دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی تحمل خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ با استفاده از شاخص‌های تحمل

مسعود گلستانی

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، (نویسنده مسوول: ma_golestani@pnu.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۸
صفحه: ۱۱ تا ۲۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: گلرنگ درصد قابل توجهی روغن دارد و یکی از گیاهان روغنی مهم به‌شمار می‌رود. این گیاه به‌منظور استفاده از گلچه‌ها برای رنگ و طعم‌دهندگی به غذا، دارو و تغذیه دام و پرندگان کشت می‌شود. از طرفی کم‌آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی است که باعث کاهش در راندمان و تولید این محصول زراعی می‌گردد. هدف از این تحقیق بررسی تحمل تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گلرنگ با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی بود.

مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در شهرستان ابرکوه در سال ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. عامل اصلی شامل سه رژیم آبیاری بدون تنش، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی (تنش گلدهی) و قطع آبیاری از مرحله شروع دانه‌بندی تا رسیدگی (تنش دانه‌بندی) بود. ژنوتیپ‌های گلرنگ شامل فرامان، سینا، گلدشت، پرنیان، صفه، محلی اراک ۲۸۱۱، رقم محلی اصفهان، توده کاشان، توده شیراز و توده کرمان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مورد استفاده در این مطالعه شامل شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص میانگین هندسی عملکرد (GMP)، شاخص میانگین‌هارمونیک (HM)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص عملکرد (YI) و شاخص پایداری عملکرد (YSI) بود که با استفاده از عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش خشکی (Ys) محاسبه شدند.

یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ژنوتیپ، تنش و اثر متقابل تنش× ژنوتیپ برای عملکرد دانه معنی‌دار بود. نتایج تجزیه واریانس ساده نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر Ypو Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در هر دو شرایط تنش وجود دارد. ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی داشتند. لذا این شاخص‌ها برای شناسایی ژنوتیپ‌های برتر مناسب بودند. مقایسه ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ با استفاده از نمودار چند متغیره بای‌پلات نشان داد که ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان در مجاورت بردار شاخص‌های مناسب تحمل خشکی قرار گرفتند. بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط بدون تنش و هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی در نظر گرفت. نمودار سه‌بعدی Yp، Ys و STI نیز نتایج بای‌پلات را تأیید نمود.

نتیجه‌گیری: نتایج نمودار سه‌بعدی و بای‌پلات برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که می‌توان ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان را به‌عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در هر دو شرایط اعمال تنش پس از مراحل گلدهی و دانه‌بندی پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: بای‌پلات، تنش گلدهی، تنش دانه‌بندی، عملکرد دانه، نمودار سه‌بعدی

مقدمه

گلرنگ (*Cartamus tinctorius* L.) گیاهی یکساله، از تیره کاسنی (*Asteraceae*) است که دارای ریشه اصلی عمیق و اکثراً دارای برگ‌های خاردار می‌باشد که این ویژگی‌ها توانایی تحمل خشکی و گرما را در آن ایجاد نموده است. (۲۲). با توجه به اینکه گلرنگ دارای ۱۳ تا ۴۶ درصد روغن است که ۹۰ درصد از این روغن را اسیدهای چرب غیر اشباع تشکیل می‌دهد، یکی از گیاهان مهم در بین گیاهان روغنی به‌شمار می‌رود (۳). این گیاه به‌منظور استفاده از گلچه‌ها برای رنگرزی، رنگ و طعم‌دهندگی به غذا، دارو و تغذیه دام و پرندگان کشت و کار می‌شود (۱۴). توجه به زراعت گیاه گلرنگ محدود بوده اما با توجه به افزایش تقاضا برای تولید روغن و همچنین توانایی بالای رشد این گیاه در مناطق خشک، توسعه کشت این گیاه اخیراً مورد توجه قرار گرفته است (۱۴). خاستگاه و مرکز تنوع این گیاه خاورمیانه است و به‌دلیل تحمل نسبی به خشکی، شوری و سرما قابل کشت در پیپنواحی خشک از جمله ایران است (۱۱). بخش عمده‌ای از روغن مورد نیاز در کشور از منابع خارجی تأمین می‌شود، بنابراین توسعه کشت دانه‌های روغنی از اهمیت زیادی برخوردار است. در سال ۲۰۱۷ سطح زیرکشت، میزان تولید و میانگین عملکرد دانه گلرنگ در جهان به‌ترتیب ۸۴۱ هزار هکتار، ۶۹۱ هزار تن و ۸۲۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (۶). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده ایجاد خسارت در گیاهان و به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید شناخته شده است (۵). با توجه به اینکه ایران جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب می‌شود، در چنین مناطقی نوسانات بارندگی نیز زیاد بوده و ممکن است برخی از مراحل مهم رشدی گیاه به‌دلیل کم‌آبی تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب خاک قرار گیرد (۲۱). بنابراین مطالعه تحمل به تنش کم‌آبی در گیاهان زراعی و شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی ضروری به نظر می‌رسد. تنش حاصل از کمبود رطوبت در مناطقی که پراکنش بارندگی از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کند، از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی به شمار می‌رود که به‌همراه عواملی مانند دمای بالای هوا و بادهای گرم، تولیدات کشاورزی را در این مناطق با محدودیت رو به رو می‌سازد. در این شرایط با توجه به کاهش بارندگی و افزایش دمای هوا، استفاده از گونه‌های گیاهی مناسب و ارقام اصلاح شده‌ای که دارای عملکرد مطلوب و همچنین متحمل به شرایط تنش رطوبتی باشند، امکان استفاده بهتر از منابع آب موجود را میسر نموده، موجب توسعه سطح زیر کشت گیاهان و افزایش بازده تولید می‌گردد (۲۶). یافته‌های به دست آمده از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

مراحل گلدهی و پر شدن دانه در گلرنگ به کمبود رطوبت حساس می‌باشند (۲۳).

استفاده از ارقام اصلاح شده که دارای عملکرد مطلوب و همچنین متحمل به شرایط تنش خشکی باشند، باعث می‌شود تا از منابع آبی موجود استفاده بهتری صورت پذیرد و امکان توسعه سطح زیر کشت و افزایش بازده تولید فراهم گردد. برای ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی در شرایط بدون تنش و تنش خشکی مطالعات زیادی انجام شده و به همین منظور نیز شاخص‌های مختلفی برای گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش و قابل کشت در شرایط تنش خشکی پیشنهاد شده است. مقایسه میزان عملکرد گیاه در شرایط تنش و بدون تنش، یکی از روش‌های مهم در تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش است. تاکنون شاخص‌های متفاوتی برای بررسی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به شرایط محیطی مختلف بر اساس روابط بین عملکرد گیاه تحت شرایط بدون تنش و تنش ارایه شده‌اند. شاخص‌هایی مثل شاخص حساسیت به تنش[۱] (۸)، شاخص تحمل[۲] و شاخص میانگین بهره‌وری[۳] (۲۴)، شاخص پایداری عملکرد[۴] (۲)، شاخص تحمل تنش[۵] و میانگین‌هارمونیک[۶] (۷)، میانگین هندسی عملکرد[۷] (۷ و ۱۶) و شاخص عملکرد[۸] (۹) برای ارزیابی ژنوتیپ‌های گیاهی در شرایط تنش استفاده شده است. بر اساس روش فرناندز (۷) ژنوتیپ‌های مورد بررسی به چهار گروه A (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بهتری دارند)، گروه B (ژنوتیپ‌هایی که در شرایط بدون تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بهتر و در شرایط تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بدتری دارند)، گروه C (ژنوتیپ‌هایی که در شرایط تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بهتر و در شرایط عدم تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بدتری دارند) و گروه D (ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش نسبت به میانگین ژنوتیپ‌ها عملکرد بدتری دارند) تفکیک می‌شوند. بر طبق نظر فرناندز (۷) STI از بهترین شاخص‌ها برای گزینش ژنوتیپ‌ها می‌باشد چون این شاخص می‌تواند گروه A را از سایر گروه‌ها تفکیک نماید.

نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های تحمل خشکی و عملکرد دانه در ارقام گلرنگ بهاره در منطقه همدان نشان داد که شاخص‌های HM، MP، GMP، STI و SNPI[۹] در شرایط تنش پس از گلدهی و شاخص‌های HM، MP، GMP و STIدر شرایط تنش پس از دانه‌بندی برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا مناسب بودند (۲۶). مقایسه تحمل تنش خشکی ارقام ایرانی و خارجی گلرنگ با استفاده از ضرایب همبستگی ساده بین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و عملکرد دانه نشان داد که می‌توان از شاخص‌هایMP،GMP،STI،RDI[۱۰] و YI برای غربال ارقام متحمل گلرنگ در هر سه شرایط تنش شامل تنش قطع آبیاری در مرحله گلدهی، مرحله غوزه‌دهی و مرحله تشکیل دانه استفاده کرد (۱۹). بررسی تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های کلزا نشان داد که شاخص‌های MP، HM و GMP بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش به خود اختصاص دادند (۱۳). در بررسی تحمل به تنش خشکی در رازیانه با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مشخص شد که شاخص‌های MP، GMP، HM و STI به علت همبستگی مثبت با عملکرد دانه در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی به‌عنوان مؤثرترین شاخص‌ها می‌باشند و می‌توان از این شاخص‌ها برای تعیین جمعیت‌های متحمل به تنش خشکی در این گیاه استفاده کرد (۱۰).

گلرنگ گیاه بومی کشور ایران بوده و به‌دلیل ویژگی‌های مطلوب و خاص نظیر استفاده‌های دارویی و غذایی از گل‌های آن، تولید روغن نباتی با کیفیت بالا، تولید کنجاله به‌عنوان مکمل غذایی مناسب برای دام از اهمیت خاصی برای تأمین دانه‌های روغنی موردنیاز کشور برخوردار است (۱). با توجه به قرار گرفتن بخش وسیعی از اراضی زیر کشت ایران در نواحی خشک و نیمه خشک، تعیین شاخص‌های مناسب جهت شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در این مناطق ضروری به‌نظر می‌رسد. این پژوهش، به‌منظور بررسی ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر تحمل به تنش خشکی با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی و شناسایی شاخص‌های مناسب تحمل به تنش در این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ابرکوه با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۴۷۲ متر از سطح دریا اجرا گردید. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل سه رژیم آبیاری بدون تنش، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی (تنش گلدهی=Ys_1) و قطع آبیاری از مرحله شروع دانه‌بندی تا رسیدگی (تنش دانه‌بندی=Ys_2) بود. ژنوتیپ‌های گلرنگ شامل فرامان، سینا، گلدشت، پرنیان، صفه، محلی اراک ۲۸۱۱، رقم محلی اصفهان، توده کاشان، توده شیراز و توده کرمان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هرکرت دارای پنج ردیف به طول پنج متر بود. فواصل بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر بود. فواصل کرت‌های فرعی و کرت‌های اصلی از یکدیگر به‌ترتیب یک و دو متر در نظر گرفته شد. کشت بذور در تاریخ ۲۲ اسفند سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. بذرها قبل از کاشت برای سهولت در جوانه‌زنی به مدت ۲۴ ساعت خیسانده شد و سپس بوسیله قارچ‌کش بنومیل به نسبت ۱/۵ در هزار ضدعفونی گردید. در این آزمایش قبل از کاشت بر اساس نتایج آزمون خاک حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل، ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره بعد از کاشت و دو مرحله کود سرک ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره استفاده شد. همچنین در طی دوران رشد و نمو عملیات وجین و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی طی چندین مرحله صورت پذیرفت. برای

1- Stress Susceptibility Index (SSI)
2- Tolerance Index (TOL)
3- Mean productivity (MP)
4- Yield Stability Index (YSI)
5- Stress Tolerance Index (STI)
6- Harmonic Mean (HM)
7- Geometric Mean Productivity (GMP)
8- Yield Index (YI)
9- Stress Non-stress Production Index
10- Relative Drought Index

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

مبارزه با آفات مگس گلرنگ، شته، کرم غوزه خوار از محلول دو در هزار دیمتوات استفاده شد.

در پایان فصل رشد، برداشت در سطحی معادل دو متر مربع از سه ردیف میانی هر کرت پس از حذف اثر حاشیه انجام شد و سپس عملکرد دانه بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. با استفاده از عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش (Ys) شاخص‌های کمی تحمل تنش خشکی با استفاده از فرمول‌های جدول ۱ محاسبه شدند. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Minitab انجام شد و برای رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Minitab و SigmaPlot استفاده گردید. همچنین مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت.

جدول ۱- شاخص‌های تحمل به تنش خشکی مورد استفاده در این مطالعه

Table 1. Drought tolerance indices used in this study

نام شاخص Index name	فرمول محاسبه شاخص Index calculation formula	شماره منبع Refrence number
شاخص حساسیت به تنش (SSI) Stress Susceptibility Index	$SSI = \frac{1-\frac{Ys}{Yp}}{1-\frac{\overline{Ys}}{\overline{Yp}}}$	8
شاخص تحمل (TOL) Tolerance Index	$TOL = Yp - Ys$	24
شاخص میانگین بهره‌وری (MP) Mean productivity	$MP = \frac{Ys + Yp}{2}$	24
شاخص تحمل تنش (STI) Stress Tolerance Index	$STI = \frac{Yp.Ys}{(\overline{Yp})^2}$	7
میانگین‌هارمونیک (HM) Harmonic Mean	$HM = \frac{2(Yp.Ys)}{Yp + Ys}$	7
میانگین هندسی عملکرد (GMP) Geometric Mean Productivity	$GMP = \sqrt{Yp.Ys}$	7 and 16
شاخص عملکرد (YI) Yield Index	$YI = \frac{Ys}{\overline{Ys}}$	9
شاخص پایداری عملکرد (YSI) Yield Stability Index	$YSI = \frac{Ys}{Yp}$	2

در این فرمول‌ها Yp عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، Ys عملکرد دانه در شرایط تنش، $\overline{Yp}$ میانگین عملکرد دانه تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و $\overline{Ys}$ میانگین عملکرد دانه تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش است.

Yp= Seed yield under without stress condition, Ys= Seed yield under drought stress condition, $\overline{Yp}$ = Seed yield mean under without stress condition

$\overline{Ys}$ = Seed yield mean under drought stress condition

نتایج و بحث

مقایسه میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های کمی در شرایط مختلف تنش خشکی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش، ژنوتیپ و برهمکنش تنش × ژنوتیپ در سطح احتمال یک درصد برای عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۲). معنی‌دار بودن برهمکنش تنش × ژنوتیپ نشان‌دهنده واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌ها در شرایط بدون تنش و تنش می‌باشد. نتایج مقایسه میانگین برای عملکرد دانه نشان داد که در شرایط بدون تنش ژنوتیپ‌های سینا و محلی اراک ۲۸۱۱ با مقدار ۲۱۰۷/۷ و ۱۳۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد دانه را در بین ژنوتیپ‌ها به خود اختصاص دادند (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه در شرایط تنش گلدهی و شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر عملکرد دانه در شرایط تنش و تمام شاخص‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد برای شاخص‌های تحمل به خشکی در شرایط تنش گلدهی در جدول ۵ آورده شده است. در شرایط تنش گلدهی ژنوتیپ‌های سینا و توده کرمان به‌ترتیب با ۱۲۱۵/۳ و ۱۱۲۷/۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین و ژنوتیپ توده کاشان با ۶۲۹ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار عملکرد دانه را داشتند (جدول ۵). بیشترین مقدار شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در ژنوتیپ‌های سینا و توده کرمان و کمترین مقدار این شاخص‌ها در ژنوتیپ‌های توده کاشان، محلی اراک ۲۸۱۱ و توده شیراز مشاهده شد (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس عملکرد دانه در شرایط تنش دانه‌بندی و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی از نظر Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۴). مقایسه میانگین عملکرد دانه در شرایط تنش دانه‌بندی مشخص کرد که ژنوتیپ‌های سینا (۱۶۸۷/۳ کیلوگرم در هکتار)، توده کرمان (۱۶۳۸ کیلوگرم در هکتار) و فرامان (۱۶۱۱ کیلوگرم در هکتار) بیشترین و ژنوتیپ‌های توده کاشان (۱۰۷۱ کیلوگرم در هکتار) و توده شیراز (۱۱۴۷ کیلوگرم در هکتار) کمترین مقدار عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). بیشترین مقدار شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان و کمترین مقدار این شاخص‌ها در ژنوتیپ‌های توده کاشان، محلی اراک ۲۸۱۱ و توده شیراز دیده شد (جدول ۶). با بررسی مقایسه میانگین

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

شاخص‌ها در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی مشخص شد که ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان از نظر شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI مقادیر بالاتری را در هر دو شرایط تنش داشتند و با توجه به مقادیر بالای این شاخص‌ها و همچنین مقادیر بالاتر Yp و Ys می‌توان این ژنوتیپ‌ها را برای کشت در شرایط آبیاری مطلوب و تنش گلدهی و دانه‌بندی پیشنهاد نمود.

با بررسی و مقایسه مقدار عملکرد دانه در شرایط تنش گلدهی و تنش دانه‌بندی (جداول ۵ و ۶) مشخص شد که عملکرد دانه گلرنگ در شرایط تنش گلدهی (۴۳/۹ درصد کاهش) در مقایسه با تنش دانه‌بندی (۱۸/۷۶ درصد کاهش) کاهش بیشتری را نشان داد. دلیل این موضوع را می‌توان به کاهش تعداد گل‌های گلرنگ در زمان تشکیل گل‌ها در شرایط تنش گلدهی نسبت داد (۲۵). مواد پرورده مورد نیاز در دوره پر شدن دانه از سه منبع تأمین می‌شود: ۱- کربوهیدرات تولید شده پس از گلدهی که بطور مستقیم به دانه منتقل می‌شود، ۲- کربوهیدرات تولید شده در زمان گلدهی که قبل از انتقال به دانه بطور موقت در ساقه ذخیره می‌شود و ۳- کربوهیدرات تولید شده قبل از گلدهی که در ساقه ذخیره شده و در دوره پر شدن دانه به دانه منتقل می‌شود (۱۸). بر اساس نظر محققین بیشترین خسارت تنش به عملکرد محصول در دوره ۱۵ تا ۲۰ روز اول پس از گلدهی است چرا که در این دوره بیشتر مواد فتوسنتزی گیاه به‌علت مناسب‌تر بودن شرایط برای فتوسنتز، تولید می‌شود و قسمتی از این مواد فتوسنتزی در ساقه‌ها و غلاف برگ‌ها ذخیره می‌شود تا در آخر به دانه منتقل شود (۱۲).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 2. Analysis of variance for seed yield in safflower genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares
تکرار Replication	2	4622.6^{ns}
تنش Stress	2	4281735.4**
خطای اصلی Main error	4	2032.2
ژنوتیپ Genotype	9	425610.7**
تنش × ژنوتیپ Genotype×Stress	18	19132.7**
خطای فرعی Secondary error	54	5187.6
ضریب تغییرات (٪) CV	–	5.3

^{ns} و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

^{ns} and **: Non-significant and significant at 1% probability level respectively

جدول ۳- تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی در مرحله گلدهی در ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 3. Analysis of variance for drought tolerance indices and seed yield under without stress condition and drought stress at flowering stage in safflower genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)									
		Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
تکرار Replication	2	7921.6^{ns}	275.4^{ns}	6537.2^{ns}	0.003^{ns}	2464.2^{ns}	1738.6^{ns}	1241.9^{ns}	0.001^{ns}	0.0003^{ns}	0.0006^{ns}
ژنوتیپ Genotype	9	223792.2**	97303.2**	63596.8**	0.05**	144648.5**	141000.6**	138299.3**	0.11**	0.1**	0.01**
خطا Error	18	9759.4	2633.6	11273.7	0.008	3378.1	2782.7	2584.1	0.002	0.003	0.001
ضریب تغییرات (٪) CV	–	5.76	5.3	14.1	9.36	4.34	4.11	4.13	8.24	5.33	7.29

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

جدول ۴- تجزیه واریانس شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله دانه‌بندی در ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 4. Analysis of variance for drought tolerance indices and seed yield under without stress condition and drought stress at seeding stage in safflower genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean squares)									
		Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
تکرار Replication	2	7921.6^{ns}	490^{ns}	8.45^{ns}	0.02^{ns}	2802.9^{ns}	2535.1^{ns}	2301.3^{ns}	0.002^{ns}	0.0002^{ns}	0.001^{ns}
ژنوتیپ Genotype	9	223792.2**	142780.5**	28.47*	0.06^{ns}	173846.8**	172770.6**	171808.4**	0.19**	0.07**	0.01^{ns}
خطا Erroe	18	9759.4	3169.9	9.48	0.02	3211.8	2947.3	2757.6	0.004	0.001	0.004
ضریب تغییرات (٪) CV	–	5.76	4.04	17.26	15.86	3.65	3.51	3.42	7.3	4.04	7.84

^{ns}، * و ** : به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns} and **: Non-significant and significant at 1% probability level respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله گلدهی در ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 5. Mean comparison of drought tolerance indices and seed yield under without stress condition and drought stress at flowering stage in safflower genotypes

کد ژنوتیپ Genotype cod	نام ژنوتیپ توده	Genotype name	Yp	Ys_1	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
1	کاشان	Kashan	1445.7^{ef}	629^{f}	816.7^{abc}	1.28^{a}	1037.3^{d}	953.4^{d}	876.4^{e}	0.31^{d}	0.65^{f}	0.43^{c}
2	گلدشت	Goldasht	1771^{cd}	966.7^{c}	804.3^{abc}	1.03^{b}	1368.8^{c}	1308.2^{c}	1250.2^{c}	0.58^{c}	1.01^{c}	0.54^{b}
3	محلی اراک ۲۸۱۱	Local Arak 2811	1310^{f}	837.7^{d}	472.3^{e}	0.82^{c}	1073.8^{d}	1047.4^{d}	1021.5^{d}	0.37^{d}	0.87^{d}	0.63^{a}
4	فرامان	Faraman	1969.7^{ab}	1098.3^{b}	871.3^{abc}	1.01^{b}	1534^{b}	1470.1^{b}	1408.9^{b}	0.74^{b}	1.14^{b}	0.56^{b}
5	صفه	Sofeh	1606.3^{de}	1039.7^{bc}	566.7^{de}	0.79^{c}	1323^{c}	1291.1^{c}	1260^{c}	0.56^{c}	1.08^{bc}	0.65^{a}
6	پرنیان	Parnian	1801^{bc}	995.3^{c}	805.7^{abc}	1.01^{b}	1398.2^{c}	1337.5^{c}	1279.7^{c}	0.61^{c}	1.03^{c}	0.55^{b}
7	سینا	Sina	2107.7^{a}	1215.3^{a}	892.3^{ab}	0.96^{bc}	1661.5a	1600.2^{a}	1541.2^{a}	0.87a	1.26^{a}	0.57^{ab}
8	توده شیراز	Shiraz	1427f	742.7^{e}	684.3^{cd}	1.08^{b}	1084.8^{d}	1029.1^{d}	976.4^{d}	0.36^{d}	0.77^{e}	0.52^{b}
9	محلی اصفهان	Local Isfahan	1670cd	971^{c}	699^{bcd}	0.95^{bc}	1320.5^{c}	1273.4^{c}	1227.9^{c}	0.55^{c}	1.01^{c}	0.58^{ab}
10	توده کرمان	Kerman	2044.3a	1127.7^{ab}	916.7^{a}	1.02^{b}	1586^{ab}	1517.6^{ab}	1452.3^{b}	0.78^{b}	1.17a^{b}	0.55^{b}

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش در مرحله دانه‌بندی در ژنوتیپ‌های گلرنگ

Table 6. Mean comparison of drought tolerance indices and seed yield under without stress condition and drought stress at seeding stage in safflower genotypes

YI	STI	HM	GMP	MP	TOL	Ys_2	Yp	Genotype name	نام ژنوتیپ
0.77^{e}	0.52^{e}	1226.9^{e}	1242.5^{e}	1258.3^{e}	374.7^{a}	$^{e}1071^{e}$	1445.7^{ef}	Kashan	کاشان
0.93^{c}	0.78^{d}	1497.6^{d}	1515.8^{d}	1534.2^{d}	473.7^{a}	1297.3^{c}	1771^{cd}	Goldasht	گلدشت
0.85^{d}	0.53^{e}	1240.9^{e}	1243.2^{e}	1245.5^{e}	129^{c}	1181^{d}	1310^{f}	Local Arak 2811	محلی اراک ۲۸۱۱
1.16^{a}	1.08^{b}	1770.8^{b}	1780.5^{b}	1790.3^{b}	358.7^{ab}	1611^{a}	1969.7^{ab}	Faraman	فرامان
1.05^{b}	0.79^{d}	1526.4^{d}	1529.3^{d}	1532.2^{d}	148.3^{bc}	1458^{b}	1606.3^{de}	Sofeh	صفه
1.07^{b}	0.92^{c}	1631.3^{c}	1639^{c}	1646.8^{c}	308.3^{abc}	1492.7^{b}	1801^{bc}	Parnian	پرنیان
1.21^{a}	1.2^{a}	1873.9^{a}	1885.7^{a}	1897.5^{a}	420.3^{a}	1687.3^{a}	2107.7^{a}	Sina	سینا
0.82^{de}	0.56^{e}	1269.3^{e}	1278.1^{e}	1287^{e}	280^{abc}	1147^{de}	1427^{f}	Shiraz	شیراز
0.97^{c}	0.77^{d}	1493.6^{d}	1502.2^{d}	1510.8^{d}	318.3^{abc}	1351.7^{c}	1670^{cd}	Local Isfahan	محلی اصفهان
1.17^{a}	1.14^{ab}	1818.7^{ab}	1829.9^{ab}	1841.2^{ab}	406.3^{a}	1638^{a}	2044.3^{a}	Kerman	کرمان

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال آماری ۵٪ در آزمون دانکن با هم ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level by the Duncan's test.

تعیین شاخص‌های کمی مناسب در شرایط مختلف تنش خشکی

تحمل به خشکی صفتی پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا قضاوت پیرامون ژنوتیپ‌ها از نظر یک صفت، پیچیده و گاهی اوقات با نتایج متناقض همراه است. بنابراین، با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش خشکی و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی، شاخص‌های تحمل مورد ارزیابی قرار گرفته و مناسب‌ترین شاخص‌ها انتخاب شدند (جدول ۷).

به‌طور کلی، شاخص‌هایی که در محیط تنش و محیط بدون تنش همبستگی بالایی با عملکرد داشته باشند، به‌عنوان بهترین شاخص‌ها معرفی می‌شوند. زیرا این شاخص‌ها قادر به جدا کردن ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در هر دو محیط می‌باشند (۷). ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل تنش خشکی و عملکرد دانه در شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی در جدول ۷ آورده شده است. نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد دانه (جدول ۷) نشان داد که بین شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش (Yp) و تنش گلدهی و دانه‌بندی (Ys) همبستگی معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد، لذا می‌توان شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی که در شرایط بدون تنش و تنش گلدهی و دانه‌بندی عملکرد بالایی دارند، در نظر گرفت. نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه در ارقام گلرنگ بهاره در منطقه همدان نشان داد که شاخص‌های HM، MP، GMP، STI و SNPI در شرایط تنش گلدهی و شاخص‌های HM، MP، GMP و STI درشرایط تنش دانه‌بندی برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا مناسب بودند (۲۶). در بررسی شاخص‌های تحمل تنش خشکی در آفتابگردان روغنی چنین نتیجه‌گیری شد که شاخص‌های MP، GMP، STI و HM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌های آفتابگردان می‌باشد (۴).

در بین شاخص‌های مورد مطالعه فقط شاخص تحمل (TOL) در هر دو شرایط تنش با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۷). بنابراین تنها این شاخص برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی در شرایط بدون تنش مناسب می‌باشد. نکته مهم در جدول ۷ این است که بین عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و عملکرد دانه در شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود داشت که این موضوع نشان‌دهنده این است که عملکرد دانه در دو شرایط مذکور افزایش یا کاهش هم جهت دارند.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش، تنش گلدهی و تنش دانه‌بندی

Table 7. Correlation coefficients among drought tolerance indices and seed yield under without stress condition, drought stress at flowering and seeding stage

	تیمار تنش	Stress treatment	Yp	Ys	TOL	SSI	MP	GMP	HM	STI	YI	YSI
Ys	تنش گلدهی	Flowering stress	0.87**	1								
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.92**									
TOL	تنش گلدهی	Flowering stress	0.79**	0.4	1							
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.64*	0.29								
SSI	تنش گلدهی	Flowering stress	-0.02	-0.5	0.58	1						
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.26	-0.13	0.9**							
MP	تنش گلدهی	Flowering stress	0.98**	0.95**	0.66*	-0.22	1					
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.98**	0.97**	0.5	0.09						
GMP	تنش گلدهی	Flowering stress	0.96**	0.97**	0.6	-0.29	0.99**	1				
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.98**	0.97**	0.48	0.07	0.99**					
HM	تنش گلدهی	Flowering stress	0.94**	0.98**	0.54	-0.36	0.98**	0.99**	1			
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.97**	0.98**	0.46	0.05	0.99**	0.99**				
STI	تنش گلدهی	Flowering stress	0.96**	0.96**	0.62	-0.26	0.99**	0.99**	0.99**	1		
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.98**	0.97**	0.48	0.07	0.99**	0.98**	0.99**			
YI	تنش گلدهی	Flowering stress	0.87**	0.99**	0.4	-0.5	0.95**	0.97**	0.98**	0.96**	1	
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	0.92**	0.99**	0.29	-0.13	0.97**	0.97**	0.98**	0.97**		
YSI	تنش گلدهی	Flowering stress	-0.08	0.51	-0.58	-0.99**	0.22	0.29	0.36	0.26	0.5	1
	تنش دانه‌بندی	Seeding stress	-0.26	0.13	-0.9**	-0.99**	-0.09	-0.07	-0.05	-0.07	0.13	

* و ** : به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

* and **: Significant at 5 and 1% probability levels respectively

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات شاخص‌های کمی در شرایط مختلف تنش خشکی

در این پژوهش به‌منظور بررسی همزمان تمام شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی و عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی و تعیین ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات استفاده شد. بر اساس نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مشخص شد که دو مؤلفه اول در هر دو در شرایط تنش گلدهی و تنش دانه‌بندی در مجموع ۹۹/۷ درصد از تغییرات بین داده‌ها را توجیه کرده است (جدول ۸ و ۹) و بنابراین نمودار بای‌پلات براساس دو مؤلفه اول در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی رسم گردید (شکل ۱ و ۲). سهم مؤلفه اول در توجیه تغییرات کل شاخص‌ها در شرایط تنش گلدهی برابر ۷۳/۵ درصد و در شرایط تنش دانه‌بندی ۷۱/۵ درصد بود (جدول ۸ و ۹). این مؤلفه با عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش و تمام شاخص‌ها به جز TOL، SSI و YSI همبستگی مثبت و بالایی داشت (جدول ۸ و ۹). براساس همبستگی‌های مثبت با شاخص‌های مطلوب تحمل خشکی و Yp و Ys می‌توان این مؤلفه را به‌عنوان مؤلفه پتانسیل عملکرد و تحمل به خشکی در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی معرفی نمود و بنابراین این مؤلفه قادر به شناسایی ژنوتیپ‌های با عملکرد بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش می‌باشد. مؤلفه دوم در شرایط تنش گلدهی ۲۶/۲ و در شرایط تنش دانه‌بندی ۲۸/۲ درصد از تغییرات بین شاخص‌ها را توجیه نمود و این مؤلفه با شاخص‌های TOL و SSI همبستگی مثبت و بالا و با شاخص YSI همبستگی منفی و بالا داشت و بنابراین این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان مؤلفه حساسیت به تنش خشکی در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی معرفی نمود. گزینش براساس این مؤلفه باعث انتخاب ژنوتیپ‌هایی با تحمل پایین نسبت به تنش خشکی می‌شود. یاری و همکاران (۲۶) در بررسی تحمل خشکی در ارقام گلرنگ بهاره گزارش کردند که دو مؤلفه اول ۹۹/۵ درصد کل تغییرات داده‌ها را نشان دادند و مؤلفه اول و دوم را به‌ترتیب مؤلفه تحمل و حساسیت به خشکی نامگذاری کردند. در بررسی لاین‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان روغنی با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش گزارش شد که ۹۷/۳۶ درصد از تغییرات بین داده‌ها بر اساس دو مؤلفه اصلی اول توجیه گردید (۴). بنابراین نتایج مطالعه حاضر با تحقیقات ذکر شده مطابقت دارد.

با استفاده از مؤلفه‌های اصلی اول و دوم بای‌پلات رسم گردید (شکل ۱ و ۲). در فضای بای‌پلات ژنوتیپ‌ها براساس میانگین عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به خشکی در گروه‌هایی قرار می‌گیرند. نمودار بای‌پلات در شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی (شکل ۱ و ۲) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰ و ۴ (سینا، توده کرمان و فرامان) در ناحیه‌ای با پتانسل عملکرد بالا و حساسیت پایین به خشکی و در مجاورت بردار شاخص‌های مهم تحمل به خشکی شامل MP، GMP، HM، STI و YI قرار دارند. پس این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در نظر گرفت. ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۸ و ۳ (توده کاشان، توده شیراز و محلی اراک ۲۸۱۱) در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی قرار نداشتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها،

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد پایین می‌باشند. ژنوتیپ‌های شماره ۲، ۶، ۹ و ۵ (گلدشت، پرنیان، محلی اصفهان و صفه) در بین شاخص‌های مهم تحمل به خشکی و شاخص‌های حساسیت به خشکی یعنی SSI و TOL قرار داشتند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها با پتانسیل عملکرد متوسط می‌باشند. در نمودارهای بای‌پلات (شکل ۱ و ۲) زاویه بین بردارهای مربوط به هر متغیر همبستگی بین آنها را نشان می‌دهد؛ از این‌رو وجود همبستگی‌های مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI کاملاً مشخص است و همچنین این شاخص‌ها همبستگی مثبت و بسیار بالایی با عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش خشکی دارند و همانطور که قبلاً بیان شد، شاخصی که با عملکرد در هردو شرایط بدون تنش و تنش همبستگی بالایی داشته باشد برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش مناسب‌تر است. بنابراین نتایج بای‌پلات با نتایج حاصل از ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها مطابقت داشت. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات (شکل ۱ و ۲) وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را جهت انتخاب برای تحمل به تنش خشکی نشان می‌دهد. استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و رسم بای‌پلات برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر تحمل به تنش خشکی در پژوهش‌های دیگر از جمله یاری و همکاران (۲۶) و نقوی و همکاران (۱۹) در گلرنگ، درویش‌زاده و همکاران (۴) و ناصر قدیمی و همکاران (۲۰) در آفتابگردان گزارش شده است.

جدول ۸- مقادیر ویژه، واریانس تجمعی (٪) و بردارهای ویژه شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش گلدهی

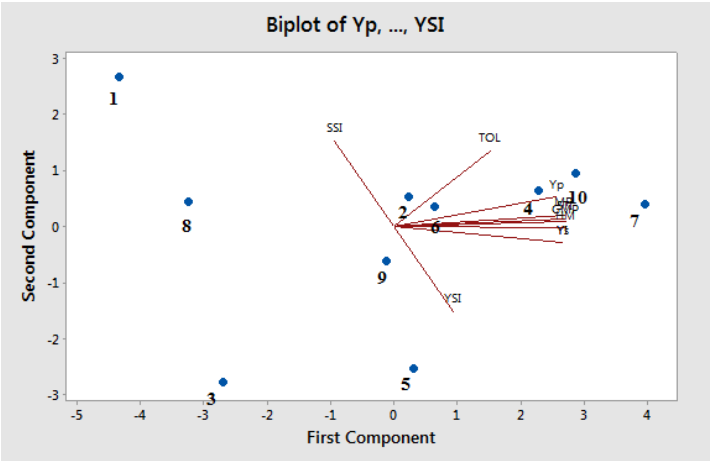
Table 8. Eigen values, cumulative variance (%) and eigen vectors of drought tolerance indices and seed yield under without stress condition and drought stress at flowering stage

YSI	YI	STI	HM	GMP	MP	SSI	TOL	Ys	Yp	واریانس تجمعی (٪) Cumulative variance (%)	مقادیر ویژه Eigen value	مؤلفه Component
0.13	0.36	0.36	0.37	0.37	0.36	-0.13	0.21	0.36	0.35	73.5	7.35	1
-0.57	-0.11	0.05	-0.01	0.03	0.08	0.58	0.51	-0.11	0.2	99.7	2.64	2

جدول ۹- مقادیر ویژه، واریانس تجمعی (٪) و بردارهای ویژه شاخص‌های کمی تحمل خشکی و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش دانه‌بندی

Table 9. Eigen values, cumulative variance (%) and Eigen vectors of drought tolerance indices seed yield under without stress condition and drought stress at seeding stage

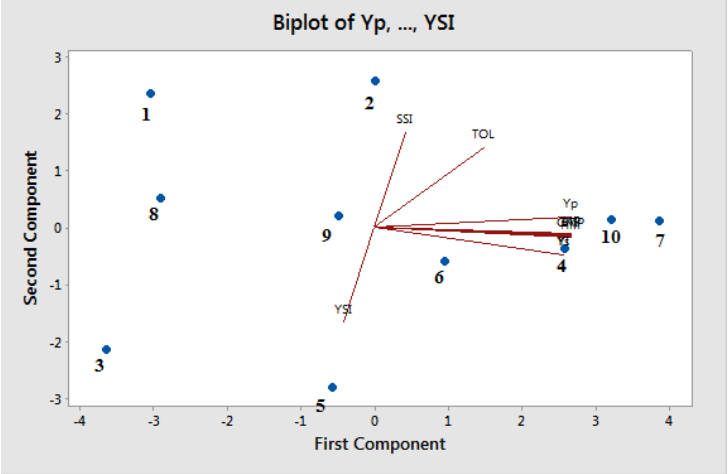
YSI	YI	STI	HM	GMP	MP	SSI	TOL	Ys	Yp	واریانس تجمعی (٪) Cumulative variance (%)	مقادیر ویژه Eigen value	مؤلفه Component
-0.06	0.36	0.37	0.37	0.37	0.38	0.06	0.21	0.36	0.37	71.5	7.15	1
-0.58	-0.17	-0.05	-0.06	-0.05	-0.04	0.59	0.5	-0.17	0.07	99.7	2.84	2



شکل ۱- نمودار بای‌پلات عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش گلدهی و شاخص‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس دو مؤلفه اول (اسامی و شماره ژنوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۵ می‌باشد)

Figure 1. Biplot chart for seed yield under without stress condition and drought stress at flowering stage and studied drought tolerance indices in safflower genotypes based on two first components (The names and genotype numbers are based on Table 5)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

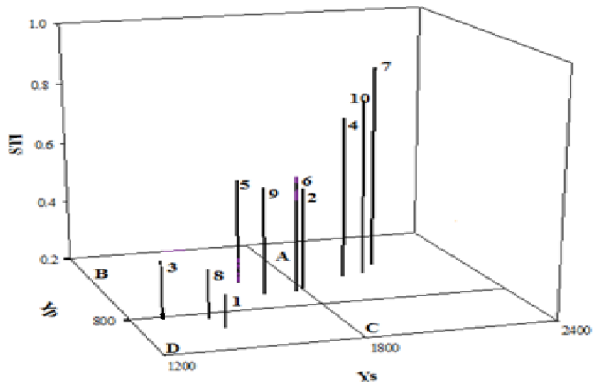


شکل ۲- نمودار بای‌پلات عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش دانه‌بندی و شاخص‌های مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های گلرنگ بر اساس دو مؤلفه اول (اسامی و شماره ژنوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۵ می‌باشد)

Figure 2. Biplot chart for seed yield under without stress condition and drought stress at seeding stage and studied drought tolerance indices in safflower genotypes based on two first components (The names and genotype numbers are based on Table 5)

بررسی نمودار سه‌بعدی شاخص‌های تحمل به خشکی

به‌منظور تشخیص ژنوتیپ‌های متحمل با عملکرد بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش از نمودار سه بعدی استفاده شد. برای رسم این نمودار از شاخص STI استفاده گردید. بدین منظور روی محور x عملکرد در شرایط تنش (Ys)، روی محور y عملکرد در شرایط بدون تنش و روی محور z شاخص STI نشان داده شد. شاخص STI ژنوتیپ‌هایی را انتخاب می‌کند که در هر دو شرایط بدون تنش و تنش دارای عملکرد بالایی هستند. بررسی نمودار سه‌بعدی Yp، Ys و STI در شرایط تنش گلدهی (شکل ۳) نشان داد که ژنوتیپ‌های ۷، ۱۰ و ۴ (سینا، توده کرمان و فرامان) در گروه A، ژنوتیپ‌های ۵ و ۶ (صفه و پرنیان) در گروه B و ژنوتیپ‌های ۱، ۳، ۸، ۲ و ۹ (سینا، توده کرمان، فرامان، گلدشت و محلی اصفهان) در گروه D قرار گرفتند و در گروه C ژنوتیپی قرار نگرفت. با توجه به نمودار سه‌بعدی می‌توان بیان کرد که ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی در گروه A قرار گرفتند و بنابراین این ژنوتیپ‌ها به علت دارا بودن عملکرد بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش تحمل بیشتری به تنش خشکی در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی دارند. استفاده از نمودار سه‌بعدی برای تفکیک گروه A از سایر گروه‌ها در پژوهش‌های دیگر مانند یاری و همکاران (۲۶) و ملکی نژاد و مجیدی (۱۷) در گلرنگ، کاکایی و همکاران (۱۵) در کلزا و قدیمی و همکاران (۲۰) در آفتابگردان نیز گزارش شده است.

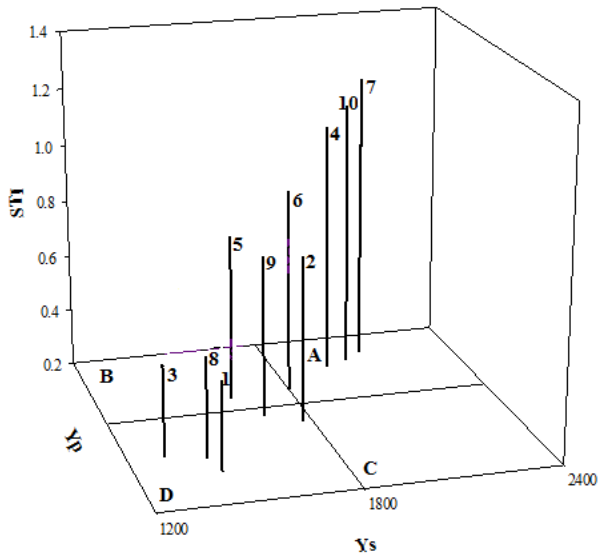


شکل ۳- نمودار سه بعدی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش گلدهی و شاخص STI در ژنوتیپ‌های گلرنگ (اسامی و شماره ژنوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۵ می‌باشد)

Figure 3. Three dimensional plots for seed yield under without stress condition and drought stress at flowering stage and STI in safflower genotypes (The names and genotype numbers are based on Table 5)

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]



شکل ۴- نمودار سه بعدی عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش دانه‌بندی و شاخص STI در ژنوتیپ‌های گلرنگ (اسامی و شماره ژنوتیپ‌ها بر اساس جدول شماره ۵ می‌باشد)

Figure 4. Three dimensional plots for seed yield under without stress condition and drought stress at seeding stage and STI in safflower genotypes (The names and genotype numbers are based on Table 5)

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که از نظر عملکرد دانه بین ژنوتیپ‌ها در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج تجزیه واریانس ساده عملکرد دانه و شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی نشان داد که بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش گلدهی از نظر Yp و Ys و تمام شاخص‌های مورد مطالعه و در شرایط تنش دانه‌بندی از نظر Yp و Ys و شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار وجود داشت. ضرایب همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد دانه در شرایط بدون تنش و تنش نشان داد که شاخص‌های MP، GMP، HM، STI و YI مناسب‌ترین شاخص‌ها برای انتخاب ژنوتیپ‌ها در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی هستند. براساس تجزیه به مؤلفه‌های اصلی دو مؤلفه اول و دوم در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی توانستند ۹۹/۷ درصد از کل تغییرات بین داده‌ها را توجیه کنند و نمودار چند متغیره بای‌پلات حاصل از دو مؤلفه اول در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی نشان داد که ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان در مجاورت شاخص‌های تحمل به خشکی یعنی MP، GMP، HM، STI و YI قرار دارند و بنابراین می‌توان این ژنوتیپ‌ها را به‌عنوان ژنوتیپ‌های با پتانسیل عملکرد بالا در نظر گرفت. توزیع ژنوتیپ‌ها در فضای بای‌پلات وجود تنوع ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها را جهت انتخاب برای تحمل به تنش خشکی نشان داد. بررسی نمودار سه‌بعدی Yp، Ys و STI در شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی نشان داد که ژنوتیپ‌های سینا، توده کرمان و فرامان در گروه A قرار می‌گیرند و بنابراین این ژنوتیپ‌ها به علت دارا بودن عملکرد بالا در هر دو شرایط بدون تنش و تنش تحمل بیشتری به تنش خشکی در هر دو شرایط تنش گلدهی و دانه‌بندی دارند.

منابع

1. Bagheri, H., B. Andalibi and R. Azimi-Moghaddam. 2012. Effect of atrazine anti-transpiration application on improving physiological traits, yield and yield components of safflower under rainfed condition. Journal of Crops Improvement, 14: 1-16.
2. Bouslama, M. and J. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybeans. I. Evaluation of three Screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
3. Camas, N., C. Cirak and E. Esendal. 2007. Seed yield, oil content and fatty acids composition of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown in northern Turkey condition. Journal of Faculty Agriculture, 22: 98-104.
4. Darvishzadeh, R., A. Soleimani Gezeljeh, H. Ali Pour, A. Ebrahimi, M.R. Bihamta and F. Morsali. 2019. Selection of oily sunflower (*Helianthus annuus* L.) drought tolerant lines using tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 10(28): 133-144 (In Persian).
5. Fanaie, H.M., H. Keikha and E. Piri. 2015. Effect of seed priming on grain and oil yield of Safflower under irrigation deficit conditions. Journal of Seed Science and Research, 2(2): 49-59 (In Persian).
6. FAO. 2019. Agricultural Data, FAOSTAT. Available at Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/faostat/collections.

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

7. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-16 August, 257-270.
8. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought tolerance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 2: 897-912.
9. 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. Cananian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
10. Ghasemi, M., S. Aharizad, A. Bandehagh, M. Norouzi and R. Azhdari. 2019. Evaluation of water deficit stress tolerance in populations of fennel (*Foeniculum vulgare* M.) using drought tolerance indices. Journal of Crop Breeding, 11(30): 118-125 (In Persian).
11. Ghorbanzadeh, M., H. Marashi, F. Shahriari Ahmadi and S. Malekzadeh Shafarudi. 2011. Determination of seed yield, oil content and fatty acid compositions of exotic and local safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crop Science, 9(2): 182-189 (In Persian).
12. Hay, R.K.M. and A.J. Walker. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific and Technical, 292 pp.
13. Hosseini, S.Z. 2016. Evaluation of drought tolerance in canola (*Brassica napus* L.) genotypes, using biplot analysis. Journal of Crop Breeding, 8(19): 192-202 (In Persian).
14. Hussain, M.I., D.A. Lyra, M. Farooq, N. Nikoloudakis and N. Khalid. 2016. Salt and drought stresses in safflower: a review. Agronomy for Sustainable Development, 36(1): 4-13.
15. Kakaei, M., A. Zebarjadi, A. Mostafaie and A. Rezaeizad. 2011. Determination of drought tolerant genotypes in *Brassica napus* L. based on drought tolerance indices. Crop Production, 3(4): 107-124. (In Persian).
16. Kristin, A.S., R.R. Serna, F.I. Perez, B.C. Enriquez, A.A. Gallegos, P.R. Vallejo, N. Wassimi and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
17. Maleki Nejad, R. and M.M. Majidi. 2015. Screening for terminal drought tolerance in Iranian and exotic safflower genotypes using drought tolerance and susceptibility indices**.** Journal of Crop Production and Processing, 5(15): 69-82 (In Persian).
18. Monajem, S., A. Ahmadi and V. Mohammadi. 2010. Effects of drought stress in Reproductive Stages on photoassimilates partitioning of Rapeseed (*Brassica napus*). Electronica journal of crop production, 3(3): 163-178 (In Persian).
19. Naghavi, M.R., I. Piri, M. Khalili and A. Tavassoli. 2021. Comparison of some drought tolerance indices in Iranian and foreign safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars. Arid Biome Scientific and Research Journal, 10(2): 175-192 (In Persian).
20. Naser Gadimi, F., S. Jahanbakhsh, M. Gaffari and A. Ebadi. 2017. Evaluation of some agronomic traits and estimation of drought resistance indices for seed yield in sunflower inbred lines under with and without water stress. Iranian Journal of Dryland Agriculture, 5(2): 225-239 (In Persian).
21. Noroozi, M. and S.A.R. Kazemini. 2012. Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. Iranian Journal of Field Crops Research, 10: 781-788 (In Persian).
22. Omidi, A.H. 2011. Effectof irrigation with hold at different growth stages on grain yield and stress tolerance indices in three safflower cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 13: 116-130 (In Persian).
23. Patel, P. and Z.G. Patel. 1996. Effect of irrigation on growth, yield and water use efficiency of safflower. Field Crop Abstract, 50: 272.
24. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
25. Yari, P., A.H. Keshtkar and A. Sepehri. 2014. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. Journal of Plant Product Technology, 14(2): 101-117 (In Persian).
26. Yari, P., A.H. Keshtkar and H. Mazahery Laghab. 2016. Evaluation of water stress in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars using tolerance indices in Hamadan region. Journal of Crop Breeding, 8(18): 88-96 (In Persian).

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]

Evaluation of Drought Tolerance in Safflower Genotypes using Tolerance Indices

Masoud Golestani

Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran,
(Corresponding author: ma_golestani@pnu.ac.ir)
Received: 14 May, 2022 Accepted: 18 June, 2022

Extended Abstract

Introduction and Objective: Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) contains considerable oil and so it is an important oil crop. This plant has been grown for its colorful petals to use them as a food coloring and flavoring agent, medicine and nutrition of livestock and birds. Moreover drought as one of the most important environmental stresses causes decrease in amount and efficiency of this crop production. The pupose of this research was evaluating the drought tolerance of safflower genotypes using some drought tolerance indices

Material and Methods: This experiment was carried out as split plot in complete randomize block design with three replications in Abarkouh in 2016-2017. Irrigation treatment as the main factor was including three levels, includes non-stress, cut off irrigation from 50% of flowering stage to maturity (flowering stress) and cut off irrigation from the onset of seeding stage to maturity (seeding stress). Ten genotypes of safflower including Faraman, Sina, Goldasht, Parnian, Soffeh, local Arak 2811, local Isfahan, Kashan, Shiraz and Kerman were as sub factor. In this research, drought tolerance indices such as tolerance index (TOL), stress susceptibility index (SSI), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), stress tolerance index (STI), yield index (YI) and yield stability index (YSI) were calculated using seed yield under non-stress (Yp) and drought stress (Ys) conditions.

Results: The results of combined analysis of variance revealed that genotype, stress and stress × genotype were significant for seed yield. Analysis of variance indicated that there were significant differences between the genotypes for Yp, Ys, and MP, GMP, HM, STI and YI indices at both stress conditions. Correlation coefficients between drought tolerance indices and seed yield showed that MP, GMP, HM, STI and YI indices had a positive and significant correlation with seed yield under non-stress and both stress conditions. Therefore these indices can be suitable for selecting better genotypes. Comparison of different safflower genotypes using multivariate biplot graph indicated that Sina, Kerman and Faraman genotypes were considered as superior genotypes in non-stress and both stress conditions because of locating of these genotypes next to the vectors of suitable drought tolerance indices. Biplot results were also confirmed by the results from three- dimensional graph of Yp, Ys and STI.

Conclusion: Biplot and three- dimensional graph results for studied genotypes showed that Sina, Kerman and Faraman genotypes could be suggested as drought tolerant genotypes under flowering and seeding stress conditions.

Keywords: Biplot, Flowering stress, Seeding stress, Seed yield, Three- dimensional graph

[Downloaded from jcb.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.61186/jcb.15.45.11]