دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

بررسی مقاومت به خشکی ارقام گلرنگ بهاره با استفاده از شاخص‌های مقاومت در منطقه همدان

پروانه یاری[۱]، امیر حسین کشتکار[۲] و حجت اله مظاهری لقب[۳]

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۲- استادیار، دانشگاه بوعلی سینا همدان (نویسنده مسوول: akesht@gmail.om)
تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۴

چکیده

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که باعث بروز خطرات جدی در میزان راندمان و تولید محصولات زراعی می‌گردد. به منظور بررسی مقاومت به خشکی ارقام گلرنگ بهاره با استفاده از شاخص‌های مقاومت، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام گرفت. آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. رژیم آبیاری شامل سه سطح بدون تنش (شاهد)، قطع آبیاری از مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی تا رسیدگی (تنش گل‌دهی) و قطع آبیاری از مرحله شروع دانه‌بندی تا رسیدگی (تنش دانه‌بندی) بود. همچنین شش رقم گلرنگ شامل PI، محلی‌عجب شیر، Mec11، فرامان، محلی زرقان ٦ و سینا در سطوح تنش آبی ذکر شده مورد مقایسه قرارگرفتند. نتایج تحلیل هم‌بستگی بین شاخص‌های مقاومت به خشکی و عملکرد دانه نشان داد که شاخص‌های SNPI، STI، GMP، MP و HARM در شرایط تنش گل‌دهی و شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM در تنش دانه‌بندی برای شناسایی ارقام با عملکرد بالا مناسب بودند. رقم سینا مقاوم‌ترین رقم و محلی زرقان ٦ و محلی عجب شیر، ارقام حساس به خشکی در دو شرایط تنش شناسایی شدند. نتایج نمودار بای پلاتو نمودار سه بعدی شاخص‌های STI MP و GMP نتایج بالا را تأیید نمودند.

واژه‌های کلیدی: تجزیه به مولفه اصلی، دانه‌بندی، شاخص تحمل به خشکی، عملکرد دانه، گل‌دهی

مقدمه

گیاهان دانه روغنی، از نظر تأمین انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده واز با ارزش‌ترین محصولات کشاورزی به‌شمار می‌روند (۱۰). از بین دانه‌های روغنی، گلرنگ (*Cartamus tinctorius* L.) گیاهی است یکساله، از تیره مرکبه (Asteraceae)، با ریشه اصلی عمیق و اکثراً دارای برگ‌های خاردار که این ویژگی توانایی تحمل خشکی و گرما را در آن ایجاد نموده است. گلرنگ در مناطق گرم و خشک به گونه ی گیاه دانه روغنی، دانه پرندگان، تهیه رنگ از گل‌ها و یا مصارف دارویی کشت می‌شود (۱۲). کشت ارقام با مقدار زیاد اسید اولئیک از سال ۱۹۹۵ اهمیت ویژای پیدا کرده‌اند. روغن این ارقام حاوی ۸۰-۷۵ درصد اسید اولئیک است که می‌توان آن را از لحاظ کیفیت با روغن زیتون مقایسه نمود (۱۱). 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 بهمراه عواملی مانندماهای 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 اصلاح‌شده‌ای که دارای عملکرد مطلوب و همچنین مقاوم 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. بروز تنش رطوبتی هرچند با شدت کم، قادر است تا در مراحل مختلف رشد زایشی گیاهان زراعی منجر به کاهش عملکرد دانه گردد. کمبود رطوبت در مرحله پیدایش و تشکیل گل موجب کاهش تعداد یاخته‌های بنیادی گل و تعداد خورجین در گیاه کلزا شده است (۱۶)، در حالیکه در مرحله گل‌دهی موجب خشک شدن دانه‌های گرده و کلاله مادگی گل شده، اختلال به وجود آمده در گرده افشانی سهم عمده‌ای در کاهش عملکرد دانه دارد (۱۴). یافته‌های به دست آمده نشان می‌دهد که مراحل گل‌دهی و پر شدن دانه در گلرنگ حساس به کمبود رطوبت می‌باشند (۱۳). پژوهش هایاشی و هانادا (۷) نشان داد که کمبود رطوبت موجب رشد نکردن کافی میانگره‌های ساقه اصلی و جوانه‌های جانبی گلرنگ شده ولی تاثیری بر تعداد برگ‌ها و براکته‌ها در ساقه اصلی ندارد. همچنین نتایج نشان داد که تنش رطوبتی موجب کاهش سطح برگ، تعداد دانه و وزن خشک دانه می‌گردد. از طرفی کاهش سطح برگ در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه موجب کاهش میزان فتوسنتز جاری که نقش اساسی در شکل‌گیری میزان عملکرد دانه داشته، می‌گردد (۵). تحقیقات متعددی برای ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی در شرایط تنش رطوبتی انجام گرفته، به همین منظور نیز شاخص‌های مختلفی برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر و مقاوم به تنش برای کشت در شرایط دارای تنش رطوبتی پیشنهاد شده است. روزیل و همبلین (۱۵) شاخص تحمل (TOL)[۱] و شاخص میانگین تولید (MP)[۲] را پیشنهاد نمودند. بنا به نظر ایشان، انتخاب بر مبنای مقادیر کمتر TOL منجربه گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که عملکرد آن‌ها در محیط دارای تنش نسبت به محیط بدون تنش کاهش کمتری داشته، دارای ثبات عملکرد خواهند بود. همچنین انتخاب بر مبنای شاخص MP به

1- Tolerance
2- Mean Productivity

گزینش ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکرد بالا ولی تحمل به تنش پایین منجر می‌شود. فرناندز (۴) شاخص تحمل تنش (STI)[1] را معیاری برای گزینش ارقام متحمل به تنش خشکی پیشنهاد نمود. به‌طوری‌که مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده‌ی تحمل زیاد و عملکرد بالقوه بالا می‌باشد. شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)[2] نیز از سوی فرناندز (۴) ارائه شد که به شناسائی ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در دو شرایط تنش و بدون تنش قادر است. هم‌چنین شاخص میانگین هارمونیک (HARM)[3] از سوی فرناندز جهت گزینش در شرایط تنش مورد استفاده قرار گرفت. شاخص حساسیت به تنش (SSI)[4] شاخص دیگری است که فیشر و مورر (۵) پیشنهاد کرده‌اند، ایشان نشان دادند که ژنوتیپ هایی با SSI کمتر از واحد، به خشکی مقاوم تربوده و کاهش عملکرد آن‌ها در شرایط خشکی کمتر از کاهش عملکرد متوسط کل ژنوتیپ‌ها می‌باشد. بیندینگر و همکاران (۲) در سال ۱۹۸۷ شاخص پاسخ به خشکی (RDI)[5] را ارائه نمودند. شاخص‌های درصد حساسیت به تنش (SSPI)[6] و میزان تحمل به محیط بدون تنش و تنش (SNPI)[7] که قادر به جداسازی ژنوتیپ‌های گروه A بوده و تاکید بر عملکرد بالا و پایدار در دو محیط تنش و بدون تنش را دارد نیز از سوی موسوی و همکاران (۹) معرفی شده است. گلرنگ با داشتن ویژگی تحمل به خشکی می‌تواند در استان همدان جایگزین مناسبی برای گیاهان با نیاز آبی بالا که در سال‌های اخیر به‌دلیل کمبود بارندگی دچار کاهش تولید محصول شده‌اند باشد. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی عملکرد و تحمل به خشکی ژنوتیپ‌های گلرنگ بهاره به منظور دستیابی به ارقام متحمل به خشکی و تعیین بهترین شاخص‌های مقاومت در شرایط مختلف رطوبتی در مزرعه بوده است.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در فروردین سال زراعی ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان با ارتفاع ۱۶۹۰ متر از سطح دریا و مختصات طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۷۵ دقیقه شمالی انجام گردید. منطقه مورد بررسی از نظر اقلیمی جزو مناطق نیمه‌خشک و سرد با میانگین بارندگی سالانه ۳۳۳ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت ۲۴ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین ماه سال است. آزمایش به صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی شامل سه سطح: 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. شش رقم گلرنگ شامل PI، محلی‌عجب شیر، Mec11، فرامان، محلی زرقان۶ و سینا که عامل دوم محسوب می‌شوند، در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هرکرت دارای ۵ ردیف به طول ۵ متر، فواصل ردیف ۵۰ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کشت نیز ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد، بذور پس از ضدعفونی با قارچ‌کش در عمق ۳ سانتی‌متری خاک به‌صورت دستی روی ردیف‌ها کشت شدند. درپایان فصل رشد، برداشت در سطحی معادل دو متر مربع و از سه ردیف میانی هر کرت، پس از حذف اثر حاشیه انجام گرفت، آنگاه عملکرد دانه به صورت گرم در متر مربع تعیین گردید. شاخص‌های مختلف مقاومت و حساسیت به تنش خشکی با استفاده از روابط زیر محاسبه گردیدکه دراین روابط Y_P و Y_S به‌ترتیب نشان‌دهنده عملکرد دانه ژنوتیپ در محیط بدون تنش و تنش بوده، همچنین $\overline{Y}_P$: میانگین عملکرد ژنوتیپ در محیط بدون تنش و $\overline{Y}_S$: میانگین عملکرد ژنوتیپ در محیط تنش می‌باشد. تجزیه‌های آماری با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و Minitab، رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

$$SSI = [1 - (Y_S / Y_P)] / [1 - (\overline{Y}_S / \overline{Y}_P)] \quad (۱)$$

$$MP = [Y_P + Y_S] / 2 \quad (۲)$$

$$TOL = [Y_P - Y_S] \quad (۳)$$

$$STI = [Y_P \times Y_S] / [\overline{Y}_P \times \overline{Y}_P] \quad (۴)$$

$$GMP = [Y_P \times Y_S]^{1/2} \quad (۵)$$

$$RDI = [Y_S / Y_P] / [\overline{Y}_S / \overline{Y}_P] \quad (۶)$$

$$HARM = [Y_P \times Y_S] / [Y_P + Y_S] \quad (۷)$$

$$SSPI = [(Y_P - Y_S) / (2\overline{Y}_P)] \times 100 \quad (۸)$$

$$SNPI = [\sqrt[3]{(Y_P + Y_S)/(Y_P - Y_S)}] \times [\sqrt[3]{(Y_P \times Y_S \times Y_S)}] \quad (۹)$$

نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین عملکرد دانه ارقام مورد بررسی در شرایط تنش گل‌دهی و تنش دانه‌بندی تفاوت معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها برای عملکرد دانه نشان داد که در شرایط تنش گل‌دهی رقم‌های سینا و عجب‌شیر با عملکرد دانه ۱۲۰۸ و ۴۴۱/۱ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را در بین ارقام داشتند. هم‌چنین در شرایط تنش دانه‌بندی رقم سینا با میانگین ۱۵۸۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد و رقم‌های زرقان۶ و محلی عجب‌شیر به‌ترتیب با میزان ۱۱۵۳/۳و ۱۲۸۰ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد را دارا بودند (جدول ۱).

تنش گلدهی

نتایج تحلیل هم‌بستگی بین عملکرد دانه و شاخص‌های مقاومت به خشکی در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش بیانگر وجود هم‌بستگی غیرمعنی‌دار شاخص TOL با عملکرد در شرایط بدون تنش وتنش و هم‌بستگی منفی معنی‌دار شاخص SSI با عملکرد در شرایط تنش و هم‌بستگی غیرمعنی‌دار در شرایط بدون تنش بود (جدول ۲).

1- Stress Tolerance Index (STI) 2-Geometric Mean Productivity (GMP) 3- Harmonic Mean (HARM)
4- Stress Susceptibility Index (SSI) 5- Relative Decrease In Yield (RDI) 6- Stress Susceptibility Percentage Index (SSPI)
7- Stress Non-Stress Production Index (SNPI)

جدول ۱- عملکرد دانه ارقام در شرایط بدون تنش، تنش گل‌دهی وتنش دانه‌بندی
Table 1. Grain yield under non-stress condition and water stress at flowering and seeding stages

شماره رقم	رقم	عملکرد دانه در واحد سطح (کیلوگرم در هکتار)		
		شرایط بدون تنش	شرایط تنش گل‌دهی	شرایط تنش دانه‌بندی
۱	PI	۲۱۲۳^{ab}	۶۸۳/۳^{c}	۱۵۲۸/۰^{a}
۲	محلی عجب شیر	۱۶۱۰/۰^{c}	۴۴۱/۷^{d}	۱۲۸۰/۰^{b}
۳	Mec11	۲۳۲۷^{a}	۷۷۳/۳^{bc}	۱۴۶۷/۰^{ab}
۴	فرامان	۱۸۴۲^{bc}	۹۸۳/۳^{ab}	۱۴۰۳/۰^{ab}
۵	محلی زرقان ۶	۱۶۵۵/۰^{c}	۷۱۸ /۳^{c}	۱۱۵۳/۰^{b}
۶	سینا	۲۴۲۳^{a}	۱۲۰۸/۰^{a}	۱۵۸۲/۰^{a}

در هر ستون میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

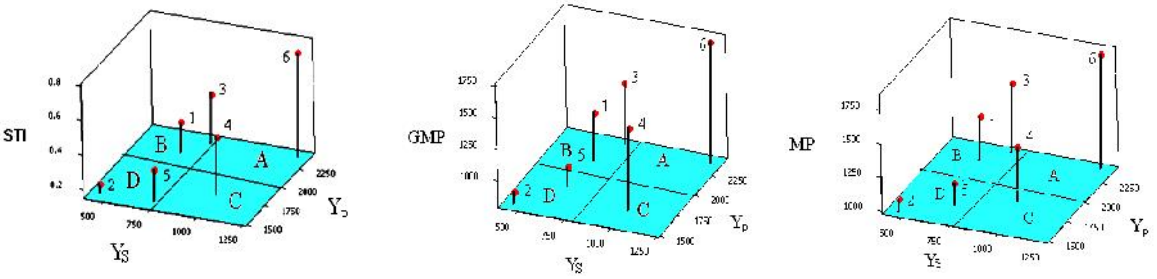
جدول ۲- ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های مقاومت در تنش آبی در مرحله گل‌دهی ارقام گلرنگ بهاره
Table 2. Correlation coefficients between drought tolerance indices under stress at flowering stage

	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	RDI	SSPI	SNPI	STI
Y_p	۱	۰/۶۳۲	-۰/۱۴۳	۰/۶۵۷	۰/۹۲۸**	۰/۸۲۳*	۰/۷۳۹	۰/۱۴۳	۰/۶۵۷	۰/۶۲۸	۰/۸۲۸*
Y_S		۱	-۰/۸۴۹*	-۰/۱۷۰	۰/۸۷۴*	۰/۹۵۵**	۰/۹۸۹**	۰/۸۴۹*	۰/۱۷۰	۰/۹۹**	۰/۹۵۲**

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

نتایج نشان داد که رقم فرامان با دارا بودن مقادیر پایین SSI و TOL در شرایط تنش متحمل‌ترین رقم بوده (جدول ۴)، در حالی‌که عملکرد آن در شرایط بدون تنش متوسط و در شرایط تنش در رتبه دوم قرار داشت. نتایج با یافته‌های گل‌آبادی و همکاران (۶) مبنی بر این‌که قضاوت بر اساس شاخص‌های SSI وTOL منجر به گزینش ژنوتیپ‌هایی می‌شود که در شرایط بدون تنش دارای عملکرد پایین‌تر ولی در شرایط وجود تنش، عملکرد نسبتاً بالایی دارند، مطابقت دارد. عملکرد دانه در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش با شاخص‌های STI، GMP و MP هم‌بستگی مثبت معنی‌دار داشت (جدول ۲). لذا شاخص‌های فوق می‌توانند برای غربال ارقام متحمل به خشکی-که در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش عملکرد بالایی دارند- مناسب باشند. سی و سه مرده و همکاران (۱۷) در گندم، کاکایی (۸) درکلزا و امیدی (۱۲) در گلرنگ نیز نتایج مشابه‌ای رابا یافته‌های این پژوهش ارائه نمودند. همچنین شاخص‌های SNPI و HARM هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و هم‌بستگی مثبت و غیرمعنی‌دار با عملکرد در شرایط بدون تنش داشتند، با توجه به نتایج جدول ۴ رقم سینا علاوه بردارابودن بالاترین رتبه در سه شاخص STI، GMP و MP دارای بالاترین عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش بوده، همچنین هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار نیز با SNPI وHARM داشت که رقمی متحمل و در مقابل رقم محلی عجب‌شیر در پایین‌ترین رتبه رقمی حساس شناخته شد. طبق معیار فرناندز، مناسب‌ترین معیار برای تنش باید به تفکیک ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها قادر بوده، در عین حال باید دارای هم‌بستگی بالا با عملکرد تحت هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد. بدین منظور نمودار سه بعدی بر اساس شاخص‌های GMP، STI و MP -که هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد دانه در شرایط تنش و بدون تنش داشتند- ترسیم شد (شکل ۱). بررسی نمودارهای سه بعدی نشان داد که در هر سه نمودارارقم سینا درگروه A قرار دارد، لذا این رقم با داشتن عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش رطوبتی و بدون تنش دارای تحمل نسبی به تنش نیز می‌باشد. همچنین ارقام PI و Mec11 واقع در ناحیه B در شرایط بدون تنش عملکرد خوبی داشته و رقم فرامان- که دارای عملکرد بالا در شرایط تنش بود- در گروه C قرار گرفت. ارقام محلی عجب‌شیر و محلی زرقان ۶ نیز در گروه D قرار گرفتند که دارای عملکرد دانه پایین در هر دو شرایط رطوبتی بودند. استفاده از نمودارهای سه بعدی برای تشخیص ژنوتیپ‌های گروه A از سایر گروه‌ها از سوی فرناندز (۴) مورد استفاده و تایید قرار گرفته است. همچنین به منظور درک بیشتر ارتباط بین شاخص‌ها از تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده گردید. تجزیه به مولفه‌های اصلی (Principal Components Analysis) نشان داد که بیشترین واریانس در میان داده‌ها به واسطه دو مولفه اول توجیه می‌شود (جدول ۳). بدین لحاظ ترسیم بای پلات بر اساس دو مولفه اول صورت گرفت. تجزیه به مولفه‌های اصلی عملکرد دانه در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش و شاخص‌های مقاومت به خشکی نشان داد که دو مولفه اصلی ۹۹/۵ درصد کل تغییرات داده‌ها را بیان نموده است، در حالی‌که مولفه اول به تنهائی ۶۸/۲ درصد از تغییرات کل واریانس را توجیه می‌کند (جدول ۳). همچنین مولفه اول را به دلیل بالا و مثبت بودن ضرایب STI، SNPI، HARM، GMP، MP و عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش می‌توان مولفه پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نام‌گذاری کرد، به‌عبارت دیگر، انتخاب بر اساس مقادیر بیش‌تر این مولفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر به تنش محیطی می‌شود که در هر دو محیط دارای عملکرد بالایی می‌باشد و از طرفی چون هر یک از دو مولفه اول و دوم تغییراتی را در بر می‌گیرند که از طریق مولفه دیگر تبیین نمی‌شود، از این جهت دو مولفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داده، رقم‌ها را بر اساس این دو مولفه در سطح نمودار فوق مشخص نمود. با توجه به

نمودار بای پلات، رقم سینا دارای بالاترین مقدار مولفه اول و همچـنین مقادیـر بالای STI، SNPI، HARM، GMP، MP، Y_P و Y_S بوده، در حالی‌که، رقم محلی عجب‌شیر دارای کمترین مقدار مولفه اول بوده است (شکل ۲). از طرفی مولفه دوم که ۳۱/۳ درصد از واریانس کل را توجیه نموده به‌دلیل دارا بودن ضرایب بالا ومثبت شاخص های TOL، SSPI و همچنین عملکرد مناسب در شرایط بدون تنش می‌توان مولفه حساسیت به تنش نامید (جدول ۳). در نتیجه انتظار می‌رود که انتخاب بر اساس مقادیر بیشتر این مولفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های حساس‌تر به تنش محیطی گردد. همچنین نتایج نشان داد که رقم‌های Mec11 و فرامان به‌ترتیب بیشترین وکمترین مقدار مولفه دوم وهمچنین مقادیر TOL و SSPI را داشتند (جدول ۲ و شکل ۲). بنابراین به نظر می‌رسد، رقم فرامان برای کشت در محیط‌های دارای تنش رطوبتی مناسب‌تر باشد. نمودار بای‌پلات برای ارقام در شرایط تنش (شکل ۲) نشان داد که رقم سینا در مجاورت بردار شاخص‌های مقاومت یعنی STI، SNPI، HARM، GMP، MP و همچنین بردار عملکرد در شرایط تنش گل‌دهی قرار گرفته است، بدین معنی که سینا علاوه بر تحمل خشکی، عملکرد بالایی نیز در شرایط تنش گل‌دهی داشته است. در مقابل رقم محلی عجب شیر به دلیل دور بودن از این بردارها، حساس به تنش خشکی محسوب می‌گردد. استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی درگلرنگ بهاره از سوی ابوالحسنی و سعیدی (۱) نیز مورد توجه و استفاده قرارگرفته است.



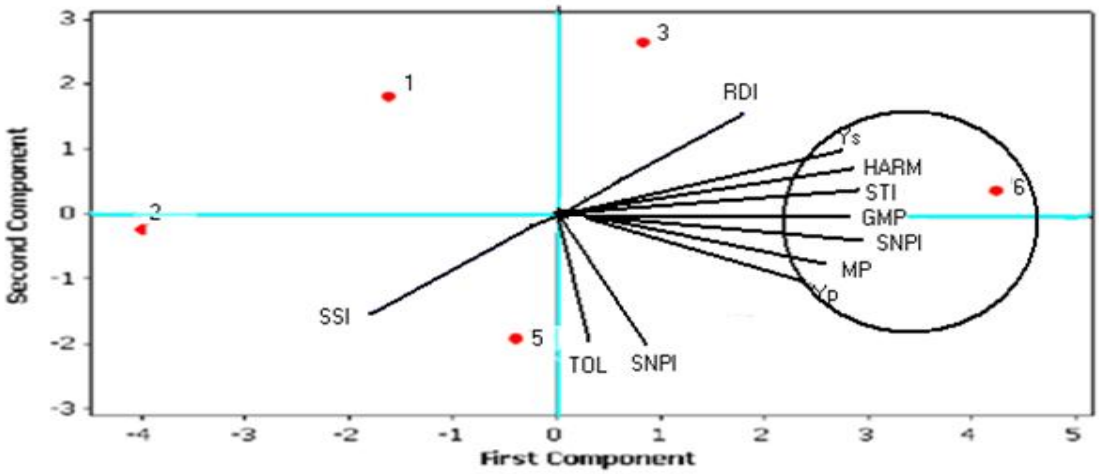
شکل ۱- نمودار سه بعدی ارقام با استفاده از شاخص‌های STI، MP، GMP، Y_Pو Y_S در تنش گل‌دهی
Figure 1. Three dimensional plots of cultivars using STI, MP, GMP, Yp and Ys under stress at flowering stage

جدول ۳- مقادیر دو مولفه اول برای شاخص‌های تحمل به خشکی، عملکرد درشرایط عدم تنش و تنش
Table 3. The two first components values for drought tolerance indices, Y_P and Y_S

مولفه	درصد از واریانس کل	مقادیر ویژه	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	RDI	SSPI	SNPI	STI
۱	۶۸/۲۰	۷/۵۰	۰/۲۶	۰/۳۶	-۰/۲۹	-۰/۰۲	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۹	-۰/۰۲	۰/۳۶	۰/۳۵
۲	۳۱/۳۰	۳/۴۴	۰/۳۸	-۰/۰۵	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۲۱	۰/۱۰	۰/۰۲	-۰/۳۲	۰/۵۳	-۰/۰۵	۰/۱۰

تنش دانه‌بندی

نتایج حاصل ازتحلیل هم‌بستگی نشان داد که بین شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM با عملکرد دانه در شرایط تنش دانه‌بندی و بدون تنش هم‌بستگی مثبت و بسیار معنی‌دار وجود داشت، در حالی‌که شاخص SSI هم‌بستگی غیرمعنی‌دار با عملکرد در هر دو شرایط بدون تنش و تنش داشت (جدول ۶). نتایج تحقیقات نشان داده است که ژنوتیپ‌های دارای مقادیر بالاتر شاخص SSI به تنش خشکی حساس بوده و مقادیر عددی پایین‌تر این شاخص (کمتر از یک) نشان‌دهنده تحمل بیش‌تر ژنوتیپ‌ها به تنش می‌باشد. در این پژوهش رقم‌های عجب‌شیر وMec11 با SSI برابر ۰/۷ و ۱/۲ به‌ترتیب در رتبه اول وششم تحمل به خشکی قرار گرفتند. چنا کبودی و همکاران (۳) اظهار داشتند که ژنوتیپ‌های دارای مقادیر پایین این شاخص، عملکرد پایین داشته و از نظر زراعی نامطلوب می‌باشند. در این پژوهش رقم محلی عجب شیر با عملکرد دانه کم در هر دو شرایط تنش و بدون تنش، به‌دلیل مقدار پایین SSI متحمل ترین رقم به تنش شناخته شد (جدول ۵). شاخص‌های TOL و SSPI هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار ولی هم‌بستگی غیر معنی‌دار با عملکرد دانه به‌ترتیب در شرایط بدون تنش وشرایط تنش داشتند. رقم محلی عجب‌شیر در بین ارقام مورد مطالعه، علی‌رغم دارا بودن عملکرد دانه پایین در شرایط تنش و بدون تنش از حیث این دو شاخص متحمل‌ترین، اما براساس شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM از حساس‌ترین رقم‌ها شناخته شد (جدول ۵).

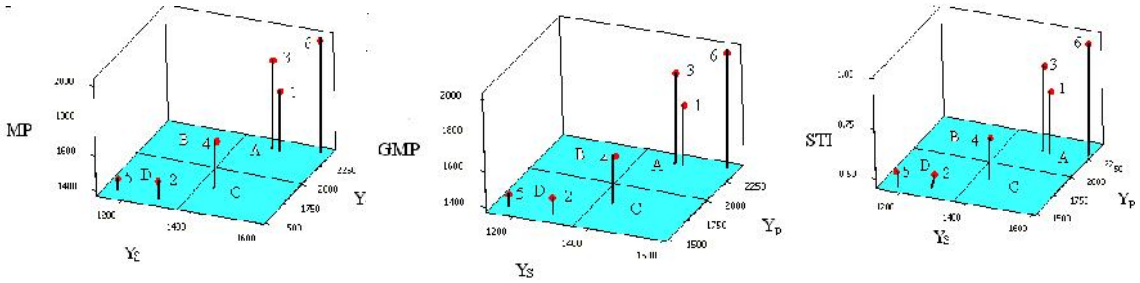


شکل ۲- نمایش بای پلات شاخص‌های مقاومت و حساسیت به خشکی در ۶ رقم گلرنگ بهاره در شرایط تنش گل‌دهی بر اساس دو مولفه اول
Figure 2. Biplot diagram of nine drought tolerance indices and six spring safflower cultivars based on first two components under stress at flowering stage

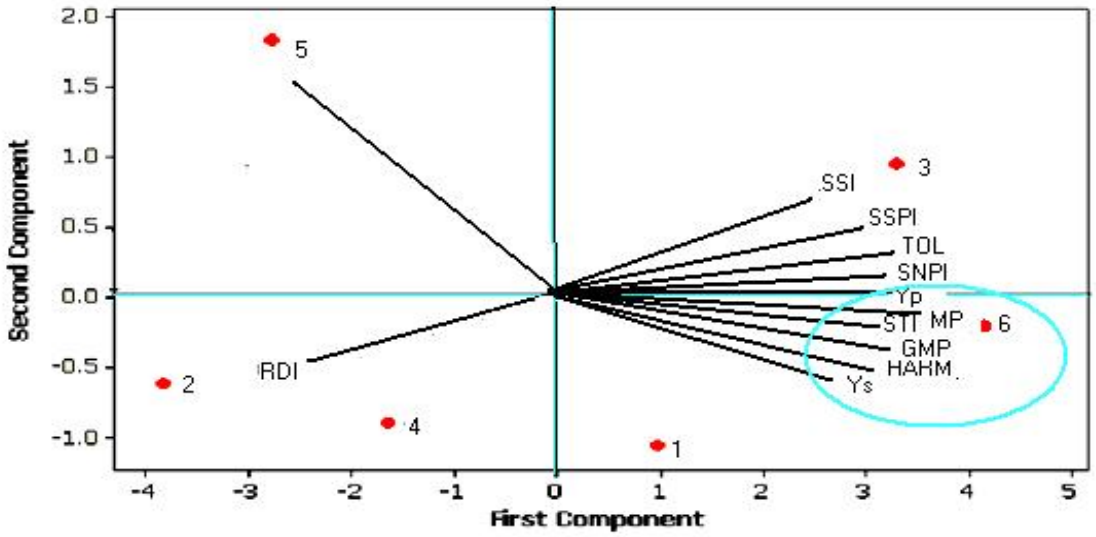
بنابه عقیده روزیل و همبلین (۱۵) گزینش ژنوتیپ‌ها بر اساس شاخص TOL به منزله مناسب بودن آن‌ها برای کشت در شرایط تنش نیست، زیرا ممکن است ژنوتیپ‌هایی یافت شوند که علی‌رغم داشتن حساسیت کم به خشکی دارای عملکرد کم نیز باشند. شاخص SNPI هم‌بستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد در شرایط تنش دانه‌بندی وهم‌بستگی منفی و غیرمعنی‌دار با عملکرد در شرایط بدون تنش داشت. بر اساس این شاخص رقم PI دارای بیشترین تحمل نسبی در این مرحله از تنش بوده، در حالی‌که این رقم در شرایط نرمال دارای عملکرد دانه متوسط بود (جدول ۵). شاخص SNPI ژنوتیپ‌هارا فقط بر اساس عملکرد دانه در شرایط تنش رتبه‌بندی نمود و نتوانست ژنوتیپ‌ها را با عملکرد بالا در هر دو شرایط شناسایی نماید و از آنجایی که شاخص مناسب باید هم‌بستگی یکسان و بالا با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش را داشته باشد، شاخص مطلوبی نمی‌باشد. نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که دو مولفه اول ۹۹/۹ درصد از واریانس کل را بیان می‌نماید (جدول ۷). در این پژوهش مولفه اول ۸۱/۳ درصد از تغییرات کل را توجیه کرده و به علت داشتن ضرایب بالا و مثبت برای شاخص‌های STI، HARM، GMP، MP، TOL، SSPI و عملکرد در شرایط بدون تنش و تنش دانه‌بندی مولفه پایداری عملکرد و تحمل به خشکی نامیده شد. به عبارتی انتخاب بر اساس مقادیر بیش‌تر این مولفه، موجب گزینش ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به تنش محیطی می‌شود که در هر دو محیط دارای عملکرد بالایی می‌باشند. بر اساس نمودار بای پلات (شکل ۴) رقم سینا دارای بیش‌ترین مقادیر مولفه اول و رقم محلی عجب شیر کمترین مقدار این مولفه را دارا بودند. همچنین مولفه دوم ۱۸/۶ درصد از تغییرات را توجیه نمود و با توجه به بالا و منفی بودن ضرایب SNPI و SSI در شرایط تنش دانه‌بندی مولفه کاهش عملکرد و حساسیت به خشکی نامیده شد (جدول ۷). نتایج نشان داد که رقم‌های محلی زرقان۶ و PI به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار مولفه دوم را به خود اختصاص داده است (شکل ۴). همچنین شاخص‌های مقاومت به خشکی یعنی MP، GMP، STI، HARM با عملکرد بالا در دو شرایط تنش دانه‌بندی و بدون تنش هم‌بستگی مثبت داشته و وجود زوایای بسیار تند بین بردارهای این چهار شاخص نشان از هم‌بستگی مثبت و بسیار بالای آن‌ها با هم دارد. رقم سینا در مجاورت بردار بهترین شاخص‌های تحمل و در قسمت پایین سمت راست قرار گرفته جایی که ناحیه مربوط به ژنوتیپ‌های دارای پتانسیل عملکرد بالا (مقادیر بیشتر مؤلفه اول) و حساسیت کمتر نسبت به تنش خشکی (مقادیر کمتر مؤلفه دوم) می‌باشد. بنابراین نتیجه، انتخاب ارقام متحمل از طریق بهترین شاخص‌های تحمل به وسیله نمایش گرافیکی بای‌پلات نیز تأیید می‌شود. فرناندز (۸) در لوبیا و ابوالحسنی و سعیدی (۱) در گلرنگ از تجزیه به مولفه‌های اصلی و نمودار بای پلات برای انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی بهره گرفته‌اند.

استفاده از ارقام متحمل یکی از مهم‌ترین راهکارها برای مقابله اثرات منفی تنش خشکی در محصولات زراعی می‌باشد. شناسایی ارقام متحمل به خشکی از اهداف اصلاح گران نباتات بوده است. به منظور شناسایی ارقام متحمل به خشکی محققین از پارامترهای مختلف مرفولوژیک و فیزیولوژیک بهره می‌گیرند.ارزیابی ژنوتیپ‌ها در شرایط نرمال رطوبتی به تنهایی قادر به انتخاب ژنوتیپ های برتر نبوده لذا بررسی ارقام در هر دو شرایط تنش و نرمال مورد توجه محققین قرار گرفته است. اصلاح‌گران برای دستیابی به ژنوتیپ‌های مقاوم از روش‌های نوین انتخاب در شرایط In vitro و مهندسی ژنتیک وکلاسیک استفاده می‌کنند. در روش‌های کلاسیک

معمولاً در نسل‌های آخر برنامه‌های به‌نژادی اقدام به ارزیابی ژنوتیپ‌ها می‌گردد. در این موارد عملکرد گیاه زراعی در شرایط مختلف رطوبتی می‌تواند ملاک سنجش تحمل آن به خشکی باشد. به همین منظور تحقیق حاضر بر اساس عملکرد ارقام در شرایط رطوبتی مختلف و محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی پایه‌ریزی‌شد. نتایج تجزیه واریانس و مقایسه میانگین بین ارقام نشان داد که اختلاف معنی‌دار در شرایط نرمال، تنش دانه‌بندی و تنش گل‌دهی در عملکرد دانه ارقام وجود داشته است، به‌طوری که رقم سینا به عنوان رقم متحمل، نسبت به ارقام دیگر دارای عملکرد بالا در سه سطح تنش رطوبتی بود. از طرفی این رقم از لحاظ شاخص‌های STI، SNPI، HARM، GMP، MP در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش، شاخص MP و همچنین STI، GMP و HARM در شرایط تنش گل‌دهی و بدون تنش، شاخص‌های MP، GMP، STI و HARM در شرایط تنش دانه‌بندی و بدون تنش دارای بالاترین رتبه بوده است. نتیجه‌گیری فوق از طریق بررسی هم‌بستگی بین عملکرد در شرایط مختلف تنش و بدون تنش و شاخص های مقاومت به خشکی نیز تایید گردید، به‌طوری که شاخص‌های ذکر شده هم‌بستگی بالا و بسیار معنی‌داری با Y_P و Y_S نشان دادند و به‌همین دلیل شاخص‌هایی مناسب و کارآمد در شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گلرنگ توصیه می‌شوند. اطلاعات تکمیل کننده در این پژوهش از طریق تجزیه به مولفه‌های اصلی و رسم نمودار بای پلات و همچنین رسم نمودار سه بعدی به دست آمد، که نتایج به‌دست آمده قبلی را تایید نمود. به طورکلی، در شرایط تنش دانه‌بندی و گل‌دهی، رقم سینا متحمل‌ترین و محلی عجب‌شیر و زرقان۶ حساس‌ترین ارقام درشرایط این پژوهش معرفی گردیدند.



شکل ۳- نمودار سه بعدی ارقام با استفاده از شاخص‌های STI، MP، GMP، Y_p و Y_S در شرایط تنش دانه‌بندی
Figure 3. Three dimensional plots of cultivars using STI, MP, GMP, Yp and Ys under stress at seeding stage



شکل ۴- نمایش بای پلات شاخص‌های تحمل به خشکی در ارقام گلرنگ بهاره بر اساس دو مولفه اول در تنش دانه‌بندی
Figure 4. Biplot diagram of nine drought tolerance indices and six spring safflower cultivars based on first two components under stress at seeding stage

جدول ۴- تخمین حساسیت رقم‌ها در تنش گل‌دهی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی

Table 4. Estimation of cultivars susceptibility under water stress at flowering stage by drought tolerance indices

رقم	Y_P kg/ha	رتبه	Y_S kg/ha	رتبه	SSI	رتبه	TOL	رتبه	MP	رتبه	GMP	رتبه	HARM	رتبه	RDI	رتبه	SSPI	رتبه	SNPI	رتبه	STI	رتبه
pi	۲۱۲۳	۳	۶۸۳/۳	۵	۱/۱۳	۵	۱۴۴۰	۵	۱۴۰۳/۳	۴	۱۲۰۵	۴	۱۰۳۳/۹	۴	۰/۸۰۲	۴	۳۶/۰۶	۵	۱۲۴۵/۶	۵	۰/۳۶۳	۴
محلی‌عجب شیر	۱۶۱۰	۶	۴۴۱/۷	۶	۱/۲۱	۶	۱۱۶۸	۳	۱۰۲۵/۸	۶	۸۴۳/۳	۶	۶۹۳/۱۸	۶	۰/۶۸۳	۶	۲۹/۲۶	۳	۸۲۰/۰۷	۶	۰/۱۷۸	۶
Mec11	۲۳۲۷	۲	۷۷۳/۳	۳	۱/۱۱	۴	۱۵۵۳	۶	۱۵۵۰	۲	۱۳۴۱	۳	۱۱۶۰/۸	۳	۰/۸۲۸	۳	۳۸/۹	۴	۱۴۰۵/۶	۶	۰/۴۵۱	۳
فرامان	۱۸۴۲	۴	۹۸۳/۳	۲	۰/۷۸	۱	۸۵۸/۳	۱	۱۴۱۲/۵	۳	۱۳۴۶	۲	۱۲۸۲/۱	۲	۱/۳۳	۲	۲۱/۴۹	۱	۱۸۰۳	۲	۰/۴۵۴	۲
محلی زرقان ۶	۱۶۵۵	۵	۷۱۸/۳	۴	۰/۹۵	۳	۹۳۶/۷	۲	۱۱۸۶/۷	۵	۱۰۹۰	۵	۱۰۰۱/۸	۵	۱/۰۸۱	۵	۲۳/۴۶	۳	۱۲۹۳/۴	۲	۰/۲۹۸	۴
سینا	۲۴۲۳	۱	۱۲۰۸	۱	۰/۸۴	۲	۱۲۱۵	۴	۱۸۱۵/۸	۱	۱۷۱۱	۱	۱۶۱۲/۶	۱	۱/۲۴۲	۱	۳۰/۴۳	۲	۲۱۹۵	۴	۰/۷۳۴	۱

جدول ۵- تخمین حساسیت رقم‌ها در تنش دانه‌بندی با استفاده از شاخص‌های مختلف تحمل به خشکی

Table 5. Estimation of cultivars susceptibility under water stress at seeding stage by drought tolerance indices

رقم	Y_P kg/ha	رتبه	Y_S kg/ha	رتبه	SSI	رتبه	TOL	رتبه	MP	رتبه	GMP	رتبه	HARM	رتبه	RDI	رتبه	SSPI	رتبه	SNPI	رتبه	STI	رتبه
pi	۲۱۲۳	۳	۱۵۲۸	۲	۰/۹	۳	۵۹۵	۴	۱۸۲۵/۸	۳	۱۸۰۱	۳	۱۷۷۷/۴	۳	۱/۰۲۵	۳	۱۴/۹	۴	۳۱۲۲/۳	۱	۰/۸۱۴	۳
محلی‌عجب‌شیر	۱۶۱۰	۶	۱۲۸۰	۵	۰/۷	۱	۳۳۰	۱	۱۴۴۵	۵	۱۴۳۶	۵	۱۴۲۶/۲	۵	۱/۱۳۲	۱	۸/۲۶۴	۱	۲۸۴۸	۴	۰/۵۱۶	۵
Mec11	۲۳۲۷	۲	۱۴۶۷	۳	۱/۲	۶	۸۶۰	۶	۱۸۹۶/۷	۲	۱۸۴۷	۲	۱۷۹۹/۲	۲	۰/۸۹۸	۶	۲۱/۵۴	۶	۲۸۰۵/۳	۵	۰/۸۵۵	۲
فرامان	۱۸۴۲	۴	۱۴۰۳	۴	۰/۸	۲	۴۳۸/۳	۲	۱۶۲۲/۵	۴	۱۶۰۸	۴	۱۵۹۲/۹	۴	۱/۰۸۵	۴	۱۰/۹۸	۲	۲۹۹۴/۴	۳	۰/۶۴۸	۴
محلی زرقان۶	۱۶۵۵	۵	۱۱۵۳	۶	۱	۴	۵۰۱/۷	۳	۱۴۰۴/۲	۶	۱۳۸۲	۶	۱۳۵۹/۴	۶	۰/۹۹۲	۴	۱۲/۵۶	۳	۲۳۰۹/۸	۶	۰/۴۷۸	۶
سینا	۲۴۲۳	۱	۱۵۸۲	۱	۱/۱۷	۵	۸۴۱/۷	۵	۲۰۰۲/۵	۱	۱۹۵۸	۱	۱۹۱۴/۱	۱	۰/۹۲۹	۵	۲۱/۰۸	۵	۳۰۹۹/۹	۲	۰/۹۶۱	۱

جدول ۶- ضرایب هم‌بستگی بین شاخص‌های تحمل در تنش آبی در مرحله دانه‌بندی ارقام گلرنگ بهاره

Table 6. Correlation coefficients between drought tolerance indices under stress at seeding stage

شاخص	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	RDI	SSPI	SNPI	STI
Y_P	۱	۰/۸۸۶*	۰/۷۹۰	۰/۹۳۹**	۰/۹۸۸**	۰/۹۸۲**	۰/۹۷۳**	-۰/۷۹۰	۰/۹۳۹**	-۰/۵۴۰	۰/۹۳۹**
Y_S		۱	۰/۴۲۰	۰/۶۷۱	۰/۹۴۶**	۰/۹۵۸**	۰/۹۶۹**	-۰/۴۲۰	۰/۶۷۱	۰/۸۹۰*	۰/۹۵۰**

جدول ۷- مقادیر دو مولفه اول برای عملکرد در شرایط تنش دانه‌بندی، عدم تنش و شاخص‌های تحمل به خشکی

Table 7. The two first components values for yield under non-stress condition, water stress at seeding stage and drought tolerance indices

مولفه	درصداز واریانس کل	مقادیر ویژه	Y_P	Y_S	SSI	TOL	MP	GMP	HARM	RDI	SSPI	SNPI	STI
۱	۷۹/۹	۸/۷۸	۰/۳۳	۰/۳۰	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۲	-۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۲۳	۰/۳۳
۲	۲۰	۲/۲۰	-۰/۰۰۲	-۰/۳۱	۰/۴۸	۰/۲۵	-۰/۱۰	-۰/۱۳	-۰/۱۶	-۰/۳۸	۰/۲۵	-۰/۴۸	-۰/۱۲

منابع

1. Abolhasani, Kh. and G. Saeidi. 2006. Evaluation of drought tolerance of safflower lines based on tolerance and sensitivity indices to water stress. Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources, 10: 419-422.
2. Bidinger, F.R., V. Mahalakshami and G.D.P. Rao. 1987. Assessment of drought resistance in pearel millet [*Pennisetum americanum* (L). Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. Australian Journal of Agricultural Research, 38: 49-59.
3. Choghakbody, Z., E. Zebarjadi and D. Kahrizi. 2012. Evaluation of Drought Tolerance of Rapeseed (*Brassicanapus* L.) Genotypesin laboratory and field conditions Seed and Plant Improvement Journal, 28: 17-38 (In Persian).
4. Fernandez, G.C.1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: proceeding of the 4th Symposium, Adaptation of crops to temperature and water stress, 13-18 Aug., Taiwan.
5. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I: grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
6. GolAbadi, M., A. Arzani, A. Mirmohammadi and S.A.M. Maibody. 2006. Assessment of drought tolerance in segregating populations in durum wheat. African Journal of Agricultural Research, 1: 162-171.
7. Hayashi, H. and K. Hanada. 1985. Effects of soil water deficit on seed yield and yield components of safflower. Japanese Journal of Crop Science, 54: 346-352.
8. Kakaei, M. 2009. Effects of genotype and drought stress on physiological, morphological, phonological and biochemical traits of winter rape (*Brassicanapus* L.). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, Branch of Kermansha, Iran 245 pp.
9. Moosavi, S.S., B. Yazdi Samadi, M.R. Naghavi, A.A. Zali., H. Dashti and A.Pourshahbazi. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. DESERT, 12**:** 165-178.
10. Nasseri, F. 1991. Oil Seeds Publication of Astan Quds Razavi,Mashhad. 823 pp (In Persian).
11. Omidi, A.H. and F. Javidfar. 2011. Safflower. 1st edition. Agriculture Education. Iran, 118 pp (In Persian).
12. Omidi, A.H. 2011. Effectof irrigation with hold at different growth stages on grain yield and stress tolerance indices in threesafflower cultivars. Iranian Journal of Crop Sciences, 13: 116-130 (In Persian).
13. Patel, P. and Z.G. Patel. 1996. Effect of irrigation on growth, yield and water use efficiency of safflower. Field Crop Abstract, 50: 272.
14. Prasad, R. 2002. Textbook of field crops production. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi, 821 pp.
15. Rosielle, A.A. and J. Hamblin. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
16. Singh, L.D. and N.C. Stoskapf. 1971. Harvest index in cereals. Agronomy Journal, 63: 224-226.
17. SioSe Mardeh, A., A. Ahmadi, K. Poustini and V. Mohammadi. 2006. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. Field Crop Research, 98: 222-229.

Evaluation of Water Stress in Spring Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Cultivars using Tolerance Indices in Hamadan Region

Parvaneh Yari[1], Amir Hossein Keshtkar[2] and Hojatollah Mazahery Laghab[3]

1 and 3- M.Sc. Student and Associate Professor, Bu-Ali Sina University
2-Assistante Professor, Bu-Ali Sina University (Corresponding author: akesht@gmail.om)
Received: May 12, 2014 Accepted: September 15, 2014

Abstract

Drought as one of the most important environmental stresses causes serious threats in amount and efficiency of crop productions. To evaluate drought resistance by using drought tolerance indices in safflower varieties, a research was conducted at the Research Farm of Bu-Ali Sina University. Experiment was planed as split-plot on the basis of randomized complete block design with three replications. Irrigation treatment as the main factor was including three levels, such as without stress (control), cut off irrigation at 50% of flowering stage to maturity (flowering stress) and cut off irrigation from the onset of seeding stage to maturity (seeding stress). Six cultivars of safflower including PI, local Ajabshir, Mec11, Faraman, local Zarghan6 and Sina were compared in three levels of irrigation treatment. The results of correlation analysis between drought tolerance indices and grain yield indicated that MP, GMP, STI, SNPI and HARM in flowering stress, and GMP, MP, STI and HARM were suitable to select high yield cultivars in seeding stage. Sina were identified as the most tolerant cultivars, while local Zarghan6 and local Ajabshir were sensitive cultivars under two stress conditions. The above findings were also confirmed by the results from biplot and three- dimensional graph of MP, STI and GMP.

Keywords: Drought tolerance indices, Flowering, Grain yield, Principal component analysis, Seeding