نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد پانزدهم، شماره ۱(۵۷)، بهار ۱۴۰۰، صفحه ۹۰-۷۳

مقاله پژوهشی DOI: 10.30495/jcep.2021.681007

شاخص‌های تحمل تنش خشکی در ارقام جدید کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط کاشت تأخیری

علی‌اکبر شفیقی[۱]، محمدرضا اردکانی[۲]*، امیرحسین شیرانی‌راد[۳]، مجتبی علوی فاضل[۴] و فرناز رفیعی[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۸ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۳۰

چکیده

محدودیت منابع آبی در مرحله پایانی فصل رشد گیاه کلزا یکی از مشکلات مهم تولید و توسعه این گیاه در مناطق نیمه‌خشک ایران می‌باشد. از این‌رو معرفی رقم متحمل و سازگار با این شرایط برای توسعه کشت این گیاه حایز اهمیت است. بنابراین، به‌منظور شناسایی و معرفی رقم مناسب کلزا در شرایط کشت تأخیری آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه پژوهشی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمار تاریخ کاشت در دو تاریخ ۱۵ مهر (رایج) و ۱۵ آبان (کشت تأخیری) در کرت‌های اصلی و ارقام کلزا شامل ES Hydromel، ES Alonso، ES Darko، ES Lauren و Ahmadi در کرت‌های فرعی در قرار داده شدند. به‌منظور معرفی رقم متحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش خشکی کرت‌های آزمایشی در دو شرایط آبیاری معمول (شاهد) و قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد (تنش خشکی) قرار گرفتند. نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که کشت تأخیری باعث کاهش معنی‌دار درصد روغن و عملکرد روغن دانه کلزا شد. بیشترین میزان درصد روغن و عملکرد روغن به‌ترتیب با ۴۱/۶۱ درصد و ۱۳۸۱/۰۸ کیلوگرم در هکتار مربوط به رقم ES Hydromel بود. همچنین، بر اساس شاخص‌های برگزیده این پژوهش شامل شاخص تحمل تنش، میانگین هندسی بهره‌وری و میانگین بهره‌وری، متحمل‌ترین رقم در هر دو شرایط کشت نرمال و کشت تأخیری، رقمES Hydromel و حساس‌ترین رقم در شرایط کشت نرمال ES Lauren و در شرایط کشت تأخیری رقم ES Darko بودند. نتایج تجزیه کلاستر نیز در تأیید این نتیجه منجر به تشکیل دو خوشه گردید که ارقام ES Darko، Ahmadi و ES Lauren در خوشه حساس و ارقام ES Hydromel و ES Alonso در خوشه متحمل قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: تاریخ کاشت، تنش خشکی، دانه روغنی، عملکرد دانه، هیبرید.

۱-دانشجوی دکتری تخصصی، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲-استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.

۳-استاد مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کرج، ایران.

۴-دانشیار گروه زراعت، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۵-استادیار گروه زراعت، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

نگارنده‌ی مسئول mreza.ardakani@gmail.com

مقدمه

در بخش بزرگی از مناطق کشاورزی در جهان، کمبود آب عامل محدودکننده مهم رشد و بهره‌وری محصولات کشاورزی است. برای زنده ماندن در برابر تنش، گیاهان پاسخ‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مختلفی دارند. اثر تنش خشکی بر رشد و عملکرد، بستگی به‌ژنوتیپ، طول مدت استرس، شرایط آب و هوایی، رشدی و مراحل نمو گیاهان زراعی دارد (Naghavi *et al*., 2015). تاریخ کاشت در دانه‌های روغنی یکی از عوامل مهم تعیین کننده طول دوره رشد، هجوم آفات، میزان عملکرد دانه و روغن دانه می‌باشد (Laaniste *et al*., 2016). با تأخیر در تاریخ کاشت زمان گرده افشانی کلزا جلو می‌افتد و سبب تسریع رشد رویشی و زایشی شده و نهایتاً باعث کوتاه شدن فاز زایشی و کاهش درصد، عملکرد روغن و دانه می‌شود (Rezayian *et al*., 2018).

در شرایط تنش و شرایط مطلوب، ارزیابی عملکرد ارقام مختلف به‌عنوان یک نقطه شروع در شناسایی ارقام مقاوم به خشکی مطرح است (Monajem *et al*., 2011). یکی از شاخص‌های ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف شاخص پایداری عملکرد که عملکرد یک رقم را تحت شرایط تنش وابسته به شرایط بدون تنش می‌سنجد و به‌منظور تخمین این شاخص، عملکرد در شرایط تنش و عملکرد در شرایط بدون تنش بررسی می‌شود و در نهایت، رقمی که شاخص پایداری عملکرد بالاتری داشته باشد، عملکرد بالاتری را در هر دو شرایط داراست (Aktas, 2016). بر اساس نتایج شیرانی‌راد و عباسیان (Shirani Rad and Abbasian, 2011) گزینش بر اساس شاخص‌های پایداری مانند شاخص پایداری عملکرد ممکن است برای مناطق با تغییرات اقلیمی بالا و تنوع غیرقابل پیش‌بینی میزان و پراکنش بارش همانند مناطق شرقی ایران کارآمد نباشد و ژنوتیپ‌های به‌دست آمده از کلزا بر اساس پایداری عملکرد توان حداکثر بهره‌برداری از رطوبت ناشی از بارندگی طی سال‌های پربارش و یا تأمین آب مورد نیاز نداشته باشند. بر اساس نتایج آکتاش (Aktas, 2016) شاخص پایداری عملکرد و شاخص عملکرد می‌توانند به‌عنوان پارامتری برای برنامه‌های اصلاحی جهت افزایش عملکرد دانه در شرایط تنش و شاخص تحمل تنش در هر دو شرایط تنش و بدون تنش مورد استفاده قرار گیرند. یوسفی (Youssefi, 2017) گزارش کرد که شاخص پایداری عملکرد جهت انتخاب ژنوتیپ‌های پربازده کلزا در سال‌های پربارش به علت تغییرات جوی غیرقابل پیش‌بینی در سال‌های مورد آزمون گمراه‌کننده بوده است. در گزارش ابراهیمیان و همکاران (Ebrahimiyan *et al*., 2013) بر روی فسکیوی بلند شاخص‌های میانگین هندسی و شاخص تحمل تنش بهترین شاخص برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی با عملکرد زیاد معرفی شدند. همچنین، رنجبر و روستا (Ranjbar and Rusta, 2011) در مطالعه‌ای شاخص تحمل تنش را به‌عنوان شاخص مؤثر در انتخاب ژنوتیپ‌های گندم در شرایط شور معرفی کردند. جمشیدی و همکاران (Jamshidi *et al*., 2012) با ارزیابی ارقام کلزا شامل Licord، Okapi، SLM046، RGS003، Hyola420، Option500، Orient، Hyola401، زرفام، طلایه و ساریگل در شرایط تنش خشکی به این نتیجه رسیدند که مقادیر بالای شاخص تحمل تنش، نشان‌دهنده تحمل ارقام می‌باشد و همبستگی مثبت و معنی‌دار بین شاخص تحمل تنش و عملکرد دانه در شرایط

آبیاری معمول (۰/۸۲) و تنش خشکی (۰/۸۷) مشاهده کردند. نعیمی و همکاران (Naeemi *et al.*, 2008) در بررسی خود بر روی ۱۲ رقم کلزا عنوان کردند عملکرد رقم زرفام در شرایط تنش از عملکرد ارقامی چون Hyola420 و Option500 بالاتر بود، اما شاخص میانگین بهره‌وری که مقادیر بالای عددی آن بیان‌گر تحمل نسبی به تنش است، کمتر بود و به عنوان رقم متحمل توسط این شاخص شناسایی نشد. بنابراین، شاخص میانگین بهره‌وری را جهت انتخاب رقمی با عملکرد بالا در شرایط تنش، مناسب عنوان نکرد. در مقابل گزارش کردند که شاخص‌های تحمل تنش و میانگین هندسی بهره‌وری برای گزینش ارقام متحمل از قدرت تمایز بیشتری برخوردارند. در صورتی که مجیدی و همکاران (Majidi *et al.*, 2015) سه شاخص میانگین بهره‌وری، میانگین هندسی بهره‌وری و شاخص تحمل تنش را که دارای بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و مطلوب بودند، به‌عنوان شاخص‌های کاربردی در ارزیابی ارقام کلزا دانستند.

لذا با توجه به مطالب فوق، هدف از این مطالعه، مقایسه ارقام با استفاده از شاخص‌های تحمل تنش و انتخاب رقم مناسب با کمترین افت عملکرد در شرایط کشت تأخیری در دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت و مشخصات محل اجرای طرح

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با موقعیت جغرافیایی ´۵۹ و°۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ´۷۵ و°۵۰ شرقی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا با میانگین بارندگی بلند مدت ۲۴۴ میلی‌متر بر اساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی کرج، انجام گرفت. بر اساس منحنی‌های آمبروترمیک و آمارهای هواشناسی، منطقه مورد نظر با داشتن ۱۸۰-۱۵۰ روز و گاهی تا ۲۰ روز خشکی جزو مناطق آب و هوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جز رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود و با توجه به طبقه‌بندی دومارتن جزو اقلیم نیمه‌خشک معرفی می‌گردد (De Martonne, 1926).

خصوصیات طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار به مدت دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در منطقه کرج اجرا شد که تاریخ کاشت در دو تاریخ ۱۵ مهر (رایج) و ۱۵ آبان (کشت تأخیری) در کرت‌های اصلی و ارقام کلزا شامل ES Hydromel، ES Alonso، ES Darko، ES Lauren و Ahmadi در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. علت انتخاب این ارقام جدید وارداتی (هیبریدهای فرانسوی) و رقم داخلی احمدی (آزاد گرده افشان)، بررسی و مقایسه آنها جهت کشت در مناطق معتدل سرد و نیمه خشک مانند کرج در شرایط کشت تأخیری و در دو محیط تنش و بدون تنش می‌باشد، تا از میان این ارقام، رقمی که در شرایط کم آبیاری بخصوص در انتهای فصل رشد و کشت تأخیری، پایداری عملکرد بالاتری داشته باشد، شناسایی گردد. چراکه انتخاب رقمی با تحمل به تنش بالا و مناسب برای کشت‌های نسبتاً تأخیری تا تأخیری، می‌تواند تا بیش از ۶۰ هزار هکتار به سطح زیر کشت کلزا در کشور بیفزاید. جهت بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی کرت‌های آزمایشی در دو شرایط آبیاری معمول (شاهد) و

قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد (تنش خشکی) قرار گرفتند.

کرت‌های آزمایشی به‌صورت شش خط ۶ متری با فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر بود. فاصله بوته‌ها روی خطوط پنج سانتی‌متر و دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند و از چهار خط میانی آن برای تعیین عملکرد دانه استفاده شد. روش آبیاری به‌صورت سیفونی بوده و به‌منظور اعمال محیط تنش، از ۸ مرحله آبیاری معمول، تنها ۵ مرحله آبیاری انجام شد به‌صورتی که قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد صورت گرفت. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی از نیمه دوم خرداد ماه، با توجه به تیمارهای تاریخ کاشت (زمان برداشت برای تیمار تاریخ کاشت ۱۵ مهر حدود ۳۰ خرداد ماه و برای تیمار تاریخ کاشت تأخیری ۱۵ آبان، ۱۰ تیر ماه بود)، از هر کرت آزمایشی با حذف دو خط کناری به‌عنوان حاشیه و همچنین نیم متر از بالا و پایین، به مساحت ۶ متر مربع، بوته‌ها کف‌بر شد و بوته‌ها در دو دسته به مدت ۴ روز در هوای آزاد قرار داده شده و رطوبت بوته‌ها به ۱۲ درصد رسید. هر دو دسته بوته وارد خرمنکوب گردیده و دانه‌ها جدا شدند. سپس در داخل کیسه پارچه‌ای ریخته شده و پس از تمیز کردن با استفاده از ترازوی دقیق آزمایشگاهی توزین گردیدند و به این ترتیب عملکرد دانه هر کرت آزمایشی محاسبه و عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار تعیین گردید. از کیسه‌های محتوی دانه‌های هر کرت آزمایشی، به‌میزان ۱۵۰ گرم دانه به آزمایشگاه منتقل و درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه NMR بر حسب درصد اندازه‌گیری گردید (Rossell and Pritchard, 1991). از حاصل‌ضرب عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار در درصد روغن دانه، عملکرد روغن دانه برحسب کیلوگرم در هکتار تعیین شد. همچنین، برای اندازه‌گیری و محاسبات مربوط به شاخص‌های تحمل خشکی نیز از هر کرت آزمایشی از سطح مورد نظر (۶ متر مربع) (همانند محاسبه عملکرد دانه)، عملکرد دانه هر رقم تحت شرایط تنش (Ys) و بدون تنش (Yp) و همچنین محاسبه میانگین عملکرد ارقام در شرایط تنش ($\overline{Ys}$) و بدون تنش ($\overline{Yp}$) جهت ارزیابی شاخص‌های کمی تحمل تنش خشکی محاسبه شد.

فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل تنش[۱] (STI) را معرفی نمود که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$STI = \frac{(Y_P)(Y_S)}{(\overline{Y}_P)^2}$$ رابطه (۱)

شاخص عملکرد[۲] (YI) نیز از رابطه (۲) حاصل می‌شود (Gavuzzi *et al*., 1997):

$$YI = Ys / \overline{Y}s$$ رابطه (۲)

شاخص پایداری عملکرد[۳] (YSI) نیز یکی از شاخص‌های حساسیت به خشکی است که از رابطه (۳) حاصل می‌شود (Bouslama and Schapaugh, 1984):

$$YSI = Ys/Yp$$ رابطه (۳)

میانگین بهره‌وری[۴] (حسابی) (MP) (Rosielle and Hamblin, 1981) و میانگین هندسی بهره‌وری[۵] (GMP) (Fernandez, 1992) نیز از جمله شاخص‌های حساسیت به تنش هستند که از روابط (۴) و (۵) به‌دست می‌آیند:

---

۱ - Stress Tolerance Index
۲ - Yield Index
۳ - Yield Stability Index
۴ - Mean Productivity
۵ - Geometric Mean Productivity

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{2}$$ رابطه (۴)

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S}$$ رابطه (۵)

که در آنها Ys و Yp به‌ترتیب عملکرد دانه هر ژنوتیپ در شرایط تنش و مطلوب است.

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها بر اساس مدل آزمایشی اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار صورت گرفت. جهت اطمینان از همگنی واریانس‌های داده‌های دو سال، آزمون یکنواختی واریانس‌های آزمایش از طریق آزمون بارتلت انجام شد. نتایج آزمون نشان داد که برای کلیه صفات مورد بررسی واریانس‌ها یکنواخت بودند. تجزیه واریانس مرکب دو سال آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS (ویرایش ۹/۱) انجام شد و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای رسم جداول از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

درصد و عملکرد روغن

نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر درصد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱) به‌طوری‌که در تاریخ کاشت ۱۵ مهر میانگین درصد روغن دانه ۴۲/۵ درصد و در تاریخ کاشت ۱۵ آبان، این میزان کاهش یافته و به ۴۰/۳۳ درصد رسید (جدول ۲). به نظر می‌رسد تنش خشکی در طی گرده افشانی و پس از آن به واسطه کاهش در اندازه دانه سبب کاهش درصد روغن دانه می‌شود. تورهان و همکاران (Turhan *et al*., 2011) و شیرانی‌راد و همکاران (Shirani Rad *et al*., 2014) نیز اعلام کردند که تأخیر در کاشت باعث کاهش معنی‌دار بر درصد روغن کلزا می‌شود که با نتایج این پژوهش هماهنگ است. تأخیر در کاشت کلزا منجر به کوتاه شدن مرحله رویشی گیاه شده و در نتیجه گیاه نمی‌تواند در زمان مناسب به شاخص سطح برگ مطلوب برسد، بنابراین، ممکن است تعداد زیادی از دانه‌ها به مرحله باروری نرسیده و به همین دلیل ریزش خورجین در کشت تأخیری افزایش یابد که در نتیجه سبب کاهش عملکرد دانه و روغن می‌گردد (Valipour Dastenaei *et al*., 2020). بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر سال و تاریخ کاشت بر عملکرد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). عملکرد روغن دانه در سال اول بیشتر از سال دوم مشاهده شد (جدول ۲). درصد روغن دانه کلزا باعث افزایش عملکرد روغن در واحد سطح شده است به‌طوری‌که در سال اول، به دلیل شرایط مساعد محیطی، فرآیندهای دخیل در تولید روغن بهبود یافته، لذا به‌طورکلی می‌توان بیان نمود که شرایط محیطی مناسب‌تر در سال اول، باعث تولید بیشتر روغن در سال اول شده است. عملکرد روغن دانه در تاریخ کاشت ۱۵ مهر برابر با (۱۶۶۶ کیلوگرم در هکتار) و در ۱۵ آبان برابر با (۹۱۵ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۲). کاهش عملکرد روغن دانه در اثر تأخیر در کاشت، بسیار قابل توجه بوده و به نظر می‌رسد بهبود شرایط محیطی در طول دوره رشد و نیز در زمان پرشدن دانه، تأثیر زیادی بر روی این صفت داشته و رطوبت و دمای مناسب در تاریخ کاشت اول (۲۰ مهر) باعث افزایش عملکرد روغن دانه شده است. محتوای روغن در گیاهان زراعی دانه روغنی در محیط‌های آبیاری تفاوت قابل توجهی دارد و به احتمال زیاد در نتیجه برهمکنش‌های ژنوتیپ در محیط می‌باشند (Zhang *et al*., 2014).

عملکرد دانه

نتایج مندرج در جدول ۱ نشان داد که بین سال‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌دار در عملکرد دانه در شرایط بدون تنش وجود دارد که گویای اثر قابل قبول شرایط آب و هوایی بر عملکرد دانه ارقام مورد آزمون است. همچنین، اثر تاریخ کاشت بر عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و در شرایط تنش (Ys) تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشت و در ۱۵ مهر عملکرد در هر دو شرایط بالاتر از تاریخ ۱۵ آبان بود (جدول ۱ و ۳). عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش در ارقام مورد بررسی تفاوت آماری نداشت (جدول ۱) هرچند از نظر عددی رقم ES Hydromel بالاترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (۳۸۴۱ کیلوگرم در هکتار) و در شرایط تنش (۲۷۴۲ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). بالاترین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و در رقم ES Hydromel به میزان ۴۷۸۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). کمترین میزان عملکرد دانه نیز در شرایط بدون تنش (Yp) در تاریخ کاشت ۱۵ آبان و در رقم ES Lauren به میزان ۲۵۶۶ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). بالاترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) در تاریخ کاشت ۱۵ مهر و در رقم ES Hydromel به میزان ۳۴۹۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد و کمترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys) مربوط به تاریخ کاشت ۱۵ آبان و رقم ES Darko به میزان ۱۶۶۷ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵). در این رابطه منزس و همکاران (Menezes *et al*., 2014) نیز در بررسی خود نشان دادند که میانگین عملکرد دانه از ۵۴۶۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط بدون تنش (Yp) به ۳۱۱۶ کیلوگرم در هکتار تحت شرایط تنش (Ys) رسید که نشان‌دهنده یک کاهش ۴۳ درصدی در مقایسه با شرایط آبیاری معمول بود. همچنین، جمشیدی و همکاران (Jamshidi *et al*., 2012) در بررسی گیاه کلزا رقمی را به عنوان رقم برتر اعلام کردند که در هر دو شرایط تنش و بدون تنش از عملکرد بالایی برخوردار باشد و گزینش خود را توسط شاخص‌های ارزیابی صحیح و منطقی عنوان کردند. روحی و همکاران (Rouhi *et al*., 2020) با ارزیابی ارقام کلزا شامل BAL11، BAL6، BAL3، BAL8، HW3، Ahmadi و L72 کاهش ۳۰ درصدی میزان عملکرد دانه را در شرایط کشت تأخیری و شرایط تنش خشکی گزارش کردند.

شاخص تحمل تنش (STI)

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که تفاوت بین دو سال مورد بررسی از نظر شاخص تحمل تنش معنی‌دار می‌باشد (جدول ۱) که نشان دهنده تأثیر شرایط آب و هوایی بر شاخص STI است. در این آزمایش، STI در دو تاریخ کاشت تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشت (جدول ۱). در تاریخ کاشت ۱۵ آبان میزان این شاخص برابر ۰/۳۸ بود که نسبت به تاریخ کاشت ۱۵ مهر کاهش چشمگیری داشته و نشان می‌دهد با تأخیر در کاشت، حساسیت به تنش ارقام مورد بررسی افزایش یافت (جدول ۳). نتایج مندرج در جدول ۴ نشان داد که بر اساس STI، ارقام ES Hydromel و Ahmadi تحمل بیشتری نسبت به تنش خشکی داشتند. با توجه به نتایج مندرج در جدول ۵ و بر اساس STI کمترین میزان حساسیت به تنش متعلق به رقم ES Hydromel در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بود هرچند از نظر آماری با ارقام ES Alonso، ES Darko و Ahmadi در یک

گروه آماری قرار گرفتند. از طرفی دیگر، بیشترین میزان حساسیت به تنش در رقم ES Darko در تاریخ کاشت ۱۵ آبان مشاهده شد هرچند با سایر ارقام در این تاریخ کاشت از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۱) و در یک گروه آماری قرار گرفتند. منزس و همکاران (Menezes *et al*., 2014) شاخص STI را شاخصی مناسب برای انتخاب ارقام سورگوم مقاوم به تنش خشکی معرفی کردند. مجیدی و همکاران (Majidi *et al*., 2015) جهت انتخاب رقم متحمل در بین ۲۸ رقم کلزای مورد بررسی در منطقه اصفهان، شاخص STI را شاخصی مناسب معرفی کردند. فرناندز (Fernandez, 1992) در بررسی عملکرد ژنوتیپ‌ها در دو محیط (تنش و شرایط عادی) واکنش گیاهان را به چهار گروه تقسیم کرد: ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط، عملکرد بالایی دارند (گروه A)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط عادی عملکرد بالایی دارند (گروه B)، ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش عملکرد خوبی دارند (گروه C) و ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد پایینی هستند (گروه D). بهترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سه گروه دیگر متمایز کند. به نظر می‌رسد که STI و SSI برای این منظور مناسب نیستند. طبق نظر فرناندز (Fernandez, 1992) بهترین شاخص برای گزینش ارقام، STI می‌باشد، او معتقد است که شاخص‌های تحمل تنش و میانگین هندسی بهره‌وری با توجه به همبستگی‌های بالا و معنی‌دار موجود بین آنها و عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش و بدون تنش، به‌عنوان مناسبت‌ترین شاخص‌های گزینش ژنوتیپ‌های دارای عملکرد مطلوب، قابل توصیه می‌باشند. او طی آزمایشی نشان داد که STI برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش بهتر از سایر شاخص‌ها است.

شاخص عملکرد (YI)

در این آزمایش، نتایج تجزیه مرکب نشان داد که تفاوت معنی‌دار بین سال‌های مورد آزمایش وجود دارد که بیانگر اثر شرایط آب و هوایی بر شاخص YI می‌باشد (جدول ۱). YI در دو تاریخ کاشت تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۱) به‌طوری‌که، در تاریخ کاشت ۱۵ مهر میزان این شاخص برابر با (۱/۲۹) و در ۱۵ آبان (۰/۷) بود (جدول ۳) و نشان داد که تأخیر در کشت باعث افزایش YI در ارقام مورد بررسی شد. در میان ارقام مورد بررسی رقم ES Hydromel بالاترین میزان YI (۱/۰۷) و رقم ES Lauren پایین‌ترین میزان YI را دارا بود (جدول ۴) هرچند از نظر آماری تفاوت معنی‌دار بین ارقام مورد بررسی وجود نداشت (جدول ۱). در بررسی اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم نیز رقم ES Hydromel در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با YI برابر (۱/۳۶) به‌عنوان مقاوم‌ترین رقم و بهترین تاریخ کاشت از نظر حساسیت به تنش مشاهده شد و رقم ES Darko در تاریخ کاشت ۱۵ آبان با YI برابر (۰/۶۵) به‌عنوان حساس‌ترین رقم به تنش خشکی شناسایی شد (جدول ۵). منزس و همکاران (Menezes *et al*., 2014) عنوان کردند که شاخص YI ممکن است زمانی که انتخاب رقم با هدف شناسایی در یک محیط کم آب باشد، مفید واقع شود به‌عبارتی این شاخص در شرایط تنش نسبت به هر دو شرایط تنش و بدون تنش کاربردی‌تر است. همچنین، شیرانی‌راد و عباسیان (Shirani Rad and Abbasian, 2011) در بررسی خود، گزینش ارقام متحمل را از میان ۲۳ رقم کلزا در منطقه کرج توسط سه شاخص YI، GMP و

STI مناسب دانستند زیرا این سه شاخص بالاترین ضریب همبستگی را با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و مطلوب دارا بودند.

شاخص پایداری عملکرد (YSI)

مقدار بالای YSI نشان‌دهنده تحمل بالای رقم مورد نظر در برابر تنش خشکی می‌باشد. در این آزمایش شاخص پایداری عملکرد در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بیشتر از ۱۵ آبان بود هرچند تفاوت معنی‌دار از نظر آماری نداشتند (جدول ۱ و ۳) و در یک گروه آماری قرار گرفتند. در میان ارقام مورد بررسی نیز رقم ES Hydromel بیشترین میزان شاخص پایداری عملکرد را دارا بود و رقم ES Darko کمترین میزان این شاخص را به خود اختصاص داد هرچند از نظر آماری تفاوت معنی‌دار بین ارقام مشاهده نشد (جدول ۱ و جدول ۴). نتایج مندرج در جدول ۵ نیز نشان داد که ارقام ES Hydromel و ES Alonso در تاریخ کاشت ۱۵ مهر به‌عنوان مقاوم‌ترین ارقام و در بهترین تاریخ کاشت و رقم ES Darko در تاریخ کاشت ۱۵ آبان به‌عنوان حساس‌ترین رقم و در تاریخ کاشت نامناسب بر اساس شاخص پایداری عملکرد شناسایی شد. بر اساس نتایج منزس و همکاران (Menezes *et al*., 2014) اثر ژنوتیپ بر شاخص YSI معنی‌دار نبود و این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ مناسب در شرایط تنش مناسب نیست که با نتایج این پژوهش نیز مطابقت دارد.

میانگین بهره‌وری (MP)

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که سال‌های مورد بررسی از نظر شاخص MP دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است که می‌تواند نشان از تأثیر شرایط آب و هوایی بر شاخص MP باشد (جدول ۱). میزان شاخص میانگین بهره‌وری در تاریخ کاشت ۱۵ مهر (۳۹۰۹) بود که از مقدار این شاخص در تاریخ کاشت ۱۵ آبان (۲۲۶۵) بیشتر بود و نشان می‌دهد تأخیر در کاشت باعث حساسیت بیشتر به تنش می‌گردد (جدول ۳). در میان ارقام مورد بررسی رقم ES Hydromel بیشترین (۳۲۹۲) و رقم ES Lauren کمترین (۲۸۵۷) میزان شاخص میانگین بهره‌وری را به خود اختصاص دادند (جدول ۴) هرچند از نظر آماری تفاوت معنی‌دار بین ارقام مشاهده نشد (جدول ۱). نتایج درج شده در جدول ۵ نشان داد بر اساس شاخص میانگین بهره‌وری رقم ES Hydromel در تاریخ کاشت ۱۵ مهر مقاوم‌ترین رقم به تنش خشکی و رقم ES Lauren در تاریخ کاشت ۱۵ آبان حساس‌ترین رقم به تنش بودند. صالحی و مساوات (Salehi and Mosavat, 2009) نیز گزارش کردند که انتخاب بر اساس MP باعث افزایش عملکرد در هر دو شرایط می‌شود، در صورتی که هدف افزایش عملکرد در شرایط تنش باشد، انتخاب بر اساس MP می‌تواند سودمند باشد. هرچند باید در نظر داشت که این انتخاب، باعث کاهش همزمان میانگین بهره‌وری و عملکرد در شرایط بدون تنش می‌شود.

میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)

مقادیر بالای GMP، نشان‌دهنده تحمل نسبی ارقام است. با توجه به نتایج حاصل شده تفاوت بین سال‌های مورد آزمون در سطح یک درصد معنی‌دار بود به‌طوری‌که شرایط آب و هوایی اثر محسوسی بر شاخص GMP داشته است (جدول ۱). میزان این شاخص در دو تاریخ کاشت مورد بررسی تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۱). به‌طوری‌که، در تاریخ کاشت ۱۵ مهر میزان این شاخص برابر با (۳۸۴۷) بود (جدول ۳) و با تأخیر

در کاشت این میزان کاهش و حساسیت ارقام نسبت به تنش افزایش یافت. در میان ارقام مورد مطالعه، میانگین هندسی بهره‌وری در رقم ES Hydromel بیشترین میزان (۳۲۲۹) و کمترین میزان آن (۲۸۱۰) مربوط به رقم ES Lauren بود (جدول ۴). نتایج مشابهی نیز در جدول ۵ مشاهده شد و رقم ES Hydromel در تاریخ کاشت ۱۵ مهر بیشترین میزان میانگین هندسی بهره‌وری (۴۰۶۲) را به خود اختصاص داد و کمترین میزان این شاخص (۲۰۶۱) مربوط به رقم ES Darko در تاریخ کاشت ۱۵ آبان بود. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al*., 2011) و آکتاش (Aktas, 2016) GMP را شاخصی مناسب جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش معرفی کردند.

همبستگی بین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و عملکرد دانه

همبستگی بین شاخص‌های ذکر شده و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش در جدول ۶ ارایه شده است. بیشترین میزان ضریب همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد بین شاخص‌های متحمل در شرایط بدون تنش مربوط به شاخص‌های MP، GMP و STI به ترتیب با مقادیر ۰/۹۶۴، ۰/۹۴۸ و ۰/۹۳۹ بود. در شرایط تنش نیز شاخص‌های YI، GMP، STI و MP با مقادیر ۰/۹۶۱، ۰/۹۵۶ و ۰/۹۴۵ بیشترین ضرایب همبستگی مثبت با عملکرد دانه را داشته و از نظر آماری در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۶). در آزمایش آکتاش (Aktas, 2016) همانند این پژوهش نشان داده شد که همبستگی بین شاخص SSI و Yp مثبت اما این همبستگی با Ys منفی است. به‌طورکلی، در این پژوهش شاخص‌های MP، GMP و STI به‌ویژه شاخص STI در گزینش ارقام موفق بودند و به‌عنوان شاخص‌های مناسب برای انتخاب ارقام متحمل به خشکی با عملکرد بالا تعیین شدند و ارقام ES Hydromel و Ahmadi به‌عنوان مناسبت‌ترین ارقام در شرایط تنش خشکی معرفی شدند. آکتاش (Aktas, 2016) در بررسی خود عنوان کرد که انتخاب بر اساس شاخص‌های YI و YSI رقمی با عملکرد بالا در شرایط تنش را معرفی می‌کنند در حالی که انتخاب بر اساس شاخص‌های MP، GMP و STI رقمی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را معرفی می‌کنند. در عین حال مقادیر بسیار بالای همبستگی دو شاخص STI و GMP با شاخص MP سبب می‌شود که شاخص MP در این دو شاخص پنهان باشد و به همین دلیل ژنوتیپ‌های منتخب بر اساس دو شاخص STI و GMP عمدتاً از مقادیر بالای شاخص MP نیز بهره می‌برند. انتخاب بر اساس این شاخص‌ها در شرایط تنش توسط محققین دیگر نیز پیشنهاد شده است. طالبی و همکاران (Talebi *et al*., 2009) گزارش کردند که شاخص‌های GMP و STI به‌دلیل همبستگی بالا با عملکرد دانه در گندم دوروم در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی، به‌منظور گزینش رقم متحمل به خشکی و با پتانسیل تولید بالا در شرایط مطلوب انتخاب شدند. نعیمی و همکاران (Naeemi *et al*., 2008) نیز در بررسی خود بر روی ۱۲ رقم کلزا در منطقه کرج، عنوان کردند که شاخص‌های GMP و STI به علت بیشترین ضریب همبستگی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و مطلوب از قدرت تمایز بالایی جهت انتخاب رقم متحمل به خشکی برخوردارند.

تجزیه کلاستر

گروه‌بندی ارقام با استفاده از روش تجزیه خوشه‌ای یا کلاستر نشان‌دهنده متجانس بودن

ارقام دارای میانگین‌های عملکرد و ضریب رگرسیون مشابه در داخل هر گروه می‌باشد و کارایی این روش به‌عنوان یک روش مؤثر برای طبقه‌بندی ارقام کلزا در مطالعات تنوع ژنتیکی توسط بی‌همتا و همکاران (Bihamta *et al.*, 2018) و خلیلی و همکاران (Khalili *et al.*, 2012) نیز تأیید شده است. در شکل ۱ نتایج این تجزیه به‌صورت دندوگرام نمایش داده شده است. در این مطالعه بر اساس نمودار دندوگرام رسم شده، دو خوشه تشکیل گردید. ارقام ES Darko، Ahmadi و ES Lauren در خوشه اول و ارقام ES Hydromel و ES Alonso در خوشه دوم قرار گرفتند. تمایل به استفاده از والدین مشابه و عدم شناخت و استفاده از ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی منجر به کاهش تنوع ژنتیکی می‌شود. این در حالی است که ارقام دورتر با داشتن چندشکلی بیشتر، تفاوت بیشتری از نظر ژنتیکی نشان می‌دهند و از نظر دو رگه‌گیری، ارقام با تفاوت بیشتر، امکان ایجاد هتروزیس بیشتر و یا انتقال صفات نادر را به‌دنبال خواهد داشت. نتایج این بررسی نشان داد که گروه بندی در شرایط خشکی بر اساس میزان افت عملکرد دانه منجر به تشکیل دو خوشه گردید که ارقام ES Darko، Ahmadi و ES Lauren با افت عملکرد بیشتر در خوشه حساس و ارقام ES Hydromel و ES Alonso با افت عملکرد کمتر در خوشه متحمل قرار گرفتند. لذا می‌توان از ارقام خوشه اول به عنوان والدین حساس در تلاقی با ارقام خوشه دوم به‌عنوان والدین متحمل جهت تهیه جوامع مناسب برای ترسیم نقشه ژنتیکی و مکان‌یابی صفات کمّی درگیر در مقاومت به خشکی استفاده کرد. شاهوردی‌کندی و همکاران (Shahverdikandi *et al.*, 2011) نیز از تجزیه‌ی خوشه‌ای به‌منظور دسته‌بندی ۱۰ رقم کلزا بر اساس شاخص جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی استفاده کرده‌اند که بر این اساس ارقام از نظر تحمل به چهار گروه حساس، نیمه‌حساس، نیمه‌متحمل و متحمل تقسیم شدند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی در گیاه زراعی کلزا در این مطالعه نشان داد که برترین شاخص‌ها برای شناسایی و معرفی رقم متحمل به‌ترتیب شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص‌های میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) و میانگین بهره‌وری (MP) می‌باشند که بر اساس نتایج این شاخص‌ها، رقم ES Hydromel در هر دو شرایط کشت نرمال و تأخیری متحمل‌ترین و در مقابل رقم ES Lauren در شرایط کشت نرمال و رقم ES Darko در شرایط کشت تأخیری به عنوان حساس‌ترین ارقام شناسایی شدند. همچنین، نتایج تجزیه کلاستر نیز در تأیید این نتیجه منجر به تشکیل دو خوشه گردید که ارقام ES Darko، Ahmadi و ES Lauren در خوشه حساس و ارقام ES Hydromel وES Alonso در خوشه متحمل قرار گرفتند. همچنین، تأخیر در کاشت سبب کاهش درصد روغن و عملکرد روغن دانه شد و در بین ارقام مورد بررسی رقم ES Hydromel بیشترین مقدار درصد و عملکرد روغن را دارا بود. بنابراین، با توجه به نتایج حاصله می‌توان با در نظر گرفتن هدف اصلی این پژوهش که مقایسه ارقام توسط شاخص‌های تحمل تنش و معرفی رقم مناسب با تحمل بالا به تنش و کشت تأخیری در دو محیط آبیاری است، می‌توان رقم ES Hydromel را به‌عنوان رقم برتر معرفی و در منطقه کرج پیشنهاد داد.

جدول ۱- تجزیه واریانس شاخص‌های تحمل تنش خشکی و عملکرد دانه ارقام کلزا در شرایط بدون تنش و تنش خشکی

Table 1- ANOVA of drought-tolerance indices and grain yield of rapeseed cultivars under normal and drought stress conditions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	درصد روغن دانه Seed oil percentage	عملکرد روغن دانه Oil yield	عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp)	عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys)
سال (Year)	1	2.77 ^{ns}	734454.53 **	3177220.8 **	1981983.8 ^{ns}
خطا (Error)	4	0.66	3487.68	2188.9	64235.0
تاریخ کاشت (P) Planting date	1	141.1 **	16885501.63 **	48027496 **	33664554.2 **
تاریخ کاشت × سال (P × Year)	1	5.90 **	27846.53 ^{ns}	449800.4 ^{ns}	96400.4 ^{ns}
خطای کرت اصلی Main-plot error	4	0.38	20075.39	222348.5	72451.8
رقم Cultivar (C)	4	0.30 ^{ns}	138407.72 ^{ns}	461736.8 ^{ns}	291301.5 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم (P × C)	4	0.05 ^{ns}	27101.03 ^{ns}	74460.1 ^{ns}	64416.7 ^{ns}
رقم × سال (P × C)	4	0.77 **	462713.35 **	1486764.9 *	945409.6 *
تاریخ کاشت × رقم × سال (P × C × Year)	4	0.30 ^{ns}	91164.05 ^{ns}	270659.9 ^{ns}	139407.5 ^{ns}
خطا (Total error)	32	0.20	64218.67	456087.9	242941.3
ضریب تغییرات (%) C.V.		1.07	19.63	18.70	19.23

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significant at 5% and 1% respectively and ns is non- significant.

ادامه جدول ۱

Table 1- Continued

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	شاخص تحمل تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	میانگین بهره‌وری حسابی (MP)	میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)
سال (Year)	1	0.461 **	0.30 **	0.0002 ^{ns}	2542865.1 **	2430898.8 **
خطا (Error)	4	0.004	0.01	0.0030	19509.9	35060.6
تاریخ کاشت (P) Planting date	1	9.059 **	5.12 **	0.0484 ^{ns}	40531176.6 **	40335800.4 **
تاریخ کاشت × سال (P × Year)	1	0.009 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0615 ^{ns}	32480.3 ^{ns}	10800.4 ^{ns}
خطای کرت اصلی Main-plot error	4	0.014	0.01	0.0298	51590.5	42569.7
رقم Cultivar (C)	4	0.100 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.0012 ^{ns}	369598.4 ^{ns}	370025.2 ^{ns}
تاریخ کاشت × رقم (P × C)	4	0.025 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.0019 ^{ns}	66411.1 ^{ns}	61947.3 ^{ns}
رقم × سال (P × C)	4	0.329 **	0.14 *	0.0022 ^{ns}	1194008.3 **	1176207.9 **
تاریخ کاشت × رقم × سال (P × C × Year)	4	0.120 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.0020 ^{ns}	198225.6 ^{ns}	215287.8 ^{ns}
خطا (Total error)	32	0.054	0.036	0.031	197424.9	191362.3
ضریب تغییرات (%) C.V.		30.08	19.22	24.65	14.39	14.45

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significant at 5% and 1% respectively and ns is non- significant.

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی تیمارها بر درصد و عملکرد روغن دانه

Table 2- Mean comparison of treatment main effects on seed oil percentage and oil yield

Treatments **تیمارها**			**درصد روغن دانه** Seed oil percentage	**عملکرد روغن دانه** Oil yield ($kg.ha^{-1}$)
سال Year	2015-16	**۹۵-۱۳۹۴**	41.26 a	1369.25 a
	2016-17	**۹۶-۱۳۹۵**	41.57 a	1212.78 b
تاریخ کاشت Planting date	7 Oct	**۱۵ مهر**	42.50 a	1666.13a
	6 Nov	**۱۵ آبان**	40.33 b	915.90 b
رقم Cultivar	ES Hydromel		41.61 a	1383.08 a
	ES Alonso		41.32 b	1284.58 ab
	ES Darko		41.42 ab	1250.13 ab
	ES Lauren		41.36 ab	1191.58 b
	Ahmadi		41.38 ab	1345.71 ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers with common alphabets, according to the Duncan test, have no significant difference at the 5% level.

جدول ۳- تأثیر تاریخ کاشت بر شاخص‌های تحمل تنش خشکی در کلزا

Table 3- Effect of planting date on drought-tolerance indices of rapeseed

تاریخ کاشت Planting date	**عملکرد دانه در شرایط بدون تنش** (Yp)	**عملکرد دانه در شرایط تنش** (Ys)	**شاخص تحمل تنش** (STI)	**شاخص عملکرد** (YI)	**شاخص پایداری عملکرد** (YSI)	**میانگین بهره‌وری حسابی** (MP)	**میانگین هندسی بهره‌وری** (GMP)
۱۵ مهر 7 Oct	4505.6 a	3312.7 a	1.16 a	1.29 a	0.74 a	3909.2 a	3847.3 a
۱۵ آبان 6 Nov	2716.2 b	1814.6 b	0.38 b	0.70 b	0.68 a	2265.4 b	2207.5 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers with common alphabets, according to the Duncan test, have no significant difference at the 5% level.

جدول ۴- شاخص‌های تحمل تنش خشکی در ارقام مختلف کلزا

Table 4- Drought-tolerance indices of different rapeseed cultivars

رقم Cultivar	**عملکرد دانه در شرایط بدون تنش** (Yp)	**عملکرد دانه در شرایط تنش** (Ys)	**شاخص تحمل تنش** (STI)	**شاخص عملکرد** (YI)	**شاخص پایداری عملکرد** (YSI)	**میانگین بهره‌وری حسابی** (MP)	**میانگین هندسی بهره‌وری** (GMP)
ES Hydromel	3841.9 a	2742.3 a	0.86 a	1.07 a	0.73 a	3292.0 a	3229.8 a
ES Alonso	3588.0 a	2558.8 a	0.77 a	1.00 a	0.71 a	3073.5 a	3014.6 ab
ES Darko	3522.4 a	2455.0 a	0.72 a	0.96 a	0.70 a	2988.8 a	2909.1 ab
ES Lauren	3344.9 a	2371.0 a	0.65 a	0.92 a	0.71 a	2857.9 a	2810.6 b
Ahmadi	3757.3 a	2691.2 a	0.86 a	1.05 a	0.72 a	3224.3 a	3173.1 ab

میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers with common alphabets, according to the Duncan test, have no significant difference at the 5% level.

جدول ۵- اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر شاخص‌های تحمل تنش خشکی در کلزا

Table 5- Interaction of planting date and cultivar on drought-tolerance indices of rapeseed

تیمارها Treatments		عملکرد دانه شرایط بدون تنش (Yp)	عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys)	شاخص تحمل تنش (STI)	شاخص عملکرد (YI)	شاخص پایداری عملکرد (YSI)	میانگین بهره‌وری حسابی (MP)	میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)
تاریخ کاشت Planting date	رقم Cultivar							
۱۵ مهر 7 Oct	ES Hydromel	4786.0 a	3490.7 a	1.28 a	1.36 a	0.76 a	4138.2 a	4062.3 a
	ES Alonso	4573.7 a	3401.5 a	1.20 ab	1.33 a	0.75 a	3987.8 a	3925.8 a
	ES Darko	4418.3 a	3242.5 a	1.11 ab	1.26 a	0.75 a	3830.5 a	3756.7 a
	ES Lauren	4123.7 a	3018.3 a	0.97 b	1.18 a	0.73 a	3571.0 a	3527.8 a
	Ahmadi	4626.3 a	3410.5 a	1.26 ab	1.33 a	0.73 a	4018.5 a	3964.0 a
۱۵ آبان 6 Nov	ES Hydromel	2897.8 b	1993.8 b	0.45 c	0.78 b	0.71 a	2445.8 b	2397.2 b
	ES Alonso	2602.3 b	1716.2 b	0.34 c	0.67 b	0.68 a	2159.2 b	2103.3 b
	ES Darko	2626.5 b	1667.5 b	0.33 c	0.65 b	0.66 a	2147.0 b	2061.5 b
	ES Lauren	2566.2 b	1723.7 b	0.34 c	0.67 b	0.69 a	2144.8 b	2093.3 b
	Ahmadi	2888.3 b	1971.8 b	0.47 c	0.77 b	0.70 a	2430.2 b	2382.2 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

Numbers with common alphabets, according to the Duncan test, have no significant difference at the 5% level.

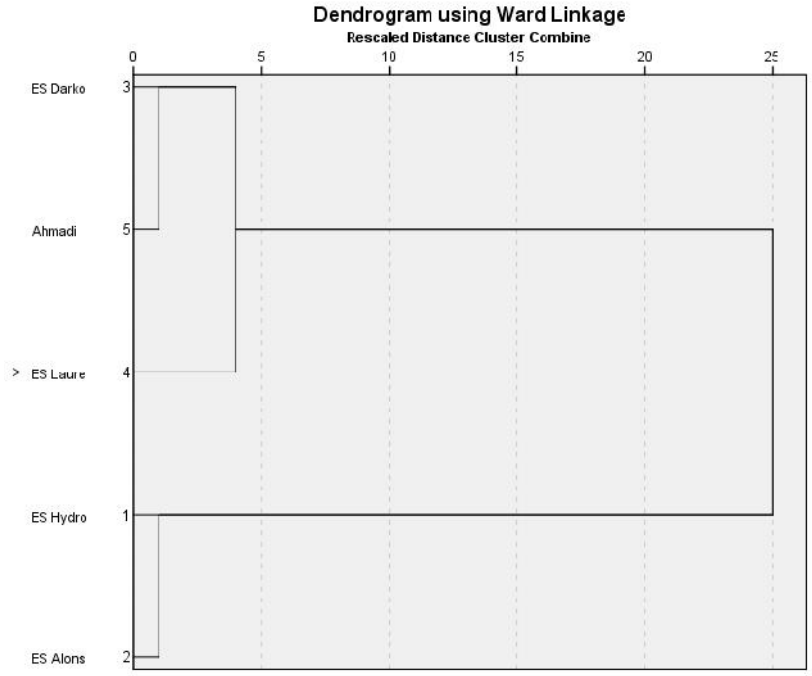
جدول ۶- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش

Table 6- Correlation of drought-tolerance indices and grain yield of rapeseed cultivars under normal and stress conditions

	Yp	Ys	STI	YI	YSI	MP	GMP
عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp)	1						
عملکرد دانه در شرایط تنش (Ys)	0.83 **	1					
شاخص تحمل تنش (STI)	0.94 **	0.95 **	1				
شاخص عملکرد (YI)	0.83 **	0.99 **	0.95 **	1			
شاخص پایداری عملکرد (YSI)	-0.12 ns	0.43 **	0.19 ns	0.43 **	1		
میانگین بهره وری (حسابی) (MP)	0.96 **	0.95 **	0.99 **	0.95 **	0.13 ns	1	
میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)	0.95 **	0.96 **	0.99 **	0.96 **	0.18 ns	0.98 **	1

* و ** به‌ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار.

* and ** are significant at 5% and 1% respectively and ns is non- significant.



شکل ۱- نمایش دندوگرام بر اساس متوسط پیوستگی بین ارقام

Figure 1- Scheme of dendrogram according to mean correlation between the cultivars

References منابع مورد استفاده

- Aktas, H. 2016. Drought tolerance indices of selected landraces and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes derived from synthetic wheats. *Applied Ecology and Environmental Research*. 14(4): 177-189.
- Bihamta, M.R., M. Shirkavand, J. Hasanpour, and A. Afzalifar. 2018. Evaluation of durum wheat genotypes under normal irrigation and drought stress conditions. *Journal of Crop Breeding*. 9(24): 119-138. (In Persian).
- Bouslama, M., and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*. 24: 933-937.
- De Martonne, E. 1926. Aerisme, et índices d'aridite. *Comptesrendus de L'Academie des Sciences*. 182: 1395-1398
- Ebrahimiyan, M., M.M. Majidi, A. Mirlohi, and A. Noroozi. 2013. Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*. 190(3): 401-414.
- Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Proceedings of the International Symposium on Biology of Plants. Kuo, C.G. (ed.). pp: 158-1249. American Society of Plant Biologists, Rockville, MD.

- Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi, and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77(4): 523-531.
- Jamshidi, N., A.H. Shirani Rad, F. Takht chin, P. Nazeri, and M. Ghafari. 2012. Evaluation of rapeseed genotypes under drought stress condition. *Journal of Crop Ecophysiology*. 6(3): 323- 338. (In Persian).
- Khalili, M., M.R. Naghavi, A.R. Pour Aboughadareh, and S.J. Talebzadeh .2012. Evaluating of drought stress tolerance based on selection indices in spring canola cultivars (*Brassica napus* L.). *Journal of Agricultural Science*. 4(11): 78-85.
- Laaniste, P., V. Eremeev, E. Maeorg, and J. Joudu. 2016. Effect of sowing date on oil, protein and glucosinolate concentration of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Agronomy Research*. 14(SI2): 1384-1395.
- Majidi, M.M., M. Jafarzadeh Ghahdrijani, F. Rashidi, and A. Mirlohi. 2015. Identification of canola cultivars with drought tolerance indices. *Iranian Journal Field Crop Science*. 45(4): 565-573. (In Persian).
- Menezes, C.B., C.A. Ticona-Benavente, F.D. Tardin, M.J. Cardoso, E.A. Bastos, D.W. Nogueira, A.F. Portugal, C.V. Santos, and R.E. Schaffert. 2014. Selection indices to identify drought-tolerant grain sorghum cultivars. *Genetics and Molecular Research*. 13(4): 9817-9827.
- Mohammadi, M., M. Karimizadeh, and R. Abdipour. 2011. Evaluation of drought tolerance in bread wheat genotypes under dryland and supplemental irrigation conditions. *Australian Journal of Crop Sciences*. 5(4): 487-493.
- Monajem, S., V. Mohammadi, and A. Ahmadi. 2011. Evaluation of drought tolerance in some rapeseed cultivars based on stress evaluation indices. *Electronic Journal of Crop Production*. 4(1): 151-169. (In Persian).
- Naeemi, M., Gh.A. Akbari, A.H. Shirani Rad, S.A.M. Modares Sanavi, S.A. Sadat Nuri, and H. Jabari. 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Electronic Journal of Crop Production*. 1(3): 83-98. (In Persian).
- Naghavi, M.R., A.P. Khalili, and M. Aboughadareh. 2015. Effect of water deficit stress on yield and yield components of canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*. 7: 8-13.
- Ranjbar, G.H., and M.J. Rusta. 2011. The most effective stability index for selection of wheat genotypes under saline conditions. *Soil Research Journal*. 24(3): 283-290. (In Persian).
- Rezayian, M., V. Niknam, and H. Ebrahimzadeh. 2018. Effects of drought stress on the seedling growth, development, and metabolic activity in different cultivars of canola. *Soil Science and Plant Nutrition*. 64(3): 360-369.
- Rosielle, A.A., and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 21(6): 43-46.
- Rossell, J.B., and J.L.R. Pritchard. 1991. Analysis of oilseeds fats and fatty foods. Elsevier Science Publishers. USA. 545 pp.

- Rouhi, M., M. Banayan Aval, and A.H. Shirani Rad. 2020. Qualitative changes and yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars in drought stress in late season. *Jornal of Crop Ecophysiology*. 13(4): 499-516. (In Persian).
- Salehi, M., and S.A. Mosavat. 2009. Selection criteria of wheat genotypes under salt stress in Golestan province. *Electronic Journal of Crop Production*. 1(4): 19-33. (In Persian).
- Shahverdikandi, M., A. Tobeh, S. Jahanbakhsh Godehkahriz, and Z. Rastegar. 2011. The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 2(3): 89-95.
- Shirani Rad, A.H., and A. Abbasian. 2011. Evaluation of drought tolerance in rapeseed genotypes under non-stress and drought stress conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 39(2):164-171.
- Shirani Rad, A.H., Z. Bitarafan, F. Rahmani, T. Taherkhani, A. Moradi Aghdam, and S. Nasresfahani. 2014. Effect of planting date on spring rapeseed (*Brassica napuse* L.) cultivars under different irrigation regimes. *Turkish Journal of Field Crops*. 19(2): 153-157.
- Talebi, R., F. Fayaz, and A.M. Naji. 2009. Effective selection criteria for assessing drought stress tolerance in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *General and Applied Plant Physiology*. 35: 64-74.
- Turhan, H., M.K. Gul, C.O. Egesel, and F. Kahriman. 2011. Effect of sowing time on grain yield, oil content, and fatty acids in rapeseed (*Brassica napus* subsp. oleifera). *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 35(3): 225-234.
- Valipour Dastenaei, M., A.H. Shirani Rad, S.A. Valadabadi, S. Seifzadeh, and H.R. Zakerin. 2020. Effect of winter planting date on qualitative traits and yield of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars by using zinc spray in Karaj redion. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(4): 589-603. (In Persian).
- Youssefi, A. 2017. Assessing indices of drought resistance in three species of canola under restricted irrigation. *Environmental Stresses in Crop Science*. 10(2): 257-267. (In Persian).
- Zhang, X., G. Lu, W. Long, X. Zou, F. Li, and T. Nishio. 2014. Recent progress in drought and salt tolerance studies in *Brassica* crops. *Breeding Science*. 64(1): 60-73.

Research Article DOI: 10.30495/jcep.2021.681007

Identification of Tolerate Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars to Drought Tolerance Indices under Late Sowing Date

Aliakbar Shafighi[1], Mohammad Reza Ardakani[2*], Amir Hossein Shirani Rad[3], Mojtaba Alavi Fazel[4], and Farnaz Rafiei[5]

Received: February 2019 , Revised: 7 June 2020, Accepted: 20 August 2020

Abstract

Water resource limitation in the end of growth season of rapeseed crop is one of the main problems for production and development of this crop in semi-arid regions of Iran. Therefore, introduction of compatible and tolerate cultivar to this condition is crucial for growth expansion of rapeseed. To identify and introduce suitable rapeseed cultivar for delayed planting, a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications at Research Field of Seed and Plant Improvement Research Institute of Karaj, Iran was conducted in 2015-16 and 2016-17. In this study, sowing dates were October 7 (normal) and November 6 (delayed planting) asseinged to the main plots, and rapeseed cultivars including ES Hydromel, ES Alonso, ES Darko, ES Lauren and Ahmadi to the sub-plots. To introduce of tolerate cultivar to drought tolerance indices, experimental plots were subjected to two common irrigation conditions (control) and irrigation interruption from the flowering stage onwards (drought stress). Combined analysis of data indicated that delayed planting significantly reduced rapeseed oil percentage and oil yield. According to the results ES Hydromel cultivar produced the highest oil percentage (41.61%) and oil yield (1381.08 kg.ha^{-1}). Based on the selected indices of this study, including geometric mean productivity, stress tolerance index, and mean productivity, the most tolerant cultivar under both normal and delayed planting was ES Hydromel and the least tolerant cultivar under normal conditions was ES Lauren and under stress conditions was ES Darko. The results of cluster analysis also confirmed the formation of two clusters, ES Darko, Ahmadi and ES Lauren in belonged to sensitive cluster and ES Hydromel and ES Alonso to the tolerant cluster.

Key words: Drought stress, Grain yield, Hybrids, Oilseed, Sowing date.

1-Ph.D. Student of Agronomy, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2-Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran.
3-Professor, Department of Agronomy, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.
4-Associate Professor, Department of Agronomy, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
5-Assistant Professor, Department of Agronomy, Tehran North Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
**Corresponding Author: mreza.ardakani@gmail.com*