علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۴۵، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳ (ص ۵۷۳-۵۶۵)

# شناسایی ارقام متحمل کلزا با استفاده از شاخص‌های تحمل به خشکی

**محمدمهدی مجیدی[1*]، محسن جعفرزاده قهدریجانی[2]، فاطمه رشیدی[3] و آقافخر میرلوحی[4]**
۱، ۲، ۳ و ۴. دانشیار، دانشجویان سابق کارشناسی ارشد و استاد، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۹/۲۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۴/۲۷)

## چکیده

**کمبود آب از مهم‌ترین مشکلات تولید موفق محصولات کشاورزی در کشور ایران است. این پژوهش به‌منظور بررسی شاخص‌های تحمل به تنش و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ارقام کلزا انجام گرفت. در این آزمایش ۲۸ رقم کلزا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو محیط رطوبتی نرمال و تنش خشکی ارزیابی شد. به‌منظور ارزیابی تحمل به خشکی از شاخص حساسیت به خشکی (SSI) فیشر و مورر، شاخص‌های تحمل (TOL) و متوسط تولید (MP) روزیل و هامبلین و شاخص‌های میانگین هندسی تولید (GMP) و تحمل به تنش (STI) فرناندز استفاده شد. براساس نتایج همبستگی شاخص‌های تحمل با عملکرد دانه، شاخص‌های STI، GMP و MP مناسب‌ترین شاخص‌ها برای شناسایی و معرفی ارقام متحمل به خشکی شناخته شدند. مقایسهٔ میانگین شاخص‌ها براساس شاخص STI، نشان داد که رقم Nk fair متحمل‌ترین، و رقم Rpc 2023، حساس‌ترین رقم به شرایط تنش خشکی بودند. نمودار سه‌بعدی براساس Yp، Ys و STI نیز نشان داد که ارقام Nk fair و Oase ضمن داشتن عملکرد زیاد در شرایط عدم تنش دارای عملکرد به‌نسبت خوب و قابل قبولی در شرایط تنش‌اند؛ ازاین‌رو این ارقام برای اصلاح و ایجاد ارقام متحمل و دارای تولید زیاد در شرایط خشکی مناسب‌اند.**

**واژه‌های کلیدی:** بای پلات، تنش خشکی، کلزا، عملکرد.

## مقدمه

کلزا یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان است و از لحاظ سطح زیر کشت پس از سویا مقام دوم و از نظر تأمین روغن مصرفی بعد از سویا و نخل روغنی مرتبهٔ سوم را دارد (FAO, 2005). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که گیاه کلزا همانند بسیاری از گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که کمبود آب در مراحل مختلف رشدی به‌خصوص دورهٔ رشد زایشی، کمیت و کیفیت روغن تولیدشدهٔ این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Angadi & Cut forth, 2003).

خشکی دوره‌ای است که کمبود آب چه به‌صورت حاد و چه به‌صورت مزمن رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و مانع رشد طبیعی آن می‌شود (Viets, 1971). Blum (2012) خشکسالی کشاورزی را زمانی می‌داند که رطوبت کافی برای حداکثر دامنهٔ رشد بالقوهٔ گیاه یا گیاهان وجود نداشته باشد. براساس گزارش Siddique *et al.* (2000) خشکی مهم‌ترین عامل کنترل‌کنندهٔ عملکرد محصولات تعریف می‌شود که بر بیشتر فرایندهای رشد گیاه تأثیرگذار است. خشکی حتی در اقلیم‌های معتدل با رطوبت کافی نیز ممکن است محدودکننده باشد (Wood, 2005).

اصلاح برای تحمل به تنش خشکی همواره با مشکلات خاص خود مواجه بوده است که از بزرگ‌ترین آنها پیچیدگی صفت تحمل به تنش خشکی و نبود معیارها و روش‌های مؤثر برای گزینش ژنوتیپ‌های

* تلفن: ۰۹۱۳۳۰۶۱۱۷۲
E-mail: majidi@cc.iut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

متحمل است (Blum, 2012). همواره هدف از تهیهٔ ارقام متحمل به خشکی، معرفی ارقامی بوده که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کنند و در شرایط یکسان، افت عملکرد کمتری داشته باشند (Srivastava *et al*., 1987). شاخص‌های متفاوتی برای ارزیابی واکنش ژنوتیپ‌ها در شرایط محیطی مختلف و تعیین تحمل و حساسیت آنها ارائه شده است. Rosielle & Hamblin (1981) شاخص تحمل TOL[1] و شاخص متوسط بهره‌وری MP[2] را معرفی کردند. مقدار زیاد TOL نشان‌دهندهٔ حساسیت ژنوتیپ به تنش است، بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش براساس مقادیر کم TOL است. Fisher & Maurer (1978) شاخص حساسیت به تنش SSI[3] را معرفی کردند که مقدار کمتر SSI نشان‌دهندهٔ تغییرات کم عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط تنش و بدون تنش است. Fernandez (1992) شاخص تحمل تنش STI[4] و شاخص میانگین هندسی GMP[5] را معرفی کرد. ژنوتیپ‌های با مقادیر بیشتر این دو شاخص، تحمل و پایداری بیشتری دارند.

Moghaddam & Hadizade (2002) واکنش ارقام هیبرید ذرت و لاین‌های والدی آنها به خشکی را با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به تنش بررسی کردند و نشان دادند که از بین چهار شاخص محاسبه‌شدهٔ SSI، TOL، MP و STI، شاخص STI از مزایای بیشتری برای گزینش ارقام مطلوب در شرایط تنش و بدون تنش برخوردار است. Sio-se Marde *et al*. (2006) شاخص‌های میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی (GMP) و تحمل به تنش (STI) را مناسب‌ترین شاخص‌ها معرفی کردند، درحالی‌که شاخص‌های TOL و SSI همبستگی منفی قوی با عملکرد در شرایط تنش و همبستگی مثبت قوی با عملکرد در شرایط عدم تنش نشان دادند. در گزارش Jamshid moghaddam & pourdad (2009) بیشترین مقادیر شاخص‌های میانگین هندسی (GMP)، تحمل تنش (STI) و میانگین بهره‌وری (MP) در گونه‌های *B. napus* و *B. juncea* و کمترین شاخص‌های تحمل (TOL)، حساسیت تنش (SSI) در گونهٔ *B. rapa* قرار داشت. در گزارش Ebrahimiyan *et al*. (2012) بر روی فسکیوی بلند شاخص‌های GMP و STI بهترین شاخص برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی با عملکرد زیاد معرفی شدند. همواره هدف از تهیهٔ ارقام متحمل به خشکی، معرفی ارقامی بوده که به‌طور نسبی در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها تنش را بهتر تحمل کنند و در شرایط تنش و بدون تنش دارای عملکرد یکسانی بوده یا تفاوت عملکرد کمی داشته باشند (Srivastava *et al*., 1987).

از آنجا که یکی از مسائل مهم در ارزیابی ارقام برای تحمل به خشکی، اندازه‌گیری کمی معیارهای تحمل به خشکی است (Clark *et al*., 1992) و با توجه به اهمیت کلزا و حساسیت این گیاه به خشکی به‌خصوص در دوران گلدهی، بررسی ارقام کلزا از نظر سازگاری و تحمل به خشکی در یافتن راهکارهای مناسب در تولید محصول در محیط‌های خشک می‌تواند مفید واقع شود. در نتیجه هدف این تحقیق بررسی تحمل به خشکی ارقام کلزا براساس شاخص‌های تحمل به خشکی و تعیین متحمل‌ترین ارقام به تنش خشکی برای استفاده در مطالعات به‌نژادی آینده است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۸۷-۸۸ در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه صنعتی در منطقه لورک شهرستان نجف‌آباد واقع در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان که طبق دسته‌بندی کوپن، دارای اقلیم نیمه‌خشک خنک با تابستان‌های خشک است انجام گرفت. مواد ژنتیکی استفاده‌شده در این تحقیق، ۲۸ رقم کلزای تهیه‌شده از مؤسسهٔ تحقیقات اصلاح و تهیهٔ نهال و بذر، بخش تحقیقات دانه‌های روغنی است (جدول ۱). این آزمایش در دو محیط رطوبتی عدم تنش و تنش خشکی هر یک در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. در این پژوهش تمامی کرت‌ها تا شروع مرحلهٔ گلدهی از نظر آبیاری و اعمال مدیریت‌های زراعی به‌صورت یکسان در نظر گرفته شدند. در زمان شروع تنش با اندازه‌گیری رطوبت خاک و محاسبهٔ عمق آبیاری، وضعیت تمامی کرت‌ها از نظر رطوبتی یکسان شد. محیط-های رطوبتی مورد استفاده شامل محیط بدون تنش رطوبتی با اعمال ضریب MAD (متوسط کسری از کل آب

1. Tolerance index
2. Mean productivity
3. Stress sensitivity Intensity
4. Stress tolerance index
5. Geometric mean productivity

Archive of SID

www.SID.ir

در دسترس که می‌تواند از عمق توسعهٔ ریشه تخلیه شود، بدون اینکه به گیاه تنشی وارد شود) برابر با ۵۰ درصد (Allen *et al*., 1998) و محیط تنش رطوبتی با اعمال ضریب MAD برابر با ۸۵ درصد بود. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه در واحد سطح، دو ردیف اول و آخر و همچنین ۳۰ سانتی‌متر ابتدایی و انتهایی هر ردیف به عنوان حاشیهٔ پلات حذف و بقیه برداشت شد. پس از جداسازی دانه، وزن به‌دست‌آمده بر سطح برداشت‌شده برحسب مترمربع تقسیم و در عدد ۱۰۰۰۰ برای به‌دست آوردن عملکرد در هکتار ضرب شد.

شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی به شرح زیر و طبق فرمول‌های مربوط محاسبه شد:

- شاخص تحمل (TOL) (Rosielle & Hamblin, 1981)

$$TOL = Yp - Y_S \quad (۱)$$

- شاخص میانگین تولید (MP) (Rosielle & Hamblin, 1981)

$$MP = \frac{Y_P + Y_S}{۲} \quad (۲)$$

- شاخص حساسیت به تنش (SSI) (Fisher & Maurer, 1978)

$$SSI = ۱ - \frac{(\frac{Y_P}{Y_S})}{SI} \quad (۳)$$

$$SI = ۱ - (\frac{\overline{Y}_S}{\overline{Y}_P})$$

- میانگین هندسی عملکرد (GMP) (Fernandez, 1992)

$$GMP = \sqrt{Y_P \times Y_S} \quad (۴)$$

- شاخص تحمل به تنش (STI) (Fernandez, 1992)

$$STI = \frac{(Y_P \times Y_S)}{(\overline{Y}p)^۲} \quad (۵)$$

در این فرمول‌ها $Y_S$ ، $Yp$ ، $\overline{Y}_P$ ، $\overline{Y}_S$ و SI به‌ترتیب عملکرد هر ژنوتیپ تحت شرایط تنش، بدون تنش، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط بدون تنش، تنش و شدت تنش را نشان می‌دهد.

تجزیهٔ واریانس مرکب و مقایسهٔ میانگین شاخص‌ها به‌روش حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (version 9.00) انجام گرفت. شاخص‌های تحمل به تنش و ارتباط آنها با یکدیگر و توانایی آنها در تمایز ارقام متحمل و حساس براساس روش‌های آماری و ترسیم نمودار biplot محاسبه شد. برای ترسیم بای‌پلات از نرم‌افزار Stat Graphics (version 11.00) و برای ترسیم پراکنش ژنوتیپ‌ها از نرم‌افزار Sigma Plot (version 12.00) استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات ارقام کلزای مطالعه‌شده در این پژوهش

| ردیف | نام رقم | منشاء | ردیف | نام رقم | منشاء |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | Anatol | فرانسه | ۱۵ | Nk bravour | مجارستان |
| ۲ | Billy | فرانسه | ۱۶ | Nk fair | مجارستان |
| ۳ | Eldo | فرانسه | ۱۷ | Oase | مجارستان |
| ۴ | Ella | فرانسه | ۱۸ | Okapi | فرانسه |
| ۵ | Es astric | فرانسه | ۱۹ | Olphi | فرانسه |
| ۶ | Es betty | فرانسه | ۲۰ | Olpop | فرانسه |
| ۷ | Es saphir | فرانسه | ۲۱ | Opera | آلمان |
| ۸ | Esc 6152 | روسیه | ۲۲ | Rpc 2023 | فرانسه |
| ۹ | Gk helena | مجارستان | ۲۳ | Slm 046 | فرانسه |
| ۱۰ | Gkh 1103 | مجارستان | ۲۴ | Smart | فرانسه |
| ۱۱ | Gkh 305 | مجارستان | ۲۵ | Talaye | آلمان |
| ۱۲ | Lilian | روسیه | ۲۶ | Rgs | مجارستان |
| ۱۳ | Lioness | روسیه | ۲۷ | Hayola | مجارستان |
| ۱۴ | Modena | روسیه | ۲۸ | Licord | مجارستان |

Archive of SID

www.SID.ir

## نتایج و بحث

### تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین شاخص‌ها

ابتدا برای صفت عملکرد دانه تجزیهٔ واریانس مرکب آزمایش انجام گرفت. نتایج نشان داد که تأثیرات اصلی ژنوتیپ و محیط رطوبتی و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط رطوبتی معنی‌دار شد (نتایج نشان داده نشده است). سپس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش محاسبه شدند و تجزیهٔ واریانس روی شاخص‌ها صورت گرفت (جدول ۲). نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌ها نشان داد تفاوت معنی‌داری از لحاظ کلیهٔ شاخص‌های SSI، TOL، MP، GMP، STI و نیز عملکرد در شرایط عدم تنش (Yp) و عملکرد در شرایط تنش رطوبتی (Ys) بین ارقام مختلف وجود دارد (جدول ۲). اولین شاخص مورد بررسی، شاخص حساسیت به تنش (SSI) است که مقادیر کمتر آن نشان‌دهندهٔ تحمل بالای ژنوتیپ مربوطه است. براساس این شاخص رقم Nk fair کمترین حساسیت را به تنش رطوبتی نشان داد و ژنوتیپ Es saphir حساس‌ترین ژنوتیپ بود (جدول ۳). ارزیابی ژنوتیپ‌ها با استفاده از شاخص SSI ژنوتیپ‌ها را فقط بر اساس تحمل و حساسیت به تنش دسته‌بندی می‌کند، به‌عبارت دیگر با استفاده از این شاخص می‌توان، ژنوتیپ‌های حساس و متحمل را بدون توجه به پتانسیل عملکرد آنها مشخص کرد (Fernandez, 1992).

مقادیر عددی پایین شاخص تحمل TOL نیز نشان‌دهندهٔ تحمل نسبی ارقام است. رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس این شاخص (جدول ۳) نشان داد که ژنوتیپ Olphi متحمل‌ترین ژنوتیپ بود. انتخاب براساس شاخص تحمل اغلب موجب گزینش ارقامی می‌شود که در شرایط بدون تنش، عملکرد پایینی دارند (Rosielle & Hamblin, 1981).

استفاده از شاخص بهره‌وری متوسط (MP) که مقادیر زیاد آن نشان‌دهندهٔ تحمل نسبی به تنش است، اغلب به گزینش ژنوتیپ‌های با عملکرد زیاد در شرایط عادی، ولی کم‌تحمل به شرایط تنش منجر می‌شود (Rosielle & Hamblin, 1981).

در بین ارقام مختلف کلزا، رقم Rpc 2023 کمترین میزان MP (حساس‌ترین) و رقم Nk fair بیشترین میزان MP (متحمل‌ترین) را به خود اختصاص داد (جدول ۳). شاخص MP برای گزینش ژنوتیپ‌هایی که در محیط تنش، عملکرد خوبی دارند چندان مناسب نیست. Sio-se Marde *et al.* (2006) گزارش کردند که شاخص MP زمانی مناسب است که شدت تنش زیاد نباشد و اختلاف بین عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش نیز زیاد نباشد. براساس شاخص GMP نیز که مقادیر بالای شاخص، نشان‌دهندهٔ تحمل ارقام است، رقم Nkfair بیشترین میزان GMP را دارا بود درحالی‌که کمترین میزان GMP به رقم Es saphir تعلق داشت.

جدول ۲. تجزیهٔ واریانس شاخص‌های تحمل به خشکی ارقام مختلف کلزا در شرایط عدم تنش و تنش

| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | TOL | MP | GMP | SSI | STI | Yp | Ys |
| تکرار | ۲ | ۸۲۷۶/۷۶ | ۱۰۴۱/۰۸ | ۱۴۳/۲۷۷ | ۰/۰۰۶۹۹۸ | ۰/۰۰۰۳۶۷۲ | ۵۷۱۳/۵۳ | ۵۰۷/۰۱ |
| رقم | ۲۷ | ۱۴۵۲۴۴$^{**}$ | ۱۵۴۷۷۶$^{**}$ | ۵۲۳۲۱/۲۵$^{**}$ | ۲/۶۳۱۴۸$^{**}$ | ۰/۰۶۷۸۷$^{**}$ | ۱۹۱۵۷۲$^{**}$ | ۱۹۰۶۰۲$^{**}$ |
| خطا | ۵۴ | ۷۲۸۹/۶۵ | ۳۲۲۵/۸۶ | ۱۶۹۳/۳۱۹ | ۰/۰۸۴۵۳ | ۰/۰۰۱۲۷۱ | ۳۹۷۳/۸۵ | ۶۱۲۲/۶۹ |
| ضریب تغییرات (٪) | | ۳۱/۷۲ | ۱/۹۴ | ۱/۴۱ | ۲۹/۰۷ | ۳/۸۹ | ۲/۰۶ | ۲/۸۱ |

* و **: معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

طبق نظر اکثر پژوهشگران بهترین شاخص برای گزینش ژنوتیپ‌ها، شاخص تحمل به تنش (STI) است، زیرا قادر است ژنوتیپ‌هایی را که در هر دو محیط تنش و بدون تنش عملکرد زیادی دارند از ژنوتیپ‌هایی که فقط در محیط تنش یا فقط در شرایط عدم تنش عملکرد زیادی دارند، تفکیک کند (Fernandez, 1992; Ud-Din *et al.*, 1992; Farshadfar *et al.*, 2001; Moghaddam & Hadizade, 2002; Sadeghzadeh-Ahari, 2006; Sio-se Marde *et al.*, 2006). نتایج مطالعهٔ حاضر نشان داد که براساس شاخص STI که مقادیر زیاد آن نشان‌دهندهٔ تحمل ارقام است، رقم Nk fair، متحمل‌ترین بود. در مطالعه‌ای بر روی سه گونه

Archive of SID

www.SID.ir

کلزا گزارش شد که بیشترین شاخص‌های MP، GMP و STI به گونه‌های خردل و کلزا و کمترین شاخص TOL و SSI به گونهٔ شلغم روغنی تعلق داشت ( Jamshid moghaddam & Pourdad, 2009). Naeemi *et al.* (2008) در بررسی تنش خشکی بر روی ارقام مختلف کلزا با استفاده از ارزیابی شاخص‌های تحمل به خشکی مشاهده کردند که براساس شاخص‌های GMP و STI ارقام زرفام، هایولا و اپرا بیشترین عملکرد را در هر دو محیط تنش و عدم تنش خشکی نشان دادند و متحمل‌ترین ارقام شناسایی شدند.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین عملکرد و شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشک ارقام مختلف کلزا در شرایط عدم تنش و تنش

| شمارهٔ ژنوتیپ | رقم | TOL | MP | GMP | SSI | STI | Yp | Ys |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | Anatol | ۲۶۵/۶۷ | ۲۹۵۷/۱۷ | ۲۹۳۶/۱۹ | ۰/۸۵ | ۰/۹۴ | ۳۰۹۰ | ۲۸۲۴/۳۳ |
| ۲ | Billy | ۴۹۲ | ۲۹۳۵/۶۷ | ۲۸۶۵/۳۸ | ۱/۳۵ | ۰/۹۲ | ۳۱۸۱/۶۷ | ۲۶۸۹/۶۷ |
| ۳ | Eldo | ۱۹۳/۳۳ | ۲۹۶۶/۶۷ | ۲۹۵۹/۶۷ | ۰/۶۸ | ۰/۹۴ | ۳۰۶۳/۳۳ | ۲۸۷۰ |
| ۴ | Ella | ۱۹۵/۶۷ | ۳۰۸۵/۵ | ۳۰۱۹/۶۴ | ۰/۲۴ | ۱/۰۲ | ۳۱۸۳/۳۳ | ۲۹۸۷/۶۷ |
| ۵ | Es astric | ۷۲۹ | ۲۶۷۵/۵ | ۲۶۵۵/۹۵ | ۲/۷۶ | ۰/۷۵ | ۳۰۴۰ | ۲۳۱۱ |
| ۶ | Es betty | ۷۰/۳۳ | ۲۸۹۱/۵ | ۲۹۵۲/۵ | ۰/۷۳ | ۰/۹ | ۲۹۲۶/۶۷ | ۲۸۵۶/۳۳ |
| ۷ | Es saphir | ۸۲۲ | ۲۶۵۷/۳۳ | ۲۶۱۸/۳۳ | ۳ | ۰/۷۴ | ۳۰۶۸/۳۳ | ۲۲۴۶/۳۳ |
| ۸ | Esc 6152 | ۳۲۹/۳۳ | ۲۹۴۱/۳۳ | ۲۹۱۱/۲ | ۱/۰۳ | ۰/۹۳ | ۳۱۰۶ | ۲۷۷۶/۶۷ |
| ۹ | Gk helena | ۹۷ | ۲۷۰۸/۵ | ۲۸۴۹/۲۷ | ۱/۴۶ | ۰/۷۹ | ۲۷۵۷ | ۲۶۶۰ |
| ۱۰ | Gkh 1103 | ۱۵۹ | ۲۹۱۸/۱۷ | ۲۹۴۳/۴۸ | ۰/۷۹ | ۰/۹۱ | ۲۹۹۷/۶۷ | ۲۸۳۸/۶۷ |
| ۱۱ | Gkh 305 | ۷۲۴ | ۲۷۵۶/۳۳ | ۲۷۰۳/۳۱ | ۲/۴۵ | ۰/۸ | ۳۱۱۸/۳۳ | ۲۳۹۴/۳۳ |
| ۱۲ | Lilian | ۹۰ | ۲۹۸۵ | ۲۹۹۵/۷۵ | ۰/۴۲ | ۰/۹۶ | ۳۰۳۰ | ۲۹۴۰ |
| ۱۳ | Lioness | ۱۳۹/۳۳ | ۲۹۶۰/۳۳ | ۲۹۷۰/۴۸ | ۰/۶ | ۰/۹۴ | ۳۰۳۰ | ۲۸۹۰/۶۷ |
| ۱۴ | Modena | ۲۴۹/۳۳ | ۲۸۴۹/۶۷ | ۲۸۸۴/۰۳ | ۱/۲۲ | ۰/۸۷ | ۲۹۷۴/۳۳ | ۲۷۲۵ |
| ۱۵ | Nk bravour | ۹۳ | ۳۱۰۵/۱۷ | ۳۰۵۵/۵۵ | -۰/۰۲ | ۱/۰۳ | ۳۱۵۱/۶۷ | ۳۰۵۸/۶۷ |
| ۱۶ | Nk fair | ۳۰۵/۳۳ | ۳۶۵۵/۶۷ | ۳۲۶۹/۹۲ | -۱/۶۷ | ۱/۴۳ | ۳۸۰۸/۳۳ | ۳۵۰۳ |
| ۱۷ | Oase | ۶۲۴/۶۷ | ۳۴۳۹/۳۳ | ۳۰۸۹/۳۹ | -۰/۲۸ | ۱/۲۶ | ۳۷۵۱/۶۷ | ۳۱۲۷ |
| ۱۸ | Okapi | ۱۷۵ | ۲۹۶۴/۱۷ | ۲۹۶۳/۱۱ | ۰/۶۵ | ۰/۹۴ | ۳۰۵۱/۶۷ | ۲۸۷۶/۶۷ |
| ۱۹ | Olphi | ۲۱/۶۷ | ۲۸۴۲/۵ | ۲۹۳۹/۹۴ | ۰/۸۲ | ۰/۸۷ | ۲۸۵۳/۳۳ | ۲۸۳۱/۶۷ |
| ۲۰ | Olpop | ۲۰۲ | ۲۹۷۹/۳۳ | ۲۹۶۴/۱۴ | ۰/۶۵ | ۰/۹۵ | ۳۰۸۰/۳۳ | ۲۸۷۸/۳۳ |
| ۲۱ | Opera | ۱۴۱ | ۲۷۷۶/۸۳ | ۲۸۷۴/۰۸ | ۱/۲۹ | ۰/۸۳ | ۲۸۴۷/۳۳ | ۲۷۰۶/۳۳ |
| ۲۲ | Rp 2023 | ۸۳ | ۲۵۰۹/۸۳ | ۲۷۴۴/۷۴ | ۲/۱۷ | ۰/۶۸ | ۲۵۵۱/۳۳ | ۲۴۶۸/۳۳ |
| ۲۳ | Slm 046 | ۷۹/۶۷ | ۲۶۹۷/۵ | ۲۸۴۸/۱۴ | ۱/۴۷ | ۰/۷۸ | ۲۷۳۷/۳۳ | ۲۶۵۷/۶۷ |
| ۲۴ | Smart | ۲۶۹/۶۷ | ۳۰۰۹/۱۷ | ۲۹۶۱/۷۶ | ۰/۶۶ | ۰/۹۷ | ۳۱۴۴ | ۲۸۷۴/۳۳ |
| ۲۵ | Talaye | ۹۶/۶۷ | ۲۸۹۹ | ۲۹۴۹/۸۴ | ۰/۷۵ | ۰/۹ | ۲۹۴۷/۳۳ | ۲۸۵۰/۶۷ |
| ۲۶ | Rgs | ۴۵۰/۶۷ | ۲۸۳۱/۶۷ | ۲۸۱۹/۶۹ | ۱/۶۶ | ۰/۸۶ | ۳۰۵۷ | ۲۶۰۶/۳۳ |
| ۲۷ | Hayola | ۲۱۷/۶۷ | ۲۹۷۳/۸۳ | ۲۹۵۶/۸۷ | ۰/۷ | ۰/۹۵ | ۳۰۸۲/۶۷ | ۲۸۶۵ |
| ۲۸ | Licord | ۲۱۹/۶۷ | ۲۷۳۱/۵ | ۲۸۲۸/۸۴ | ۱/۶ | ۰/۸ | ۲۸۴۱/۳۳ | ۲۶۲۱/۶۷ |
| | LSD 5% | ۱۳۹/۷۶ | ۹۲/۹۷۵ | ۶۷/۳۶۲ | ۰/۴۷۵۹ | ۰/۰۵۸۴ | ۱۰۳/۱۹ | ۱۲۸/۰۹ |

**ضرایب همبستگی براساس مقادیر شاخص‌ها**

نتایج ضرایب همبستگی نشان داد همبستگی بین شاخص TOL و Ys منفی و همبستگی TOL با Yp مثبت بود (جدول ۴). با توجه به ماهیت شاخص TOL که از اختلاف دو عملکرد در محیط‌های بدون تنش و تنش به‌دست می‌آید، این همبستگی توجیه‌شدنی است. افزایش Yp (عملکرد در محیط بدون تنش) سبب افزایش TOL و افزایش Ys (عملکرد در محیط تنش) موجب کاهش این شاخص می‌شود. بین MP و Yp و همچنین MP و Ys همبستگی مثبتی وجود داشت. بنابراین انتخاب براساس

Archive of SID

www.SID.ir

MP به‌طور معمول موجب افزایش عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش می‌شود. بین TOL و MP همبستگی مشاهده نشد. همبستگی بین شاخص SSI با Yp و YS منفی بود (جدول ۴). بنابراین انتخاب برای مقادیر کم SSI سبب افزایش عملکرد در شرایط تنش و عدم تنش می‌شود. همبستگی بین شاخص‌های SSI و TOL مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بین GMP با MP، Ys و Yp مثبت و قوی بود، اما همبستگی این شاخص با شاخص TOL منفی بود. همبستگی بین شاخص‌های STI و GMP مثبت و معنی‌دار بود که با توجه به ماهیت محاسبهٔ شاخص STI قابل توضیح است. همبستگی مثبت و بسیار قوی بین شاخص STI و MP مشاهده شد. بهترین شاخص برای غربال کردن ژنوتیپ‌های متحمل به تنش رطوبتی، شاخصی است که همبستگی قوی با عملکرد دانه در هر دو شرایط عدم تنش و تنش رطوبتی داشته باشد (Sadeghzadeh-Ahari, 2006). بنابراین با ارزیابی میزان همبستگی بین شاخص‌های متحمل به تنش و عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش خشکی و عدم تنش خشکی نیز، شناسایی مناسب‌ترین شاخص امکان‌پذیر است (Sio-se Marde *et al.*, 2006). به‌طور کلی ضرایب همبستگی نشان داد که سه شاخص تحمل به تنش MP، GMP و STI دارای همبستگی مثبت و قوی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش بودند و بهترین شاخص‌ها معرفی شدند. یافته‌های Majidi *et al.* (2011) نیز مؤید این نتیجه‌گیری است.

جدول ۴. همبستگی سادهٔ شاخص‌های مقاومت به خشکی ارقام مختلف کلزا در شرایط عدم تنش و تنش

| شاخص‌ها | Yp | Ys | TOL | MP | SSI | GMP | STI |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Yp | ۱ | | | | | | |
| Ys | ۰/۶۲** | ۱ | | | | | |
| TOL | ۰/۴۴* | -۰/۴۳* | ۱ | | | | |
| MP | ۰/۹۰** | ۰/۸۹** | ۰/۰۰۳ | ۱ | | | |
| SSI | -۰/۶۲** | -۰/۹۹** | ۰/۴۳* | -۰/۸۹** | ۱ | | |
| GMP | ۰/۵۹** | ۰/۹۹** | -۰/۴۵* | ۰/۸۹** | -۰/۹۹** | ۱ | |
| STI | ۰/۸۹** | ۰/۹۰** | -۰/۰۱ | ۰/۹۹** | -۰/۹۰** | ۰/۸۹** | ۱ |

* و **: غیرمعنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد.

**ترسیم نمودار سه‌بعدی براساس شاخص‌ها**

نتایج بررسی نمودار سه‌بعدی (شکل۱) براساس Yp، Ys و STI نشان داد که ارقام ۱۶ و ۱۷ در ناحیهٔ A قرار گرفتند یعنی این ارقام ضمن داشتن عملکرد زیاد در شرایط عدم تنش، دارای عملکرد به‌نسبت خوب و قابل قبولی در شرایط تنش‌اند؛ ازاین‌رو ارقام برای اصلاح و ایجاد ارقام متحمل و دارای تولید زیاد در شرایط خشکی مناسب‌اند. رقم ۲ که در ناحیهٔ B قرارگرفته است، در شرایط عدم تنش، عملکرد قابل قبول؛ و در شرایط تنش، عملکرد به‌نسبت کمی دارد. ارقام ۱۱، ۵، ۷، ۲۲، ۲۸ و ۲۶ در ناحیهٔ D متمرکز شدند که دارای عملکرد کم در هر دو شرایط تنش و عدم تنش‌اند. سایر ارقام در ناحیهٔ C قرار گرفتند. به‌عبارت دیگر این ژنوتیپ‌ها، فقط در شرایط تنش عملکرد زیاد دارند. طبق نتایج نمودار سه‌بعدی در سطوح تنش و عدم تنش ارقام Nk fair و Oase (ارقام ۱۶ و ۱۷) متحمل‌ترین ارقام نسبت به تنش خشکی در مقابل ارقام دیگر معرفی می‌شوند. Malekshahi *et al.* (2009)، Fernandez (1992) و Majidi *et al.* (2011) برای تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها از نمودارهای سه‌بعدی استفاده و این روش را تأیید کرده‌اند.

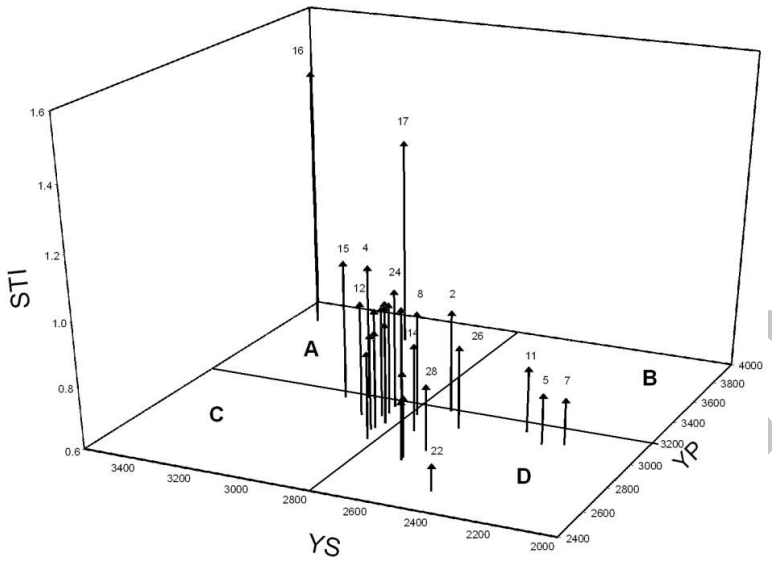
**تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات**

نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که دو مؤلفهٔ اول در مجموع ۹۹ درصد از تغییرات را توجیه کردند (جدول ۵). مؤلفهٔ اول با عملکرد ژنوتیپ‌ها در هر دو محیط تنش و بدون تنش و همچنین با شاخص‌های تحمل MP، GMP و STI همبستگی مثبت داشت. بنابراین زیاد بودن این شاخص‌ها و عملکرد زیاد در دو محیط تنش و بدون تنش رطوبتی سبب انتخاب ژنوتیپ‌هایی می‌شود که پتانسیل عملکرد مطلوبی دارند؛

Archive of SID

www.SID.ir

ازاین‌رو این مؤلفه، مؤلفهٔ پتانسیل عملکرد و تحمل به تنش خشکی شناخته شد. به‌عبارت دیگر این مؤلفه قادر به شناسایی و تمایز ارقام پرمحصول و با عملکرد زیاد از ارقام کم‌محصول و کم‌عملکرد کم می‌شود.




شکل ۱. نمودار سه‌بعدی براساس شاخص STI و عملکرد تحت دو محیط تنش و عدم تنش در ارقام مختلف کلزا

جدول ۵. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش در ارقام مختلف کلزا

| مؤلفه‌ها | واریانس توجیه‌شده | واریانس تجمعی | ضرایب شاخص‌ها | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Yp | Ys | TOL | MP | GMP | SSI | STI |
| مؤلفهٔ اول | ۰/۷۷ | ۰/۷۷ | ۰/۳۴ | ۰/۴۲ | -۰/۰۹ | ۰/۴۲ | ۰/۴۲ | -۰/۴۲ | ۰/۴۲ |
| مؤلفهٔ دوم | ۰/۲۲ | ۰/۹۹ | ۰/۴۹ | -۰/۱۸ | ۰/۷۷ | ۰/۱۷ | -۰/۱۹ | ۰/۱۸ | -۰/۱۶ |

مؤلفهٔ دوم با عملکرد در شرایط تنش و شاخص‌های تحمل GMP و STI همبستگی منفی و با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی مثبت نشان داد. با توجه به اینکه مقادیر بیشتر عملکرد و شاخص‌های STI و GMP و مقادیرکمتر شاخص SSI مورد نظر است، بر مبنای مقادیر کمتر این مؤلفه می‌توان ژنوتیپ‌هایی را انتخاب کرد که حساسیت کمتری به تنش خشکی داشته باشند. بنابراین مؤلفهٔ دوم، مؤلفهٔ حساسیت به تنش نامگذاری شد.

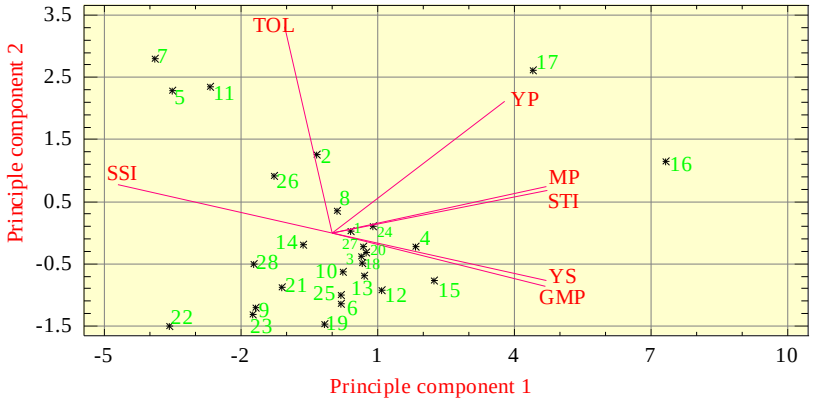
همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، رقم ۱۶ در سمت راست، در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های MP، GMP و STI که بهترین شاخص‌های شناسایی ارقام متحمل به خشکی شناخته شدند، قرار گرفته‌اند که در واقع همان ناحیهٔ مربوط به ژنوتیپ‌های با مؤلفهٔ اول بالا یا به‌عبارت بهتر دارای پتانسیل عملکرد بالا و حساسیت کمتر به تنش است. به‌عبارت دیگر هرچه میزان مؤلفهٔ اول بیشتر و مؤلفهٔ دوم کمتر باشد ژنوتیپ متحمل‌تر است. در گوشهٔ چپ و پایین، رقم ۲۲ قرار دارد که این ژنوتیپ‌ها به‌عنوان ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد کم و حساسیت کم نسبت به خشکی قرار دارند. رقم ۱۷ در ناحیهٔ بالای سمت راست قرار دارد که نشان‌دهندهٔ پتانسیل عملکرد زیاد، و از طرفی حساسیت زیاد به تنش رطوبتی است و اینکه فقط در شرایط بدون تنش عملکرد مطلوب داشته و با محیط آبی سازگاری خصوصی دارد. در گوشهٔ سمت چپ و بالا ارقام ۷ و ۵ و ۱۱ قرار دارند که پتانسیل عملکرد کمی در هر دو محیط دارند.

با توجه به نتایج می‌توان گفت که افزایش مؤلفهٔ اول و کاهش مؤلفهٔ دوم به شناسایی ارقام متحمل با پتانسیل عملکرد زیاد در دو محیط تنش و بدون تنش منجر می‌شود. بنابراین رقم ۱۶ (Nk fair) و پس از آن رقم ۱۷ (Oase) ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی شناخته شدند (شکل ۲). همچنین ارقام ۲۲ (Rpc 2023) و ۲۳

Archive of SID

www.SID.ir

(Slm 046) در هر دو سطح تنش و عدم تنش از عملکرد کمی برخوردار بودند، ولی حساسیت بسیار کمی به تنش نشان دادند؛ بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را پس از بررسی‌های بیشتر برای برنامه‌های اصلاحی بهبود تحمل به خشکی در کلزا به‌کار گرفت. از مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات برای تشخیص ارقام متحمل به خشکی در مطالعات دیگر نظیر Majidi *et al.* (2011) و Ebrahimiyan *et al.* (2012) نیز استفاده شده است.




شکل ۲. نمودار بای‌پلات براساس شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی

## نتیجه‌گیری کلی

در مجموع با توجه به همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص‌های STI، GMP و MP با عملکرد دانه در شرایط مطلوب و تنش، این شاخص‌ها، معیارهای مناسبی برای شناسایی ارقام متحمل به خشکی شناخته شدند. نتایج مقایسهٔ میانگین شاخص‌های تحمل و حساسیت به خشکی در ارقام کلزا نشان داد که براساس شاخص STI، رقم Nk fair متحمل‌ترین و رقم Rpc 2023، حساس‌ترین رقم به شرایط تنش خشکی‌اند. نتایج بررسی نمودار سه‌بعدی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز نشان داد که ارقام Nk fair و Oase ضمن داشتن عملکرد زیاد در شرایط عدم تنش دارای عملکرد به‌نسبت خوب و قابل قبولی در شرایط تنش بودند. ازاین‌رو این ارقام برای اصلاح و ایجاد ارقام متحمل و دارای تولید زیاد در شرایط خشکی مناسب‌اند.

## REFERENCES


1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and Drainage.* Paper 56, Rome, Italy, 300 pp.
2. Angadi, S. V. & Cut forth, H. V. (2003). Yield adjustment by canola grown at different by plant population under semiarid condition. *Crop Science*, 43, 1357-1366.
3. Blum, A. (2012). Drought resistance. In: A. Blum (Ed.), *Plant Breeding for water-limited environments*. *Springer*, New York, Dordrecht Heidelberg London. PP. 2-57.
4. Clark, J. M., Ronald, M. D. & Towenly-smith, T. F. (1992). Evaluation of method for quantification of drought tolerance in wheat. *Crop Science*, 32, 723-728.
5. Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. & Noroozi, A. (2013). Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, 190, 401-414.
6. FAO. *Food out look.Globalomarket analysis*. (2005). http://www.fao food outlook.com.
7. Farshadfar, E., Zamani, A., Matlabi, M. R. & Emam-jome, E. E. (2001). Selection for drought resistance chichpea lines. *Journal of Agricultural Science*, 32(1), 65-77.
8. Fernandez, G. C. J. (1992). Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: C. G. Kuo (Eds.), Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. *AVRDC*, Shanhaue, Taiwan. PP. 257-270.
9. Fisher, R. A. & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-912.
10. Jamshid moghaddam, M. & Pourdad, S. (2009). Evaluation of drought tolerant in three species of brassica oilseeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 4, 81-90. (In Farsi)


Archive of SID

www.SID.ir

11. Majidi, M. M., Tavakoli, V. Mirlohi, A. & Sabzalian, M. R. (2011). Wild safflower species (*Carthamus oxyacanthus Bieb*.): A possible source of drought tolerance for arid environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 5, 1055-1066.
12. Malekshahi, F., Dehghani, H. & Alizadeh, B. (2009). Evaluation of drought tolerance index in some winter rapeseed cultivars *(Brassica napus* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 13, 77-89. (In Farsi)
13. Moghaddam, A. & Hadizade, M. H. (2002). Response of corn hybrids and their parental lines to drought using different stress tolerance indices. *Plant and Seed Journal*, 18(3), 255-272. (In Farsi).
14. Naeemi, M., Akbari, Gh. A., Shirani Rad, A. H., Modares Sanavi, S .A. M., Sadat Nuri, S. A. & Jabari, H. (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 Farsi).
15. Rosielle, A. A. & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selections for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946.
16. Sadeghzadeh-Ahari, D. (2006). Evaluation for tolerance to drought stress in dryland promising durum wheat genotype. *Crop Science*, 8(1), 30-45.
17. Siddique, M. R. B., Hamid, A. & Islam, M. S. (2000). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, 35-39.
18. Sio-se Marde, A., Ahmadi, A., Poustini, K. & Mohammady, V. (2006). Evalution of drought resistance indices under various environmental conditioning. *Field Crop Research*, 98, 222-229.
19. Srivastava, J. p., Acevedo, E. & Varma, S. (1987). *Drought tolerance in winter cereal*. John Wiley, PP: 79-87.
20. Ud-Din, N., Carver, B. F. & Clutter, A.C. (1992). Genetic analysis and selection for wheat yield in drought stressed and irrigated environments. *Euphytica*, 62, 89-96.
21. Viets, F. G. (1971). Effective drought control for successful dry land agriculture. In: K. L. Larson and J. D. Eastin (Eds). Drought Injury and Resistance in Crops. CSSA. Special Publication. No. 2. *Crop Sci. Soc. Amer.* Madison. Wisconsin. PP: 57-76.
22. Wood, A. J. (2005). Eco-physiological adaptations to limited water environments. In: M. Ajenks and. P. M. Hasegawa (Eds.), P*lant Abiotic stress*. Blackwell. New York. PP: 10-41.

Archive of SID

www.SID.ir