

ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی در سه گونه کلزا (*Brassica spp.*) تحت شرایط محدودیت آبیاری

عبداله یوسفی*

۱. فارغ‌التحصیل دکتری زراعت دانشگاه دولتی ارمستان، مدیر جهاد کشاورزی خراسان شمالی، بجنورد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۱۹

چکیده

تنش خشکی به‌عنوان گسترده‌ترین تنش غیرزیستی، نقش کلیدی در عملکرد دانه کلزا در مناطق خشک و نیمه‌خشک در نتیجه تغییرات اقلیمی دارد. برای مطالعه کارایی شاخص‌های رایج تحمل به خشکی، ۹ رقم از سه گونه جنس *Brassica* (*B. rapa*، *B. napus* و *B. juncea*) در دو آزمایش جداگانه به صورت طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار در شرایط تنش خشکی آخر فصل و بدون تنش خشکی طی سه سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی کشت شدند تا شاخص‌های ارزیابی مقاومت به خشکی در ارقام طی سال‌های متفاوت از لحاظ بارش و طول دوره رشد مورد بررسی قرار گیرند. بیشترین مقدار عملکرد در اولین سال آزمایش در نتیجه بارندگی بیشتر و دمای کمتر محیط و متعاقباً افزایش ۲۵ تا ۳۴ روزه طول دوره رشد به دست آمد. هایولا ۴۰۱ و هایولا ۳۰۳ بیشترین عملکرد را هم تحت شرایط آبیاری نرمال و هم تنش خشکی آخر فصل تولید کردند، در حالی که دو رقم گونه *B. juncea* حداقل تولید عملکرد را در دو شرایط تنش و بدون تنش داشتند. در کل به نظر می‌رسد که شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد، متوسط عملکرد و تحمل به تنش برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی در انتهای فصل رشد مناسب‌تر بوده و انتخاب براساس پایداری عملکرد در اقلیم خراسان موفق نخواهد بود و استراتژی حصول عملکرد بالاتر در سال‌های پربارش و عملکرد معقول در سال‌های کم بارش مؤثرتر است.

واژه‌های کلیدی: ارقام بهاره کلزا، عملکرد دانه، شاخص‌های گزینش.

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور محدودکننده تولید محصولات کشاورزی عملکرد دانه کلزا و متعاقباً میزان تولید روغن کلزا را به شدت کاهش می‌دهد (Rice, 1994; Ackman, 1994). از سوی دیگر تغییرات اقلیمی به‌ویژه در ایران میزان تولید این روغن خوراکی در اثر تغییر میزان بارندگی بهاره تغییر می‌دهد (Nazaripour and Mansouri, 2014). امروزه تعیین میزان بارندگی و پراکنش آن علیرغم تجهیزات مدرن در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور که دارای تغییرات شدید میزان بارندگی بهاره هستند، به‌ویژه مناطق شرقی کشور غیرممکن به نظر می‌رسد (Nazaripour and Mansouri Daneshvar, 2014).

از طرفی عدم انجام آبیاری کامل بهاره محصولات پاییزه گندم، کلزا و جو در انتهای فصل رشد توسط کشاورزان به‌منظور کشت محصولات بهاره و صیفی‌جات و لذا وقوع تنش خشکی امری اجتناب‌ناپذیر است که شدت و ضعف تنش خشکی با میزان بارندگی‌های بهاره متفاوت خواهد بود؛ بنابراین ارقام خاصی از محصولات پاییزه من جمله کلزا برای کشت در شرایط تنش‌های مختلف خشکی ناشی از تغییرات اقلیمی و بارندگی بهاره مورد نیاز است. تنش خشکی هنگامی اتفاق می‌افتد که میزان تعرق بیش از میزان جذب آب باشد (Thomas, 1997). تحت این شرایط تقریباً تمام جنبه‌های رشدی و فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان از جمله کلزا تحت

Choghakaboodi et al., 2012; Kakaei et al., 2010; Naeemi et al., 2007). پایداری عملکرد به معنی حداقل اختلاف بین پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی در محیط‌های مختلف است (Farooq et al., 2009). آنالیز پایداری عملکرد به‌عنوان اولین شاخص برای برآورد مقاومت به خشکی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف بکار رفته است (Finlay and Wilkinson, 1963). برخی محققین از شاخص حساسیت به تنش (SSI) که توسط فیشر (Fischer and Maurer, 1978)، روسیلی و هامبلینگ (Rosielle and Hombling, 1984) معرفی شده است برای اندازه‌گیری حساسیت به تنش ژنوتیپ‌ها استفاده کرده‌اند. گزینش بر اساس این شاخص منجر به ایجاد ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در شرایط نرمال و عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود. روسیلی و هامبلینگ (Rosielle and Hombling, 1984) و فرناندز (Fernandez, 1992) شاخص تحمل به تنش بر اساس تفاوت‌های عملکردی در شرایط نرمال و تنش را معرفی کردند. مقادیر بالای این شاخص بیانگر حساسیت بالاتر به تنش خشکی است. به‌نژادگران ارقامی که عملکرد بالا در شرایط مختلف داشته باشند را معرفی می‌کنند، به همین خاطر SSI برای تنش‌های شدید کاربرد ندارد درحالی‌که شاخص متوسط عملکرد (MP) و شاخص تحمل به تنش (STI) برای شرایط تنش شدید بکار می‌رود (Naeemi et al., 2007). اثرات متقابل ژنوتیپ در محیط گزینش رقم را بر اساس عملکرد بالا در محیط‌های مختلف مشکل می‌سازد، لذا محققان به دنبال ارقام با عملکرد قابل قبول در هر محیطی با توجه به شرایط آن هستند. بدین منظور شاخص تحمل (TOL) که توسط روسیلی و هامبلینگ (Rosielle and Hombling, 1984) پیشنهاد شده است برای تعیین حساسیت نسبی ژنوتیپ‌ها بکار می‌رود. فرناندز (Fernandez, 1992) ژنوتیپ‌ها را به چهار گروه بر اساس واکنش آن‌ها به شرایط تنش و مطلوب طبقه‌بندی می‌کند. گروه ۱ ژنوتیپ‌هایی را شامل می‌شود که عملکرد نسبتاً بالا در هر دو شرایط دارند. گروه ۲ دربردارنده ژنوتیپ‌هایی است که عملکرد بالا در محیط بدون تنش هستند. گروه سوم ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا تحت شرایط تنش را در برمی‌گیرد. این ژنوتیپ‌ها عموماً دارای عملکردهای پایین تحت شرایط نرمال به خاطر رشد رویشی بالا و یا بیماری‌ها و آفات اپیدمیک هستند. درنهایت گروه چهارم دربرگیرنده ژنوتیپ‌های با عملکرد پایین در هر دو محیط نرمال و تنش خشکی است. همان‌طور که روشن است گروه ۱

تأثیر کمبود آب و افزایش دما ناشی از کاهش بارندگی قرار گرفته و میزان عملکرد محصول کاهش می‌یابد (Passioura, 1983, 1997). خشکی انتهای فصل رشد و نقصان آب در کلزا منطبق با زمان گل‌دهی و پر شدن دانه‌ها است (Kohli, and McMahon, 1988). این پدیده منجر به کوتاه شدن دوره گل‌دهی و متعاقباً کاهش عملکرد دانه می‌شود (Gan et al., 2007; Wright et al., 1996). کاهش دوره گل‌دهی در شرایط خشکی منجر به کاهش تعداد غلاف در گیاه، وزن هزار دانه، درصد روغن دانه و نهایتاً عملکرد دانه کلزا می‌شود (Naeemi et al., 2007; Sinaki et al., 2007). از طرفی، تنوع ژنتیکی وسیعی برای تحمل به خشکی در بین گونه‌های مختلف کلزا گزارش شده است (Richards, 2007). Richards and Thurling, 1978a, b (1978) گان و همکاران (Gan et al., 2007) گزارش نمودند که گونه *B. juncea* عملکرد بالاتری را در شرایط تنش نسبت به گونه‌های *B. rapa* و *B. napus* دارد. مهم‌ترین راهکار گیاه کلزا برای تحمل تنش خشکی تغییرات فنولوژیکی است (Donatelli et al., 1992).

در طبیعت، بقاء در شرایط نامطلوب کم‌آبی را تحمل یا مقاومت به خشکی گویند ولی در محصولات زراعی تولید محصول در شرایط نامطلوب مدنظر است لذا اصلاح ارقام مقاوم به خشکی هدف به‌نژادگران برای کسب موفقیت است (Clark et al, 1992). در همین راستا، تعداد زیادی صفات با ویژگی‌های مطلوب (۱) نقش اثبات‌شده آن‌ها در مقاومت به خشکی و عملکرد، (۲) سهولت اندازه‌گیری و زمان مناسب ظاهر در طول چرخه زندگی، (۳) وراثت‌پذیری بالا، و (۴) زمان و هزینه کم موردنیاز برای ایجاد ۱۰-۸ درصد پیشرفت احتمالی عملکرد در محیط‌های خشک (Reynolds and Tuberosa, 2008; Saba et al., 2001; Gavuzzi et al., 1997) برای استفاده در اصلاح گیاهان برای مقاومت به خشکی معرفی شده‌اند که گزینش رقم بر اساس هر یک از آن‌ها منجر به پاسخ‌های متفاوتی شده است. به همین دلیل برخی از شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی نسبت به سایر شاخص‌ها ارجح است. شاخص‌های میانگین هندسی عملکرد (GMP)، متوسط عملکرد (MP) و شاخص تحمل به تنش (STI) را نسبت به سایر شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم به خشکی با توجه به همبستگی بالاتر آن‌ها با عملکرد دانه مناسب‌تر گزارش کردند (Aliakbari et al., 2014; Farshadfar et al., 2013;)

سیلت-لوم با اسیدیته ۸ و شوری ۱/۵ (ds/m) بود. میزان نیتروژن و فسفر در دسترس طی سه سال آزمایش به ترتیب ۲۰۰ و ۱۵ پی پی ام بود. آزمایش در قالب دو طرح مجزای بلوک های کامل تصادفی یکی تحت شرایط مطلوب آبیاری و دیگری تحت تنش خشکی آخر فصل با سه تکرار و ۹ رقم (جدول ۱) از سه گونه *B. napus*، *B. rapa* و *B. juncea* دارای الگوی رشد بهاره با کشت در اوایل مهرماه با استفاده از ماشین کشت وینتراشنایگر با تراکم ۹۳ بوته در مترمربع اجرا گردید. هر کرت آزمایش ۶ خط کشت با فواصل ۳۰ سانتی متری و طول ۶ متری بود که فاصله بوته ها بر روی خط ۳ سانتی متر بود. آبیاری در شرایط تنش پس از یخبندان زمستانه و آغاز رشد زایشی بر اساس ۱۲۰ میلی متر تبخیر از تشتک کلاس A انجام شد و تحت شرایط نرمال بر اساس ۶۰ میلی متر تبخیر صورت پذیرفت (جدول ۳). آبیاری به صورت جوی و پشته ای بود و کل آب مصرف شده برای طرح تنش خشکی و بدون تنش به ترتیب ۳۰۰۰ و ۵۳۰۰ مترمکعب در هکتار شد.

نتایج و بحث

محیط

پس از اطمینان از نرمال بودن داده ها و انجام آزمون بارتلت، آنالیز مرکب عملکرد برای شش محیط نشان داد که اثر مکان (تنش خشکی) در سطح ۱٪ معنی دار است (جدول ۴). مقایسه میانگین عملکرد دانه برای دو مکان تنش خشکی و بدون تنش خشکی، به خوبی حاکی از اثر اعمال تیمار تنش خشکی و کاهش عملکرد ۲۰ درصدی نسبت به تیمار آبیاری مطلوب می باشد (جدول ۴). اثر سال در این آزمایش نیز در سطح ۱٪ معنی دار گردید (جدول ۴). طبق نتیجه آزمون مقایسه میانگین بیشترین عملکرد دانه در سال اول کشت به دلیل بارندگی بیشتر بخصوص طی دوره گل دهی کلزا (فصل بهار) به دست آمد (جدول ۴). از طرفی طبق داده های هواشناسی سه سال (جدول ۵) بارندگی بیشتر در سال اول منجر به متوسط دمای کمتر آن نسبت به سال های دیگر طی دوره گل دهی کلزا شد که متعاقباً گیاه کلزا در این سال از فرصت گل دهی و طول دوره رشد طولانی تر برخوردار بود.

بهترین حالت برای به نژادی ژنوتیپ ها است. لذا فرناندز (Fernandez, 1992) برای تعیین ژنوتیپ های گروه اول کاربرد شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP) را بجای متوسط عملکرد (MP) به خاطر حساسیت کمتر به مقادیر مختلف عملکرد در دو محیط و افزایش دقت در گزینش ژنوتیپ ها ارائه کردند. از طرفی مقادیر بالاتر STI بیانگر ژنوتیپ های پایدارتر بر اساس GMP است و به راحتی می توان ژنوتیپ های گروه ۱ را از سایر ژنوتیپ ها با استفاده از این شاخص (STIGMP) تفکیک کرد (Fernandez, 1992). زیرجدی (Zebarjadi, 2008) در کلزا شاخص STI را جهت گزینش ژنوتیپ های متحمل کارآمد معرفی نمود. همچنین پورداد و همکاران (Pordad et al., 2008) STI را به عنوان مطلوب ترین شاخص مقاومت به خشکی در بررسی مقاومت به خشکی گلرنگ های بهاره در مناطق مختلف معرفی کردند. جهانگیری و کهریزی (Jahangiri and Kahrizi, 2015) شاخص های SSI و TOL را برای گزینش ارقام مقاوم به خشکی در کلزا نامناسب معرفی کردند. P تنش خشکی آخر فصل کلزا ناشی از حذف اختیاری برخی از آبیاری های انتهایی فصل رشد توسط کشاورزان می طلبد تا شاخص های تحمل به تنش خشکی برای گزینش ژنوتیپ های برتر تحت بارش های مختلف بهاره منطبق بر شرایط اقلیمی منطقه ارزیابی شوند به گونه ای که ژنوتیپ های ایده آل دارای عملکرد منطقی دانه کلزا تحت شرایط تنش شدید خشکی ناشی کمبود بارش های بهاره و عملکرد بالا در شرایط بارش های خوب بهاره با استفاده از شاخص های مناسب شناسایی و توصیه شوند.

مواد و روش ها

این آزمایش طی سه سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷، ۸۹-۱۳۸۸ و ۹۰-۱۳۸۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی واقع در مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ۹۸۵ متر ارتفاع از سطح دریا و متوسط بارندگی ۲۸۶ میلی متر در سال انجام شد که بر اساس روش آمبرژه دارای اقلیم سرد و خشک می باشد. بافت خاک مزرعه آزمایشی

جدول ۱. گونه و نوع رشد ارقام کشت‌شده در آزمایش.

Table 1. Species and growing type of used cultivars in experiment.

Cultivar	رقم	گونه	مبدأ	Origin	نوع رشد	Growing type
		Species				
(Hayola 401)	هایولا ۴۰۱	<i>Brassica napus</i>	استرالیا	Australia	بهاره	Spring
(Hayola 303)	هایولا ۳۰۳	<i>Brassica napus</i>	استرالیا	Australia	بهاره	Spring
(RGS 003)	آر جی اس ۰۰۳	<i>Brassica napus</i>	آلمان	German	بهاره	Spring
(Sarigol)	ساری گل	<i>Brassica napus</i>	ایران	Iran	بهاره	Spring
(Zarfarm)	زرغام	<i>Brassica napus</i>	ایران	Iran	بینابین	Intermediateate
(Goldrush)	گلدراش	<i>Brassica rapa</i>	هند	India	بهاره	Spring
(Parkland)	پارکلند	<i>Brassica rapa</i>	هند	India	بهاره	Spring
(Landrace)	لندریس	<i>Brassica juncea</i>	هند	India	بهاره	Spring
(B.P 18)	بی بی ۱۸	<i>Brassica juncea</i>	هند	India	بهاره	Spring

جدول ۲. شاخص‌های اندازه‌گیری شده مربوط به تنش‌ها.

Table 2. Formula of the calculated indices.

شاخص	اختصار	فرمول	منبع
Index	Abbreviation	Equation	References
شاخص تنش D = Stress Index	SI	$SI = (\bar{Y}_s / \bar{Y}_p)$	Fisher and Maurer (1978)
شاخص حساسیت به تنش Stress Susceptibility Index	SSI	$SSI = (1 - Y_{si} / Y_{pi}) / SI$	Fisher and Maurer (1978)
شاخص تحمل تنش Stress Tolerance Index	STI	$STI = (Y_p \times Y_s) / (\bar{Y}_p)^2$	Fernandez (1992)
تحمل Tolerance	TOL	$TOL = Y_p - Y_s$	Rosielle and Hamblin (1984)
متوسط عملکرد Mean productivity	MP	$MP = (Y_p + Y_s) / 2$	Rosielle and Hamblin (1984)
متوسط عملکرد هندسی (هارمونیک) Geometric mean productivity	GMP	$GMP = \sqrt{Y_p \times Y_s}$	Gavuzi et al. (1997)
شاخص عملکرد Yield Index	YI	$YI = Y_s / \bar{Y}_s$	Bousslama and SchaPaugh (1984)
شاخص پایداری عملکرد Yield Stability Index	YSI	$YSI = Y_s / Y_p$	Choukan et al. (2006)
شاخص کاهش عملکرد Reduction Yield Index	YR	$YR = [(Y_p - Y_s) / Y_p] \times 100$	Fernandez (1992)

\bar{Y}_s و \bar{Y}_p ، Y_s ، Y_p به ترتیب عملکرد (کیلوگرم دانه در هکتار) ژنوتیپ در شرایط مطلوب، عملکرد (کیلوگرم دانه در هکتار) ژنوتیپ در شرایط تنش، متوسط عملکرد (کیلوگرم دانه در هکتار) در شرایط مطلوب و متوسط عملکرد (کیلوگرم دانه در هکتار) در شرایط تنش.

Y_s ، Y_p ، \bar{Y}_s ، and \bar{Y}_p show yield of each cultivar in stress condition, yield of cultivar in control condition, mean yield of cultivars in stress condition and mean yield of cultivars in control condition, respectively.

جدول ۳. میزان آب آبیاری استفاده شده برای آبیاری در دو طرح طی دوره رشد در سه سال اجرای آزمایش (مترمکعب در هکتار).
Table 3. Used water for irrigation of canola in two conditions during three years of this study (m³/ha).

Irrigation regimes	Months						ماه‌ها		مجموع Total
	آبان Oct.	آذر Nov.	دی Dec.	بهمن Jan.	اسفند Feb.	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May	
آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 60 mm evaporation	900	400	-	-	-	650	1800	1550	5300
آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر Irrigation after 120 mm evaporation	900	400	-	-	-	500	700	500	3000

جدول ۴. آنالیز واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه.

Table 4. Summery of analysis of variances and mean comparison for seed yield.

S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات صفات Mean squares of traits	اثر اصلی Main effect	سطوح Levels	میانگین عملکرد دانه Mean of seed yield
Location	مکان 1	18530493.77**	مکان	تنش (Stress)	2049.28b#
Year	سال 2	17160713.65**	Location	کنترل (Control)	2527.7a
Location × Year	مکان × سال 2	13111914.26**	سال	2008-9/۱۳۸۷-۸۸	3025.8a
Block × (Location × Year)	بلوک × (مکان × سال) 12	258597.14	Year	2009-10/۱۳۸۸-۸۹	1957.7b
				2010-11/۱۳۸۹-۹۰	2178.9b
Cultivar	رقم 8	7203574.44**	Cultivar	هایولا ۴۰۱ (Hayola 401)	3214.1a
Location × Cultivar	مکان × رقم 8	455164.94 ^{ns}		هایولا ۳۰۳ (Hayola 303)	3178.5a
				آر جی اس ۰۰۳ (RGS 003)	2695.6b
Year × Cultivar	سال × رقم 16	378534.87**		ساری گل (Sarigol)	2640.3b
				زرغام (Zarfarm)	2328.4c
Location × Year × Cultivar	مکان × سال × رقم 16	96082.26 ^{ns}	گلدراش (Goldrush)	2472.6bc	
Error	خطا 96	128840.2	پارکلند (Parkland)	906.1e	
CV (%)	ضریب تغییرات	15.03	لندریس (Landrace)	1581.9d	
			بی بی ۱۸ (B.P 18)	1469.8d	

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم اثر معنی‌دار و اثر معنی‌دار آماری در سطح ۵٪ و ۱٪ می‌باشد.
***, * and ns show significant effect at 1%, 5% level, and no significant effect, respectively.

وجود حرف مشترک برای میانگین سطوح مختلف هر اثر اصلی بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار آماری در سطح ۵٪ توسط آزمون LSD می‌باشد.
Similar letters exhibit no significant difference by LSD test at 5% level.

شد. لذا در این شرایط ژنوتیپ‌های موفق خواهند بود که از پتانسیل عملکرد بالایی در صورت وقوع بارندگی‌های مناسب بهره‌مند بودند. از طرف دیگر، کاهش بارندگی‌ها در سال دوم آزمایش منجر به افزایش شدت تنش خشکی شد (جدول ۵) که در این شرایط ژنوتیپ‌هایی موفق خواهند بود که توانایی

اثر متقابل سال در مکان نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). با تأمین آب کافی ناشی از بارندگی‌های بهاره و طولانی‌تر شدن دوره رشد ناشی از کاهش دمای محیط، عملکرد ارقام در محیط تنش در سال اول آزمایش معادل و در برخی موارد برتر از عملکرد ارقام در محیط بدون تنش آبی

همان پایداری عملکرد، متوسط عملکرد نه‌چندان بالای آن خصوصاً در سال پربارش باعث می‌شود که از انتخاب آن طبق استراتژی حصول عملکرد بالاتر در شرایط مطلوب رطوبت ناشی از بارندگی صرف‌نظر گردید. در مجموع به نظر می‌رسد گزینش بر اساس شاخص‌های پایداری (مثل YR, YSR و Richards,) که توسط تعداد زیادی از محققان (SSI 1978; Richards & Thurling, 1979; Rad and Abbasian, 2011; Jahangiri and Kahrizi, 2015) مناطق با تغییرات اقلیمی بالا و تنوع غیرقابل‌پیش‌بینی میزان و پراکنش بارش همانند مناطق شرقی ایران کارآمد نباشد و ژنوتیپ‌های به‌دست‌آمده بر اساس پایداری عملکرد توان حداکثر بهره‌برداری از رطوبت ناشی از بارندگی طی سال‌های پربارش و یا تأمین آب موردنیاز نداشته باشند. اقتصادی‌ترین ژنوتیپ‌ها هاپولا ۴۰۱، هاپولا ۳۰۳ و آر جی اس ۰۰۳ بودند که از عملکرد دانه منطقی در شرایط تنش خشکی شدید انتهایی فصل ناشی از کاهش آب آبیاری و بارش‌های بهاره برخوردار بوده و در شرایط وقوع بارش‌های مناسب بهاره توان ایجاد عملکرد دانه بالایی را داشتند. این ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا هم در شرایط تنش خشکی و هم شرایط با آبیاری نرمال بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش (STI)، میانگین عملکرد (MP) و میانگین هندسی عملکرد (GMP) که توسط سایر محققان نیز پیشنهاد شده‌اند (Naeimi et al, 2007; Zebarjadi, 2008 and Pordad et al, 2008 جزو ژنوتیپ‌های گروه یک فرناندز (Fernandez, 1992) قرار گرفتند.

عدم همبستگی معنی‌دار آماری بین متوسط عملکرد دانه در شرایط نرمال (Yp) و تنش (Ys) با شاخص‌های پایداری (YSI و YR) و شاخص حساسیت به تنش (SSI)، عکس شاخص‌های STI و YI که رابطه معنی‌داری با عملکردها داشتند، حاکی از عدم کارایی این معیارها را برای گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب است (جدول ۸). ضریب همبستگی بین شاخص تحمل به تنش بر اساس میانگین حسابی ارقام (STI) با شاخص تحمل به تنش بر اساس میانگین هندسی ارقام (STI_{GMP}) یک می‌باشد (جدول ۸)، بدین معنی استفاده از هر کدام به یک نتیجه منجر می‌شود و تفاوتی بین آن‌ها وجود ندارد.

ایجاد حداقل عملکرد مناسب در اثر وقوع تنش آبی را داشته باشند. در مجموع استراتژی گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا هم در شرایط تنش خشکی و هم در شرایط بدون تنش (Tester and Langridge, 2010) اصلاحگر را برای شناسایی ژنوتیپ‌های گروه A طبقه‌بندی فرناندز (Fernandez, 1992) برای مناطق متغیر از نظر میزان بارندگی‌ها و پراکنش آن کمک می‌کند.

رقم

اثر رقم و اثر متقابل رقم در سال در سطح ۱٪ معنی‌دار می‌باشند (جدول ۴). ارقام هاپولا ۴۰۱ و ۳۰۳ از گونه *B. napus* بیشترین عملکرد دانه و رقم پارکلند از گونه *B. rapa* کمترین متوسط عملکرد دانه را طی سه سال آزمایش داشتند (جدول ۴). معنی‌دار بودن اثر متقابل رقم در سال بدین معنی است که ارقام کلزاً عموماً در سال‌های مختلف واکنش‌های متفاوتی را به شرایط محیطی متنوع ناشی از تنش خشکی انتهای دوره رشد و تغییر میزان بارندگی و متعاقباً دمای محیط داشتند. با بررسی عملکرد ارقام طی سال‌های مختلف در دو مکان تنش خشکی انتهای دوره رشد و شرایط مطلوب آبیاری (جدول ۶) مشخص می‌شود که ارقام گونه *B. napus* به‌ویژه هاپولا ۴۰۱ و ۳۰۳ علیرغم عملکرد دانه بالا پایدار نبوده و بیشترین تنوع را در سال‌های آزمایش دارند ولی رقم زرفام از گونه *B. napus* و گلدراش از گونه *B. rapa* علیرغم عملکرد کم دانه از پایداری بیشتر برخوردار بودند (جدول ۶).

شاخص‌ها

پایداری عملکرد که توسط شاخص‌های YSI و YR محاسبه شده است، ژنوتیپ‌هایی را گزینش می‌کند که عملکردهای مشابهی در محیط‌های متفاوت داشته باشد (Finlay and Wilkinson, 1963). رقم زرفام از پایداری عملکرد نسبتاً بالایی نسبت به سایر ارقام برخوردار باشد. این موضوع یا به دست آمدن متوسط شاخص پایداری عملکرد (YSI) برای این رقم و داشتن حداقل شاخص کاهش عملکرد (YR) در مقابله با تنش خشکی تأیید می‌گردد (جدول ۷). از طرف دیگر، شاخص حساسیت به تنش (SSI) در این رقم به‌طور متوسط طی سه سال اجرای آزمایش و میانگین سه سال نسبت به سایر ارقام مقدار کمتری به خود اختصاص داد (جدول ۷). علی‌رغم مزیت‌های ذکر شده برای رقم زرفام یعنی

جدول ۵. میزان بارندگی و متوسط دما در سال های اجرای آزمایش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق- مشهد.

Table 5. Rate of precipitation and monthly average temperature during 3 years experiment in Mashhad.

ماه Months	بارندگی (میلی متر) Precipitation (mm)			دما (درجه سانتی گراد) Temperature (°C)		
	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰	۱۳۸۷-۸۸	۱۳۸۸-۸۹	۱۳۸۹-۹۰
	2008-9	2009-10	2010-11	2008-9	2009-10	2010-11
مهر / Oct.	0	0.5	0	18.9	17	20.7
آبان / Nov.	10.3	8.6	5.8	8.2	12	12.3
آذر / Dec.	12.5	1.1	22.2	6.8	5	9.5
دی / Jan.	29.2	13.1	4.2	3.4	7	3.6
بهمن / Feb.	28.8	41.3	22.6	6.6	5	4.5
اسفند / March	40.2	22.4	50.5	10.9	11.8	5.4
فروردین / April	102.1	10.1	27.6	6.6	13.7	14.8
اردیبهشت / May	38.7	15.4	35.1	18	20.1	22.7
خرداد / June	5.1	6.4	3.5	24	26	27
Total / کل	266.9	118.9	171.5			

جدول ۶. مقایسه عملکرد دانه ارقام کلزا کشت شده طی سال های مختلف آزمایش.

Table 6. Mean comparison among cultivars at 3 years of experiment.

۱۳۸۹-۹۰ 2010-11		۱۳۸۸-۸۹ 2009-10		۱۳۸۷-۸۸ 2008-9		ارقام Cultivar
کنترل (Control)	تنش (Stress)	کنترل (Control)	تنش (Stress)	کنترل (Control)	تنش (Stress)	
a3388.2b	ab2363.5de	a3574.96ab	b1277.73h	a3797.24a	a3683.27a	هایولا ۴۰۱ (Hayola 401)
a3182.8bc	a2505.1d	ab3327.73b	a1724.96f	a3561.07ab	a3569.44ab	هایولا ۳۰۳ (Hayola 303)
b2619.6cd	ab2204.1de	b3127.73bc	a1652.73fg	b2436.07d	ab2933.27c	آر جی اس ۰۰۳ (RGS 003)
b2675.4cd	b2049.4e	b3020.06bc	ab1436.06gh	b2674.94cd	ab2786.14cd	ساری گل (Sarigol)
c2335.1de	b2038.3e	c2730.53cd	ab1444.43gh	b2586.07g	b2544.37d	زرغام (Zarfarm)
b2652.7cd	bc1913.7ef	a3576.1ab	c1088.86h	bc2065.5e	b2338.94de	گلدراش (Goldrush)
d2029.4e	c1573.7g	c2436.1d	d416.63i	c1738.9f	c2041.57e	پارکلند (Parkland)
e1606.7fg	e1023.5h	d1866.63f	d438.83i	d1313.97gh	d1369.37gh	لندریس (Landrace)
e1704.7f	d1264.4h	d1738.86f	d349.96i	c1672.14fg	d1561.04g	بی پی ۱۸ (B.P 18)

- وجود حروف مشابه در سمت چپ بیانگر عدم اختلاف معنی دار آماری مربوط به همان ستون می باشد ولی حروف سمت راست جهت مقایسه میانگین کل اعداد جدول است.

- Similar letters in left-hand of means show lack of significant difference among them in each column, but similar letters in right-hand of means show no significant difference among all means of cultivars.

جدول ۷. شاخص‌های مقاومت به خشکی در سال‌های اجرای آزمایش.

ارقام	SSI			STI			STI _{crop}			TOL			MP			GMP			YR (%)			YSI			YI				
	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd	1 st	2 nd	3 rd		
Cultivars																													
(Hayola 401)	0.03	1.74	1.276	2.61	0.57	1.32	2.95	0.61	1.39	113.97	2297.2	1024.7	3740.26	2426.34	2875.8	3739.82	2137.25	3	64.25	30.2	0.97	0.3574	0.69	1.45	1.16	1.26			
(Hayola 303)	0	1.27	0.89	2.37	0.72	1.31	2.68	0.76	1.39	-8.37	1602.7	677.7	3565.26	2526.34	2843.9	3565.25	2395.87	2823.7	-0.24	48.16	21.3	1	0.5183	0.78	1.41	1.57	1.33		
(RGS 003)	-0.19	1.24	0.67	1.33	0.65	0.95	1.51	0.69	1.01	-497.2	1475	415.5	2684.67	2390.23	2411.8	2673.14	2273.60	2402.8	-20.41	47.15	15.9	1.2	0.5248	0.84	1.16	1.51	1.17		
(Sarigol)	-0.04	1.38	0.98	1.39	0.54	0.90	1.57	0.58	0.95	-111.2	1584	626	2730.54	2228.06	2362.4	2729.97	2082.54	2341.6	-4.16	52.44	23.3	1.04	0.4755	0.76	1.1	1.31	1.09		
(Zarfam)	-0.55	1.24	0.54	0.75	0.49	0.78	0.85	0.53	0.83	-958.3	1286.1	296.8	2065.22	2087.78	2186.7	2008.87	1958.96	2181.6	-60.42	47.10	12.7	1.6	0.5289	0.87	1	1.32	1.08		
(Goldrush)	-0.12	1.83	1.17	0.9	0.49	0.83	1.02	0.52	0.88	-273.4	2487.2	739	2202.22	2332.48	2283.2	2197.97	1973.28	2253.1	-13.24	69.55	27.8	1.13	0.3044	0.72	0.92	0.99	1.02		
(Parkland)	-0.16	2.18	0.95	0.66	0.13	0.53	0.75	0.14	0.55	-302.6	2019.4	455.7	1890.24	1426.36	1801.5	1884.17	1007.44	1787.1	-17.41	82.89	22.4	1.17	0.1710	0.78	0.8	0.38	0.84		
(Landrace)	-0.04	2.01	1.53	0.34	0.10	0.27	0.38	0.11	0.28	-55.4	1427.8	583.2	1341.67	1152.73	1315.1	1341.38	905.05	1282.4	-4.22	76.49	36.2	1.04	0.2350	0.64	0.54	0.40	0.54		
(B.P 18)	0.06	2.10	1.092	0.49	0.07	0.35	0.55	0.08	0.37	111.1	1388.9	440.3	1616.59	1044.41	1484.5	1615.64	780.08	1468.1	6.64	79.87	25.8	0.93	0.2012	0.74	0.62	0.32	0.67		
Averages of indices for three years / متوسط شاخص‌های برای سه سال آزمایش																													
(Hayola 401)	1.02			1.5			1.65			1145.3			3014.13			2902.29			32.48			0.67						1.29	
(Hayola 303)	0.72			1.47			1.61			757.37			2978.5			2928.27			23.07			0.77						1.44	
(RGS 003)	0.57			0.98			1.07			464.43			2495.57			2449.85			14.21			0.85						1.28	
(Sarigol)	0.77			0.94			1.03			699.6			2440.33			2384.7			23.86			0.76						1.17	
(Zarfam)	0.41			0.67			0.74			208.2			2113.23			2049.81			-0.21			1						1.13	
(Goldrush)	0.96			0.74			0.81			984.28			2272.63			2141.45			28.04			0.72						0.98	
(Parkland)	0.99			0.44			0.48			724.19			1706.03			1559.57			29.29			0.71						0.67	
(Landrace)	1.17			0.24			0.26			651.87			1269.83			1176.28			36.16			0.64						0.49	
(B.P 18)	1.08			0.3			0.33			646.77			1381.83			1287.94			37.44			0.62						0.54	

جدول ۸. ضرایب همبستگی بین شاخص ها، پتانسیل عملکرد و عملکرد تحت تنش خشکی.

Table 8. Correlation coefficients among indices, potential yield and stress yield.

شاخص / index	YI	YSI	YR	GMP	MP	TOL	STIGMP	STI	SSI	Ys (kg.ha ⁻¹)
YSI	0.542ns									
YR	-0.548ns	-1.000**								
GMP	0.970**	0.337ns	-0.344ns							
MP	0.959**	0.313ns	-0.320ns	0.999**						
TOL	0.075ns	-0.703*	0.700*	0.310ns	0.348ns					
STIGMP	0.919**	0.200ns	-0.207ns	0.981**	0.982**	0.400ns				
STI	0.920**	0.202ns	-0.209ns	0.982**	0.982**	0.400ns	1.000**			
SSI	-0.675*	-0.965**	0.967**	-0.480ns	-0.451ns	0.651*	-0.351ns	-0.352ns		
Ys (kg.ha ⁻¹)	0.996**	0.485ns	-0.491ns	0.983**	0.975**	0.134ns	0.948**	0.949**	-0.620ns	
Yp (kg.ha ⁻¹)	0.880**	0.117ns	-0.123ns	0.968**	0.977**	0.537ns	0.973**	0.974**	-0.258ns	0.907**

ns, * و ** به ترتیب بیانگر عدم رابطه معنی دار و رابطه معنی دار آماری در سطح ۵٪ و ۱٪ می باشد.

ns, * and ** show significant correlation at 1%, 5% level, and no significant correlation, respectively.

نتیجه گیری

برای غربال ژنوتیپ ها معرفی می شود. این ژنوتیپ های موفق در صورت داشتن عملکرد دانه منطقی تحت شرایط آبیاری محدود و کمبود بارش های بهاره طی سال های آزمایش شناسایی می شوند. شاخص های STI، MP و GMP برای پیشبرد این استراتژی مناسب هستند ولی شاخص های پایداری از قبیل YSI و YR برای گزینش ژنوتیپ های پربازده در سال های پر بارش گمراه کننده هستند بخصوص با در نظر گرفتن تغییرات جوی غیرقابل پیش بینی سال های اخیر. در کل ارقام هایولا ۴۰۱ و هایولا ۳۰۳ بر اساس متوسط عملکرد بلندمدت در سه سال آزمایش در هر دو شرایط خشکی و نرمال و شاخص های GMP، MP و STI برای دستیابی به بیشترین عملکرد دانه قابل برداشت توصیه می شوند.

در مجموع به نظر می رسد که شاخص میانگین هندسی عملکرد به دلیل عدم حساسیت به عملکردهای خیلی بالا و یا خیلی کم تحت تنش، به عبارت دیگر به اعداد خارج از دامنه، گزینه مناسبی برای ارزیابی ژنوتیپ ها باشد و شاخص تحمل به تنش برای تعیین توانایی گیاه برای تولید محصول بالا با تحمل شرایط تنش و حتی تحت شرایط نرمال نیز مناسب است. با انجام گزینش بر اساس این دو شاخص ارقام هایولا انتخاب شدند. ژنوتیپ های موفق در این مطالعه در شرایط آبیاری محدود از پتانسیل عملکرد دانه بالاتری نسبت به دیگر ژنوتیپ ها برخوردار بودند و بدین جهت این خصیصه اولین گام

منابع

- Ackman, R. G., 1994. "Canola Fatty Acids—An Ideal Mixture for Health, Nutrition and Food Use," In: F. Shahidi, Ed., Canola and Rapeseed: Production, Chemistry, Nutrition and Processing Technology, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 81-89.
- Aliakbari M., Razi H., Kazemeini, S. A., 2014. Evaluation of Drought Tolerance in Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars Using Drought Tolerance Indices. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 2, 696-705.
- Choghakaboodi, Z., Zebarjadi, A., Kahrizi, D., 2012. Evaluation of drought tolerance in canola genotypes in farm and laboratory condition. Seed and Plant Improvements Journal. 17, 28-37 (in Persian).
- Clark, J. M., Depauw, R. M., and Townley-Smith, T.F., 1992. Evaluation of methods for

- quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*. 32,723-728.
- Donatelli, M., Hammer, G. L., and Vanderlip, R. L., 1992. Genotype and water limitation effects on phenology, growth and transpiration efficiency in grain Sorghum. *Crop Science*. 32,781-786.
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra SMA., 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag (Germany). 29 (1),185-212.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M., & Safavi, S. M., 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*. 1(2), 143-158.
- Fernandez, G. C. J., 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C. G (Ed), *Proceedings of the international symposium on adaptation of vegetables and other food crops in temperature and water stress*, Pub., Tainan. Taiwan.
- Finlay, K. W., and Wilkinson, G. N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. *Australian Journal of Agricultural Research*. 14, 742-754.
- Fischer, R. A., Maurer, R., 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*. 29, 897-912.
- Gan, Y., Malhi, S. S., Brandt, S., Katapa-Muponwa F., and Kutcher, H. R., 2007. *Brassica juncea* canola in the northern great plains: responses to diverse environments and nitrogen fertilization. *Agronomy Journal*. 99, 1208-1218.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R. G., Ricciardi, G. L., and Borghi, B., 1997. Evaluation of field and laboratory predictors of drought and heat tolerance in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*. 77, 523-531.
- Jahangiri, S. and Kahrizi, D., 2015. Study of genetic variation and drought tolerance in commercial rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Journal of Genetic Resources*, 1(2), 73-82.
- Kakaei, M., Zebarjadi, A., Mostafaei, A., Rezaeizadeh, A., 2010. Identification of Rapeseed drought tolerance genotypes using tolerant indices. *Electronic Journal of Crop Production*. 2, 107-124.
- Kohli, M. M., and McMahon, M. A., 1988. A perspective of research needs for non-irrigated tropical conditions, wheat production constraints in tropical environments CIMMYT, Mexico. pp. 330-347.
- Naemi M., Akbari Gh. A., Shirani Rad A. H., 2007. Investigation of some morphological and agronomical traits of rapeseed cultivars in response to withheld irrigation at reproductive growth stages. *Agricultural Research*. 7(3), 223-234 (in Persian).
- Nazaripour, H. And Mansouri Daneshvar, M. R., 2014. Spatial contribution of one-day precipitations variability to rainy days and rainfall amounts in Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 11, 1751-1758.
- Passioura, J., 1983. Roots and drought resistance. *Agricultural water management*. 7(1), 265-280.
- Passioura, J., 1997. Drought and drought tolerance. In *Drought tolerance in higher plants: genetical, physiological and molecular biological analysis*. Springer, p. 1-5.
- Peterson, C. J., Graybosch, R. A., Baenziger, P. S., and Grombacher, A. W., 1992. Genotype and environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Science*. 32(1), 98-103.
- Pordad, S. S., Alizadeh, Kh., Azizinejad, R., Abdollah, SH., Eskandari, M., Kheyavi, M., Nabati, E., 2008. Evaluation drought resistance in spring *Carthamus tinctorius* in different area. *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*. 12, 403-415 (in Persian)
- Rad, A. H. S. and Abbasian, A., 2011. Evaluation of drought tolerance in winter rapeseed cultivars based on tolerance and sensitivity indices. *Žemdirbystė (Agriculture)*, 98(1), 41-48.
- Reynolds, M. and Tuberosa, R., 2008. Translational research impacting on crop productivity in drought-prone environments. *Curr. Opin. Plant Biology*. 11, 171-179.
- Rice, R., 1994. "Mediterranean Diet," *Lancet*, Vol. 344, No. 8926, pp. 893-894. doi:10.1016/S0140-6736(94)92869-X
- Richards, RA, Thurling, N., 1978b. Variation between and within species of rapeseed

- (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. II.* Growth and development under natural drought stresses. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 479-490.
- Richards RA, Thurling, N., 1978a. Variation between and within species of rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*) in response to drought stress. I. Sensitivity at different stages of development. Australian Journal of Agricultural Research. 29, 469-477.
- Richards, R. A., and Thurling, N., 1979. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). III. Physiological characters. Euphytica. 28(3), 755-759.
- Richards., R.A., 1978. Genetic analysis of drought stress response in rapeseed (*Brassica campestris* and *B. napus*). I. Assessment of environments for maximum selection response in grain yield. Euphytica. 27, 609-615
- Rosielle, A. A., and Homblin, J., 1984. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 21, 943-946.
- Saba, J., M. Moghaddam K. Ghassemi and M. R. Nishabouri., 2001. Genetic properties of drought resistance Indices. Journal of Agricultural Science and Technology. 3, 43 - 49.
- Sinaki, J. M., Majidi Heravan, E. A., Shirani Rad, H., Noormohamadi, G., and Zarei, G., 2007. The effects of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus*). American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science. 2(4), 417-422.
- Tester, M., and Langridge, P., 2010. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. Science. 327(5967), 818-822.
- Thomas, H., 1997. Drought resistance in plants. In: Basra, S. A. and Basra, R. K. (eds), mechanisms of environmental stress resistance in plants. IPH Publishers, New Delhi, India. Pp. 1-42.
- Wright P.R., Morgan J.M., and Jessop R.S., 1996. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea*) to soil water deficits: plant water relations and growth. Field Crops Research. 49, 51-64.
- Zebarjadi, A.R., 2008. Study on effects of drought stress on yield and yield components in some of rapeseed (*Brassica napus*) winter genotypes. Final report of research No. 542. Razi University.

