ به چنین سؤالاتی، بهترین روش ممکن، روش فراتحلیل است. بنابراین، هدف از این مطالعه انجام یک فراتحلیل برای تجزیه و تحلیل داده‌های

۳. نتایج و بحث

در این پژوهش از بین مقالات موجود در پایگاه SID، تعداد ۴۴ مقاله که درباره اثر قطع آبیاری بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد کلزا مطالعه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. بیشترین و کمترین تعداد مشاهده به ترتیب از عملکرد دانه (با ۱۰۱۶ مشاهده) و غلظت پرولین در مرحله شروع پرشدن دانه (با ۱۷۵ مشاهده) مشاهده شد. در مطالعات انجام شده تنش خشکی قطع آبیاری در یکی از مراحل نمو زایشی شامل قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین دهی اعمال شده بود.

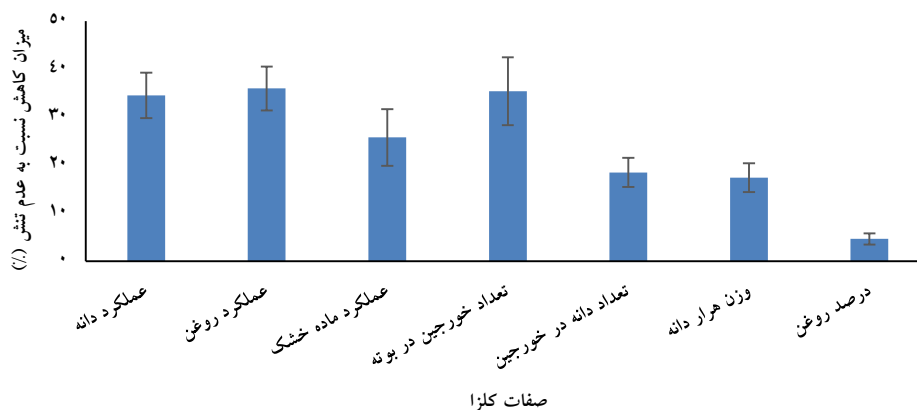
۳.۱. تأثیر قطع آبیاری

به‌طور کلی قطع آبیاری منجر به کاهش معنی دار اجزای عملکرد، عملکرد، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک و افزایش میزان پرولین شد. براساس نتایج قطع آبیاری به ترتیب منجر به کاهش ۲۷/۸ و ۳۴/۵ درصدی عملکرد ماده خشک و دانه، ۳۶ درصدی عملکرد روغن، ۳۵/۴ درصدی تعداد خورجین در بوته، ۱۸/۵ درصدی تعداد دانه در خورجین، ۱۷/۴ درصدی وزن هزارانه و ۴/۷ درصدی میزان روغن دانه شد. همچنین قطع آبیاری سبب افزایش ۴۹/۹ درصدی میزان پرولین شد (شکل ۱).

که در آن W_i عبارت است از وزن اختصاص یافته به مشاهده i و n تعداد تکرار در مورد هر تیمار است. وزن‌دهی با این هدف انجام می‌شود که تأثیر و وزن هر تیمار در آزمایش‌های بزرگ باید نسبت به آزمایش‌های کوچک بالاتر باشد (Gurevitch & Hedges, 1999). اندازه اثر میانگین با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد:

$$\overline{\ln R} = \frac{\sum(\ln R_i \times W_i)}{\sum(W_i)} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن $\ln R_i$ عبارت است از اندازه اثر برای ویژگی‌های عملکرد دانه و روغن و ماده خشک، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزارانه، میزان روغن و میزان پرولین، که در مشاهده " i " ثبت شده است. برای کمک به تفسیر داده‌ها، نتایج به صورت درصد تغییر در هر ویژگی در اثر اعمال تنش نسبت به عدم تنش گزارش شد. در مورد ویژگی‌هایی که اعمال تنش سبب کاهش ویژگی شده بود نمودارها به صورت درصد کاهش و در مورد ویژگی‌هایی که اعمال تنش سبب افزایش میزان ویژگی شده بود نمودارها به صورت درصد افزایش با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند. به‌منظور نشان دادن معنی‌داری یا عدم معنی‌داری اختلاف تیمارها، روی هر یک از ستون‌ها از انحراف معیار در سطح ۵ درصد استفاده شد.



شکل ۱. درصد کاهش عملکرد دانه و ویژگی‌های وابسته به عملکرد در گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری در مرحله نمو زایشی. (میل‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است.)

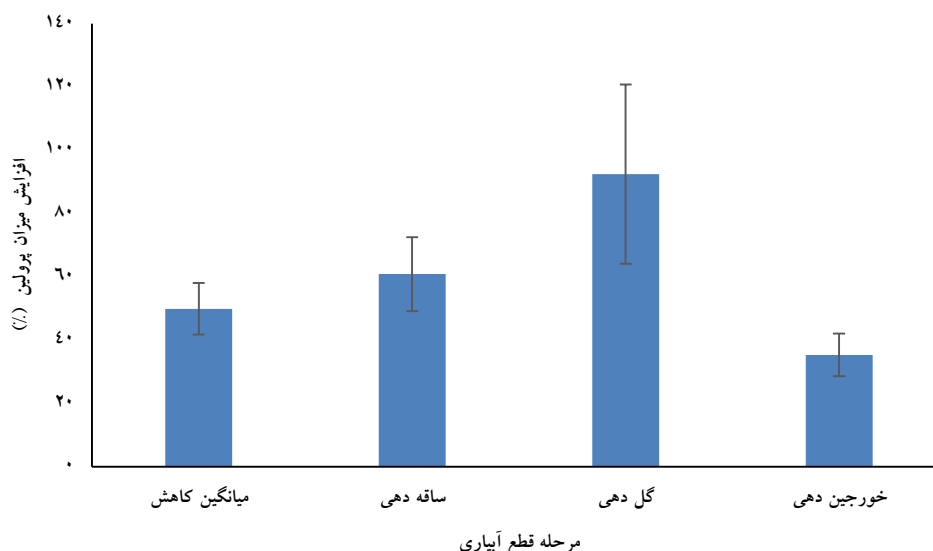
۲.۳. میزان پرولین

به‌طورکلی، میزان پرولین در سطوح تنش نسبت به عدم تنش به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود. بالاترین میزان پرولین در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی با (۹۲/۵ درصد افزایش) و کم‌ترین میزان نیز از تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی (۳۵/۳ درصد افزایش) مشاهده شد. تیمار قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی نیز در حالی در حدواسط دو تیمار دیگر تنش خشکی قرار گرفت که با هیچ‌کدام اختلاف معنی‌دار نداشت (شکل ۲). گیاهان در شرایط بروز تنش‌های زیستی و غیرزیستی، اقدام به ذخیره پرولین در بافت‌های خود می‌کنند، که این میزان ذخیره‌شده، با توجه به گونه گیاهی و شدت تنش می‌تواند بین هفت تا ۱۴۴ برابر متغیر باشد (Jazi-Zadeh & Mortezaie Nejad 2017). افزایش پرولین در زمان بروز تنش نشان‌دهنده نقش این اسید آمینه در تنظیم فشار اسمزی است (Ashraf & Foolad, 2007)، علاوه بر نقش تنظیم اسمزی، پرولین عملکردهای دیگری از جمله حفظ ثبات پروتئین‌ها، حذف رادیکال‌های هیدروکسیل، تنظیم

pH سلولی و تنظیم نسبت NADP/NADPH دارد (Matysik *et al.*, 2002; Razavizadeh *et al.*, 2009-68). بالاتر بودن میزان پرولین در شرایط تنش شدید قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی می‌تواند به این دلیل باشد که با تغییر شدت تنش، ممکن است میزان تجمع پرولین نیز تغییر یافته و گیاه به‌جای تجمع پرولین از سازوکارهای دیگری از جمله تجمع سایر متابولیت‌ها و کربوهیدرات‌ها استفاده کند (Khedr *et al.*, 2003) و با استفاده از برخی تنظیم‌کننده‌ها، میزان پرولین کاهش را می‌دهد (Szabados & Savoure, 2010).

۳.۳. عملکرد ماده خشک

کاهش این صفت در اثر قطع آبیاری در هر سه مرحله رشد زایشی نسبت به شرایط عدم تنش، معنی‌دار بود. قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی به‌ترتیب منجر به کاهش ۲۷/۳، ۲۱/۷ و ۲۸ درصدی عملکرد ماده خشک شد، اما بین این سه تیمار اختلاف معنی‌داری دیده نشد (شکل ۳).



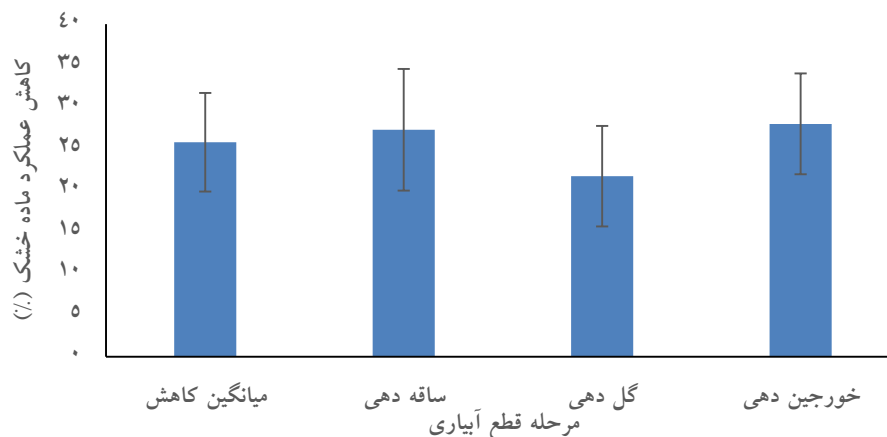
شکل ۲. درصد افزایش پرولین گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میله‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).

درصد در دو تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی دیده شد، هرچند اختلاف بین دو تیمار قطع آبیاری از گل‌دهی و خورجین‌دهی معنی‌دار نبود (شکل ۴). قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی باعث اعمال تنش شدید در مرحله گل‌دهی گیاه شده و از تشکیل گل جلوگیری کرده یا باعث پوک‌شدن و به‌دنبال آن ریزش خورجین‌ها می‌شود، اما قطع آبیاری در دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی که منجر به تعویق زمان بروز تنش می‌شود، تنها بر تشکیل و پرشدن دانه‌ها تأثیرگذار است. کاهش تعداد خورجین در بوته در اثر تنش کم‌آبی در پژوهش‌های متعدد گزارش شده است. مهم‌ترین دلیلی ریزش خورجین‌ها پس از تشکیل شدن، تأمین ناکافی مواد فتوسنتزی به میزان کافی جهت ارسال به خورجین‌های تولید شده است (Baladi *et al.*, 2017). هم‌چنین براساس گزارش Sierts *et al.* (2007) دیواره خورجین که در حال رشد است با دانه‌های در حال توسعه، برای جذب مواد فتوسنتزی به‌شدت رقابت می‌کنند که در زمان افزایش تنش‌های محیطی از جمله خشکی، این رقابت بیش‌تر شده و منجر به کاهش عملکرد دانه کلزا از طریق ریزش خورجین‌ها می‌شود.

عدم اختلاف معنی‌دار سطوح تنش را می‌توان به پایین‌آمدن رویش گیاه در فاز زایشی و این‌که عملکرد زایشی نسبت به عملکرد رویشی بیش‌تر تحت تأثیر قرار می‌گیرد، مرتبط دانست. دلیل کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌توان ناشی از پیری زودرس گیاه و ریزش برگ‌ها در اثر تنش خشکی دانست که در نتیجه باعث کاهش فتوسنتز جاری و در پی آن کاهش وزن خشک گیاه می‌شود. در آزمایش دیگری بر روی واریته کلزا، Zirgoli & Kahrizi (2015) گزارش کردند عملکرد بیولوژیک تمامی واریته‌های کلزا تحت تأثیر شرایط تنش خشکی در مراحل رویشی و زایشی کاهش نشان دادند که شروع تنش از دوره رویشی تأثیر منفی بیش‌تری بر عملکرد ماده خشک داشت.

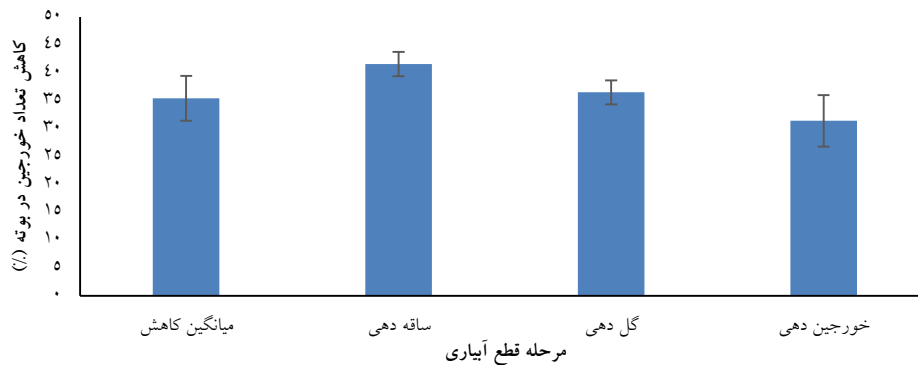
۳.۴. تعداد خورجین در بوته

نتایج تعداد خورجین در بوته حاکی از تأثیر معنی‌دار و منفی هر سه سطح تنش قطع آبیاری بر این ویژگی می‌باشد. بیش‌ترین میزان افت تعداد خورجین در بوته با ۴۱/۶ درصد کاهش، در شرایط قطع آبیاری از ساقه‌دهی دیده شد و رتبه‌های بعدی به‌ترتیب با ۳۶/۵ و ۳۱/۴



شکل ۳. درصد کاهش عملکرد ماده خشک کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میل‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).

بررسی اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف نمو بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا با استفاده از فراتحلیل



شکل ۴. درصد کاهش تعداد خورجین در بوته کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میل‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).

داشتند که تنش در مرحله گلدهی با ایجاد محدودیت در تأمین مواد فتوسنتزی و کاهش ذخائر مواد هیدروکربنه، نمو دانه در درون خورجین‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث سقط دانه‌ها در خورجین می‌شود که این نتایج با یافته‌های Rouhi *et al.* (2020) مطابقت دارد. هم‌چنین تنش در مراحل ابتدایی این دوره موجب کاهش معنی‌دار در تعداد خورجین در بوته می‌شود، در حالی‌که اعمال تنش در اواخر، گلدهی منجر به کاهش در تعداد دانه می‌شود (Albarak, 2006). پژوهش‌گران اعتقاد دارند که شدت اثرگذاری تنش خشکی تابعی از ژنوتیپ، شدت و مدت تنش، شرایط آب‌وهوایی و مراحل رشد و نمو است (Zarei *et al.*, 2010).

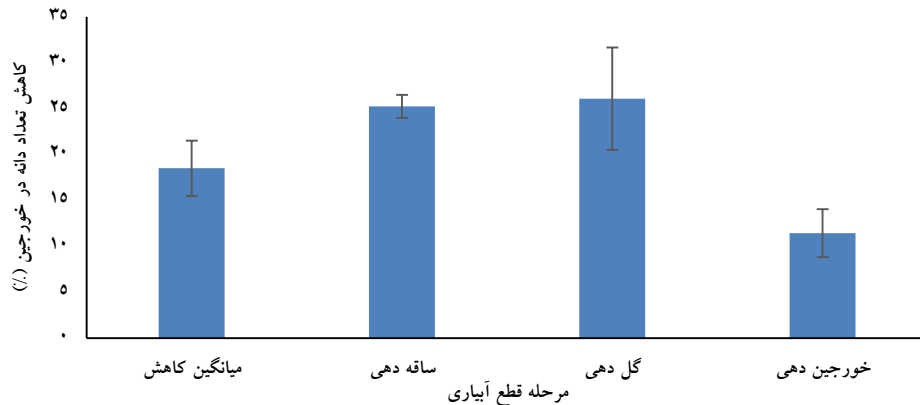
۶.۳. وزن هزاردانه

میزان کاهش وزن هزاردانه نیز در اثر تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری در هر یک از سه مرحله ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی معنی‌دار بود، اما میزان کاهش در بین سطوح تنش متفاوت بود. براساس نتایج کم‌ترین میزان کاهش در تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی دیده شد (۱۱/۲ درصد کاهش) و بیش‌ترین میزان کاهش نیز در تیمارهای قطع آبیاری از خورجین‌دهی و ساقه‌دهی (به ترتیب با ۲۵/۲ و ۲۱ درصد کاهش) مشاهده شد (شکل ۶).

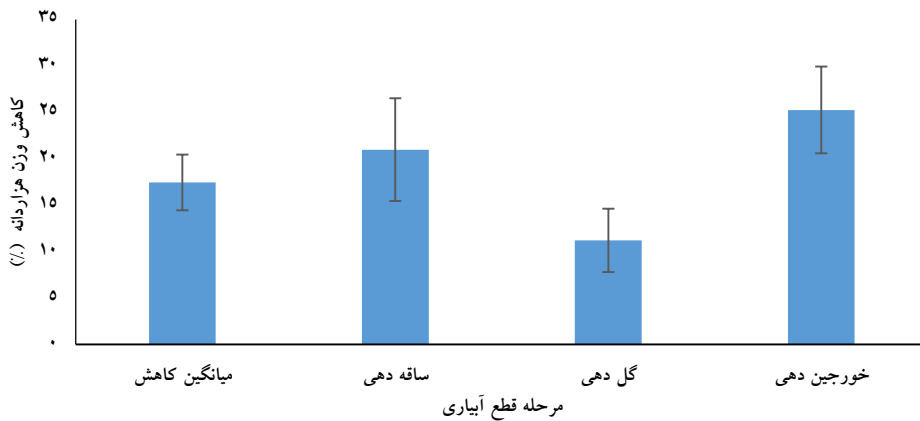
۵.۳. تعداد دانه در خورجین

در مورد تعداد دانه در خورجین نیز هر سه سطح تنش ناشی از قطع آبیاری نسبت به شرایط عدم تنش کاهش معنی‌دار داشتند. بررسی نتایج نشان داد که تعداد دانه در خورجین در دو تیمار قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و مرحله ساقه‌دهی به ترتیب با ۲۵/۲ و ۲۶/۱ درصد کاهش نسبت به تیمار قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی با ۱۱/۴ درصد کاهش، به‌طور معنی‌دار تأثیر منفی بیش‌تری از تنش خشکی دریافت کردند. قطع آبیاری از دو مرحله گل‌دهی و خورجین‌دهی سبب بروز تنش شدید خشکی در مرحله شروع دانه‌بندی شده و به شدت منجر به کاهش تعداد دانه در خورجین می‌شود (شکل ۵).

تعداد دانه در خورجین از مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر در عملکرد بوده و بالابودن این ویژگی، منجر به ایجاد مقصدی بزرگ‌تر برای مواد فتوسنتزی تولیدشده توسط گیاه می‌شود و در نهایت افزایش عملکرد را به‌همراه دارد (Mendham *et al.*, 2004). هم‌چنین تنش خشکی به‌دلیل کاهش فتوسنتز کل گیاه، در تأمین مواد فتوسنتزی لازم محدودیت ایجاد کرده و با افزایش رقابت برای جذب مواد پرورده، برای پرکردن دانه‌ها، تعداد دانه در خورجین را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Sierts *et al.*, 2004). Mohammad *et al.* (2007) نیز اظهار



شکل ۵. درصد کاهش تعداد دانه در خورجین کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه دهی، گل دهی و خورجین دهی (میله های خطاها نشان دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).



شکل ۶. درصد کاهش وزن هزاردانه گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه دهی، گل دهی و خورجین دهی (میله های خطاها نشان دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).

خورجین دهی و پرشدن دانه به ترتیب سبب کاهش تعداد خورجین، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه می شود. شروع تنش از مرحله خورجین دهی به دلیل تأثیر پایین تر بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین، خسارت کمتری بر عملکرد دانه داشت. پژوهشگران اظهار داشتند هنگامی که در مرحله نمو خورجین ها، گیاه با کمبود آب مواجه شود، انتقال مواد غذایی به دانه ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می یابد که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین ها می باشد. تأمین آب کافی در طی مراحل گلدهی و نمو اولیه خورجین ها،

۷.۳. عملکرد دانه

براساس نتایج هر سه سطح تنش خشکی که به واسطه قطع آبیاری ایجاد شده بودند باعث کاهش معنی دار عملکرد دانه کلزا شد که میانگین این کاهش ۳۴ درصد بود. براساس نتایج قطع آبیاری از مرحله ساقه دهی با کاهش ۴۱ درصدی، قطع آبیاری از مرحله گل دهی با ۳۴ درصد و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی با کاهش ۳۰ درصدی به ترتیب بیشترین کاهش عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل ۷). قطع آبیاری در مرحله ساقه دهی به دلیل ایجاد تنش شدید در مراحل گل دهی،

آبیاری در هر سه مرحله منجر به کاهش معنی دار میزان روغن دانه شده است، اما میزان کاهش در این ویژگی کم تر از سایر ویژگی ها بود به طوری که اعمال تنش خشکی به صورت میانگین تنها باعث کاهش ۴/۷ درصدی میزان روغن شد. میزان خسارت در سطوح تنش ناشی از قطع آبیاری در یک سطح آماری قرار گرفتند و قطع آبیاری از ساقه دهی، گل دهی و خورجین دهی به ترتیب منجر به کاهش ۴/۶۷، ۵/۳۸ و ۳/۴۵ درصدی میزان روغن دانه شد (شکل ۸). براساس پژوهش های انجام گرفته درصد روغن دانه تا حدود زیادی به ویژگی های ژنتیکی گیاه برمی گردد و شرایط محیطی قادر به اعمال خسارت زیاد به این ویژگی نیست (Lotfifar et al., 2017).

۹.۳. عملکرد روغن

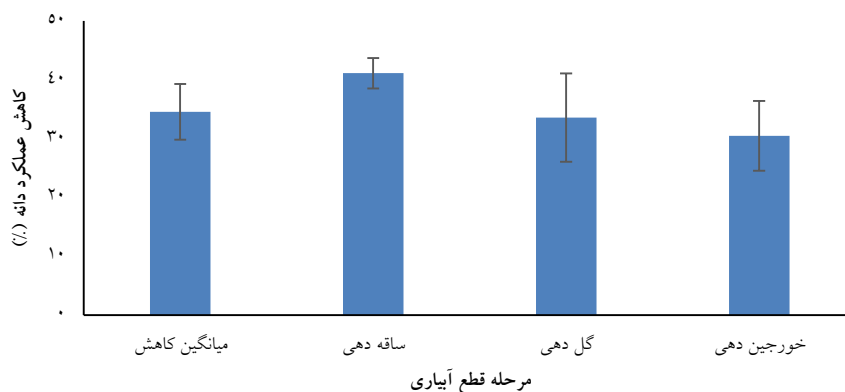
با توجه به این که عملکرد روغن از عملکرد دانه و درصد روغن به دست می آید و هر دوی این ویژگی ها در برابر تنش خشکی دچار خسارت شدند، تنش خشکی حاصل از قطع آبیاری در تمام مراحل نمو منجر به افت شدیدتر عملکرد روغن شد که میانگین این کاهش ۳۶ درصد بوده و تیمار قطع آبیاری در ساقه دهی با ۴۶/۳ درصد بالاترین میزان خسارت را ایجاد کرد و تیمارهای قطع آبیاری از مرحله گل دهی و قطع آبیاری از مرحله خورجین دهی به ترتیب با ۳۷/۷ و ۳۳ درصد در رتبه های بعدی از نظر خسارت به عملکرد روغن قرار گرفتند (شکل ۹). هدف اصلی از کشت کلزا استحصال روغن است، بنابراین عملکرد روغن اهمیت بیش تری نسبت به میزان روغن و حتی عملکرد دانه دارد. در این زمینه گزارش شده است که در تعیین عملکرد روغن کلزا تأثیر عملکرد دانه در مقایسه با درصد روغن بسیار بیش تر می باشد (Soleimani et al., 2011).

زمانی که تعداد خورجین ها و دانه ها مشخص می شود، نقش حیاتی دارد و کمبود آب در مرحله گلدهی با تأثیر منفی بر تشکیل خورجین و اندازه دانه، موجب کاهش عملکرد دانه می شود (Ghasemian-Ardestani, 2019) در این زمینه پژوهش گران (Debaeke & Aboudrare, 2004) بیان داشتند هنگامی که در مرحله نمو خورجین ها، گیاه با کمبود آب مواجه شود، انتقال مواد غذایی به دانه ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می یابد (Khalili & Hamze, 2019; Shargi et al., 2019). که ناشی از کاهش تعداد و اندازه خورجین ها می باشد. تنش خشکی با وارد کردن خسارت به گیاه، سبب بروز پیری زودرس برگ و پیرو آن افت سطح برگ شده، هم چنین با کاهش پتانسیل فشاری باعث نزول انتقال مواد فتوسنتزی به دانه می شود که این موارد به همراه کوتاه شدن دوره رشد زایشی برای گیاه، منجر به محدودیت منبع برای گیاه می شود. از طرف دیگر کاهش تعداد دانه در خورجین و کل بوته به دلیل افزایش سقط جنین در زمان گلدهی، منجر به محدودیت مخزن شده و مجموع این دو محدودیت منجر به کاهش اجزای عملکرد، و در نهایت خسارت به عملکرد دانه و روغن می شود (Ghasemian-Ardestani et al., 2011; Din et al., 2011). پژوهش Walton et al. (2002) نشان داد که کمبود رطوبت خاک و تنش خشکی بعد از شروع گلدهی، عامل کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه بوده و علت اصلی این کاهش عملکرد را کاهش شدید تعداد خورجین در بوته کلزا دانستند. Mandal et al. (2006) کاهش عملکرد محصول در شرایط تنش آبی را با بسته شدن روزنه ها و کاهش سرعت و مقدار فتوسنتز و در نهایت کاهش وزن هزاردانه در ارتباط دانسته اند.

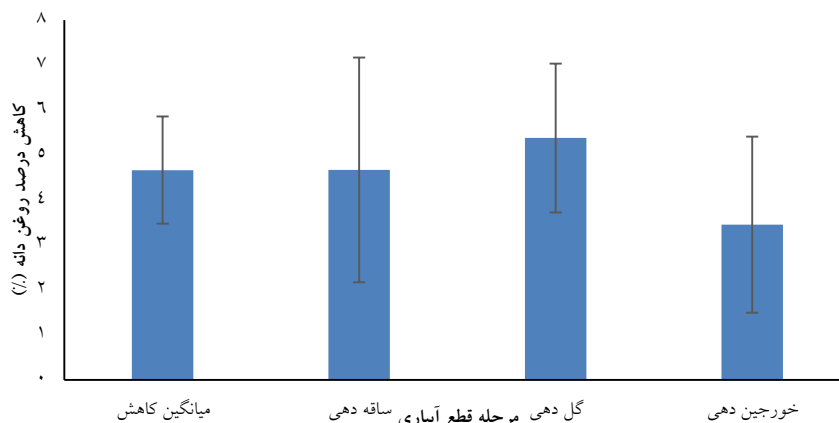
۸.۳. میزان روغن دانه

هرچند همانند سایر ویژگی های اندازه گیری شده، قطع

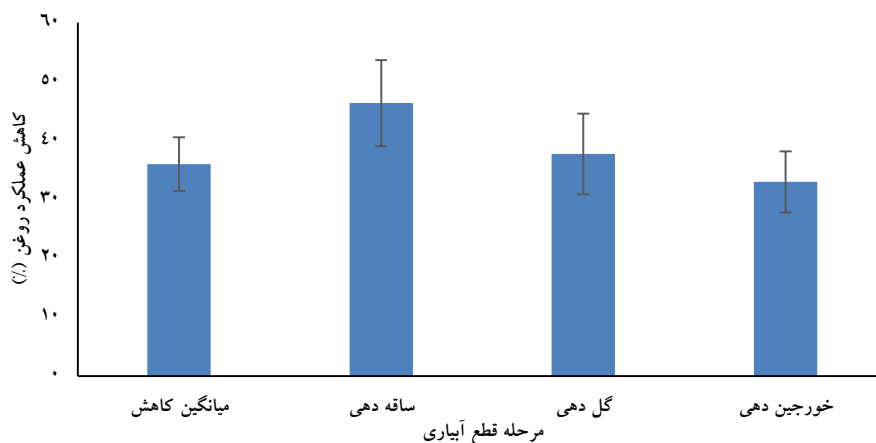
امید لطفی فر، سمانه متقی



شکل ۷. درصد کاهش عملکرد دانه گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میله‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).



شکل ۸. درصد کاهش درصد روغن گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میله‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).



شکل ۹. درصد کاهش عملکرد روغن گیاه کلزا در اثر قطع آبیاری از مراحل ساقه‌دهی، گل‌دهی و خورجین‌دهی (میله‌های خطاها نشان‌دهنده انحراف معیار در سطح ۵ درصد است).

۴. نتیجه گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که تیمارهای تنش خشکی ناشی از قطع آبیاری منجر به کاهش اجزای عملکرد و به دنبال آن کاهش عملکرد دانه و روغن شد، با این حال هر یک از سطوح قطع آبیاری تأثیر متفاوتی بر اجزای مختلف عملکرد داشتند. قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی بیش‌ترین خسارت را بر تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزاردانه را داشت. قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تأثیر منفی بالایی بر تعداد دانه در خورجین داشت ولی تأثیر آن بر تعداد خورجین در بوته حدواسط دو سطح تنش دیگر بوده و خسارت آن بر وزن هزاردانه پایین‌تر از دو تنش دیگر بود. در رابطه با تنش قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی نیز شاهد کم‌ترین خسارت بر تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین بودیم ولی وزن هزاردانه پایین‌تری نسبت به دو تنش دیگر داشت که نشان از خسارت بالای این تنش بر این جزء عملکرد بود. بر این اساس عملکرد دانه و پیرو آن عملکرد روغن بیش‌ترین خسارت را در شرایط تنش قطع آبیاری از مرحله ساقه‌دهی دیدند. هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان پرولین در تیمار تنش متوسط که در شرایط قطع آبیاری از گل‌دهی حاصل شد، بالاترین میزان را نشان داد و کم‌ترین آن در تیمار قطع آبیاری در خورجین‌دهی دیده شد که دلیل آن را می‌توان با جایگزینی پرولین با سایر متابولیت‌ها و کربوهیدرات‌ها در ارتباط دانست.

۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۶. تشکر و قدردانی

از زحمات و همکاری آقایان دکتر الیاس سلطانی و دکتر

سیاوش حشمتی که اینجانبان را در انجام این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶. منابع

- Albarrak, K. M. (2006). Irrigation interval and nitrogen level effects on growth and yield of canola (*Brassica napus* L.). *Scientific Journal of King Faisal University*, 7, 87-99.
- Anonymous. (2018). <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Ashraf, M., & Foolad, M.R. (2007). Riles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
- Baladi, R., Bijanzadeh, E., & Naderi, R. (2017). Effect of irrigation regime and chemical phosphorus application methods on phosphorus recovery efficiency and grain yield of two rapeseed cultivars. *Plant Ecophysiology*, 28, 48-59. (In Persian).
- Debaeke, P., & Aboudrare, A. (2004). Adaptation of crop management to water limited environments. *European Journal of Agronomy*, 21, 43-56.
- Delaney, A.J., Hu, C.A.A., Kishor, K.P.B., & Verma, D.P.S. (1993). Cloning ornithine aminotransferase cDNA from *Vigna anconitifolia* by trans-complementation in *Escherichia coiland* regulation of proline biosynthesis. *Journal of Biological Chemistry*, 268, 18673-18678.
- Din, J., Khan, S.U., Ali, I., & Gurmani, A.R. (2011). Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21, 78-82.
- Ghasemian-Ardestani, H. (2019). Evaluation of agro-physiological response of selected rapeseed cultivars to different temperature and humidity regimes for adaptation to climate change. Ph.D. Thesis in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Ghasemyan-Ardestani, H., Shirani Rad, A.H., & Zandi, P. (2011). Effect of drought stress on some agronomic traits of two rapeseed varieties grown under different potassium rates. *Australian Journal of Basic Apply Science*, 5, 2875-2882.
- Hatamvand, M., Hasanloo, T., Dehghan Nayeri, F., Shirani Rad, A.H., Tabatabaee, S.A., & Hoseini, S.M. (2014). Investigation of some physiological and biochemical indicators of rapeseed cultivars under drought stress. *Environmental Stresses in crop Sciences*, 7, 173-185. (In Persian).

- Jaberi, H., Lotfi, B., Jamshidnia, T., Fathi, A., Olad, R. & Abdollahi, A. (2015). Survey of yield of winter canola cultivars under drought stress on the yield at four different phonological stages. *Scientia*, 12(3), 144-148.
- Jazi Zadeh, E., & Mortezaie Nejad, F. (2017). Effects of water stress on morphological and physiological indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Journal of Plan Process and Function*, 6 (21), 279-290.
- Keerthi, P., Pannu, R.K., & Dhaka, A.K. (2017). Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agricultural Science Digest*, 37(1), 27-31.
- Khalili, M., & Hamze, H. (2019). Effect of Super-Absorbent and Irrigation Levels on Quantitative and Qualitative Characteristics of Sugar Beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(51), 395-412. (In Persian).
- Khan, M.A., Ashraf, M.Y., Mujtaba, S.M., Shirazi, M.U., Khan, M.A., Shereen, A., Mumtaz, S., Aqil Siddiqui, M., & Murtaza Kaleri, G. (2010). Evaluation of high yielding canola type Brassica genotypes/mutants for drought tolerance using physiological indices as screening tool. *Pakistan Journal of Botany* 42(6), 3807-3816.
- Khedr, A.H., Abbas M., Abdel wahid, A., Quick, P., & Abogadallah, G.M. (2004). Proline induces the expression of salt stress responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L. salt stress. *Journal of Experimental Botany*, 54, 2553-2562.
- Lotfifar, O., Mottaghi, L., Shirani Rad, A.H. & Mottaghi, S. (2017). Effect of drought stress and application of zeolite on some physiological characteristics, activity of antioxidant enzymes and quantitative and qualitative yield of rapeseed genotypes. *Plant Environment Physiology*, 45, 51-67. (In Persian).
- Matysik, J., Alia, B.B., & Mohanty, P. (2002). Molecular mechanisms of quenching of reactive oxygen species by proline under stress in plants. *Current Science*, 82, 525-532.
- Mendham, N. J., Russell, J., & Buzza, G.C. (2004). The contribution of seed survival to yield in new Australian cultivars of oilseed rap (*Brassica napus* L.). *Journal of Agriculture Science Cambridge*. 123,303-316.
- Mandal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., & Bandyopadhyay, K.K. (2006). Assessment of irrigation and nutrient effects on growth, yield and water use efficiency of Indian mustard (*Brassica juncea*) in central India. *Journal of Agriculture Water Management*, 85, 279-286.
- Mohammad, T., Ali, A., Nadeem, M.A., Tanveer, A., & Sabir, Q.M. (2007). Performance of canola under different irrigation levels. *Pakistan Journal of Botany*, 39, 793-746.
- Nazari, P., Shirani Rad, A.H., Valad Abadi, S.A., Mirakhori, M. & Hadidi Masoule, H. (2019). The effect of planting date and late season drought stress on eco-physiological characteristics of the new varieties of canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*, 11, 261-276. (In Persian).
- Pasban Eslam, B., & Alizadeh, B. (2019). Response of seed and oil yields and yield components of some rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes at saline areas of Tabriz. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(51), 485-498. (In Persian).
- Razavizadeh, R., Ehsanpour, A.A., Ahsan, N., & Komatsu, S. (2009). Proteome analysis of tobacco leaves under salt stress. *Peptides*, 30, 1651-1659.
- Rouhi, M., Banayan Aval, M., & Shirani Rad, A.H. (2020). Qualitative Changes and Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars in Drought Stress in Late Season. *Journal of Crop Ecophysiology*, 13, 499-516. (In Persian).
- Sabaghnia, N., Dehghani, H., Alizadeh, B., & Mohghaddam, M. (2010). Interrelationships between seed yield and 20 related traits of 49 canola (*Brassica napus* L.) genotypes in non-stressed and water-stressed environments. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2), 356-370.
- Sadeghi Bakhtvari, A.R., Ghahrmani Bektash, B., Pasban Eslam. B., Sarabi, V., & Hazrati, S. (2019). Evaluation of the tolerance of different genotypes of rapeseed under water Deficit stress in east Azerbaijan province. *Journal of Crop Breeding*, 11, 65-71.
- Sandhu, K.S., Dhesi, N.S., & Kang, U.S. (2006). Pod and seed characters of rapeseed (*Brassica napus*) as influenced by N, P, K and spacing treatments. *Ferti*, 40,154-166.
- Scarath, R., & Tang, J. (2006). Modification of brassica oil using conventional and transgenic approaches. *Crop Science*, 46, 1225-1236.
- Sepehri, A., & Golparvar, A.R. (2011). The effect of drought stress on water relations, chlorophyll content and leaf area in canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Electronic Journal of Biology*, 7(3), 49-53.
- Shargi, F., & Khalilvand Behrouzfar, E. (2019). Effect of nano-TiO₂ and salicylic acid foliar application on some biochemical traits of corn 704 single cross under water regimes. *Journal of Crop Ecophysiology*, 3(51), 413-430-412. (In Persian).

- Sierts, H.P., Geisler, G., Leonard, J., & Diepenbrock, W. (2007). Stability of yield components from winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 158, 107-113.
- Sinaki, M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A.H., Noormohammadi, G., & Zarei, G.H. (2007). The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 2, 417-422.
- Soleimani, A., Moradi, E., & Narenjani, L. (2011). Investigation of the effects of irrigation interruption at different growth stages on seed and oil yield of autumn rapeseed cultivars. *Journal of Soil and Water Science and Technology*, 25(3), 426-435. (In Persian).
- Szabados, L., & Saviouré, A. (2010) Proline A Multifunctional Amino Acid. *Trends in Plant Science*, 15, 89-97.
- Vendruscolo, E.C.G., Schuster, I., Pilegg, M., Scapim, C.A., Molinari, H.B.C., Marur, C.J., & Vieira, L.G. E. (2007). Stress-induced synthesis of proline confers tolerance to water deficit in transgenic wheat. *Journal of Plant Physiology*, 164, 1367-1376.
- Walton, G. , Medham, N., Robertson, M., & Potter, T. (2002). Phonology, Physiology and Agronomy. *Australian Journal of Agriculture Research*, 59, 1425-1439.
- Zarei, G., Shamsi, H., & Dehghani, S.M. (2010). The effect of drought stress on yield, yield components and seed oil content of three autumnal rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Research in Agricultural Science. Journal of Research in Agricultural Science*, 6, 29-37. (In Persian).