دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی

انتخاب لاین‌های متحمل به خشکی در آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) با استفاده از شاخص‌های تحمل به تنش

رضا درویش‌زاده[۱]، علی سلیمانی قزلجه[۲]، هادی علی‌پور[۳]، آسا ابراهیمی[۴]، محمد رضا بی‌همتا[۵] و فریبا مرسلی[۶]

۱- استاد، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، (نویسنده مسوول: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)
۲ و ۴- دانشجوی دکتری اصلاح نباتات و استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران
۳ و ۶- استادیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه
۵- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه تهران، کرج
تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۱

چکیده

به‌منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی لاین‌های آفتابگردان روغنی، غربال کردن شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی، ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی در قالب طرح لاتیس ساده تحت شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود در شرایط مزرعه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مورد آزمایش قرار گرفتند. بر مبنای عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال (Yp) و آبیاری محدود (Ys)، شاخص‌های کمی تحمل به تنش خشکی از قبیل میانگین بهره‌وری (MP)، میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل (TOL)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI) و میانگین هارمونیک (HM) محاسبه شدند. در مجموع دو محیط، لاین شماره ۸ با میانگین عملکرد دانه در بوته ۸۱/۲۵ گرم و لاین شماره ٦٦ با میانگین عملکرد دانه در بوته ۵/٤۳ گرم به ترتیب بیشترین و کمترین عملکرد را به خود اختصاص دادند. تحلیل همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود و شاخص‌های تحمل به خشکی نشان داد که MP، GMP، STI و HM مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌های آفتابگردان می‌باشند. در شرایط آبیاری معمولی و محدود بیشترین مقدار MP، GMP، STI و HM متعلق به لاین شماره ۸ بود. با توجه به این چهار شاخص و عملکرد بالا در دو محیط آبیاری نرمال و آبیاری محدود، لاین ۸ به‌عنوان بهترین لاین تشخیص داده شد که می‌تواند به‌عنوان لاین والدینی در تلاقی‌ها برای تولید ارقام هیبرید و یا تولید جمعیت‌های در حال تفرق مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، تجزیه های چند متغیره، تنش کمبود آب، شاخص تحمل، عملکرد

مقدمه

تنش‌های محیطی یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش‌دهنده عملکرد و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌روند و مقابله و یا کاهش اثر تنش‌ها به‌عنوان راهکاری مفید در جهت افزایش عملکرد این محصولات مد نظر قرار گرفته است (۸،۱۴،۲۷). تنش خشکی از عمده‌ترین چالش‌ها برای تولید محصولات زراعی است و از این نظر اصلاح ارقام پیشرفته و مقاوم برای مناطق خشک و نیمه‌خشک امری ضروری به نظر می‌رسد (۱۸،۲۹،۳۰). آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) گیاهی یکساله از خانواده *Compositae* است که خاستگاه اولیه آن آمریکای مرکزی می‌باشد. این گیاه یکی از مهم‌ترین منابع روغن خوراکی در جهان بوده که با داشتن سیستم ریشه‌ای عمیق، یک گیاه زراعی متحمل به خشکی محسوب می‌شود (۳،۲۳،۲۴). از مزیت‌های نسبی آفتابگردان در مقایسه با برخی دیگر از گیاهان روغنی می‌توان به طول دوره رویش کوتاه، رشد و نمو سریع، سازگاری با شرایط آب و هوایی، تحمل نسبی به تنش خشکی، درصد بالای روغن با کیفیت بسیار خوب و بی‌تفاوت بودن به طول روز (۲۰) اشاره کرد. به طور کلی در بین مراحل رشد، مرحلهٔ گلدهی حساس‌ترین مرحله به تنش کمبود آب محسوب می‌شود (۱۶). بنابراین مدیریت آب در این گیاه، از اول گلدهی تا زمان رسیدن آن بیشترین اهمیت را دارد (۴). گزارش شده است که تنش خشکی به طور معنی‌داری ارتفاع بوته، قطر طبق، تعداد دانه در طبق، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه، شاخص برداشت و عملکرد روغن آفتابگردان را کاهش می‌دهد (۲۵). سوریانو و همکاران (۲۶) نیز کاهش معنی‌دار در شاخص برداشت در اثر تنش آبی را گزارش کردند. یگاپان و همکاران (۲۸) در آزمایش‌های خود روی آفتابگردان مشاهده کردند که تنش کمبود آب در همه تیمارها (قبل از گلدهی و بعد از گلدهی) وزن پوسته را در تمامی نقاط طبق کاهش داد. همچنین کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و اجزای آن توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۷،۲۰،۲۵). از دلایل مهم کاهش عملکرد دانه در مواجهه با تنش خشکی مختل شدن فعالیت‌های فیزیولوژیک گیاه است (۱۵). روش‌های مختلف و متعددی برای ارزیابی واکنش محصولات زراعی به تنش‌های محیطی توسط محققین مورد مطالعه قرار گرفته است. فرناندز (۱۰) شاخص تحمل تنش (STI) را پیشنهاد کرد که بر اساس عملکرد هر گیاه در دو شرایط مطلوب و تنش و مربع میانگین عملکرد تمامی گیاهان مورد آزمایش در شرایط مطلوب محاسبه می‌شود. هرچه مقدار STI بیشتر باشد نشانه بیشتر بودن تحمل گیاه به تنش است. روزئیل و هامبلین (۲۲) شاخص تحمل (TOL) و شاخص بهره‌وری متوسط (MP) را معرفی نمودند که TOL تفاوت عملکرد گیاه در دو شرایط متفاوت و MP میانگین تولید در شرایط تنش و عدم تنش را مشخص می‌کند. زیاد بودن TOL نشانه حساسیت گیاه به تنش بوده و اساساً انتخاب بر مبنای مقادیر کم TOL انجام می‌شود ولی زیاد بودن MP تحمل بیشتر به تنش را نشان می‌دهد. فرناندز (۱۰) و کریستین و همکاران (۱۷) شاخص

دیگری تحت عنوان میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را پیشنهاد نمودند. فیشر و مورر (۱۱) نیز شاخص حساسیت به تنش (SSI) را معرفی کردند که در آن عملکرد دانه تحت شرایط مطلوب و تنش اندازه‌گیری و شدت تنش نیز بر اساس میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها تحت شرایط مطلوب و تنش تعیین می‌شود. مقادیر کم SSI حاکی از تغییرات کم عملکرد گیاه در شرایط تنش در مقایسه با شرایط عدم تنش و در نتیجه تحمل بیشتر گیاه است. به‌طورکلی شناسایی و اصلاح ارقام پرمحصول آفتابگردان که به تنش‌های رطوبتی تحمل داشته باشند و ارزیابی صفات مرتبط با تحمل به خشکی بسیار مهم است. این مطالعه با هدف ارزیابی تنوع ژنتیکی لاین‌های آفتابگردان روغنی، غربال کردن شاخص‌های تحمل به خشکی و شناسایی لاین‌های متحمل به خشکی صورت گرفته است.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی در قالب طرح لاتیس ساده ۱۰×۱۰ به صورت جداگانه تحت شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود در مزرعه‌ای واقع در روستای قزلجه‌ی شهرستان سلماس در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ از لحاظ عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر واحد آزمایش از یک خط کاشت به طول ۵ متر تشکیل شد و بذور به فواصل ۵۰ سانتی‌متر در روی خطوط کاشت، با فواصل ۶۰ سانتی‌متر بین خطوط کاشته شدند. فاصله دو تکرار از هم ۱/۵ متر و فاصله دو آزمایش از هم ۵ متر انتخاب گردید. برای مبارزه با علف‌های هرز، چندین مرحله وجین دستی صورت گرفت. کود ازته (اوره) به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک مصرف گردید. تا مرحلهٔ ۸ برگی آبیاری هر دو آزمایش به صورت معمولی (۹۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A) انجام شد. آبیاری آزمایش نرمال تا انتهای فصل رشد به همین صورت ادامه یافت. در آزمایش آبیاری محدود از مرحله ۸ برگی به بعد آبیاری بعد از ۱۸۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A صورت گرفت. برداشت طبق در هر لاین متناسب با رسیدگی فیزیولوژیک آن انجام گرفت. بر اساس عملکرد دانه در شرایط نرمال و آبیاری محدود شاخص‌های تحمل به خشکی با استفاده از فرمول های ارایه شده در جدول ۱ محاسبه گردیدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی در نرم‌افزار Excel 2010 انجام گرفت. همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و محدود با نرم‌افزار Minitab 16 محاسبه شد. به‌منظور انتخاب ارقام با شاخص تحمل بالا و عملکرد مناسب از تجزیه به مولفه‌های اصلی و نمودار بای پلات استفاده شد. برای رسم نمودار بای‌پلات و نمودارهای سه‌بعدی بر حسب عملکرد لاین‌ها در دو شرایط و شاخص‌های مطلوب تحمل به خشکی، از نرم‌افزار Statgraphics 16.1.11 استفاده گردید. گروه‌بندی لاین‌ها بر مبنای شاخص‌های MP، GMP، HM، TOL، YI، YSI، STI، TOL، SSI و YI و نیز عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود با استفاده از بسته آماری d3heatmap در نرم‌افزار RStudio انجام گرفت.

جدول ۱- شاخص‌های کمی تحمل به خشکی

Table 1. Quantitative drought tolerance indices

شاخص‌های تحمل به خشکی	معادله	منبع
شاخص حساسیت به تنش	$SSI = \frac{1-(\frac{Y_S}{Y_P})}{1-(\frac{\bar{Y}_S}{\bar{Y}_P})}$	(۱۱)
میانگین هندسی بهره‌وری	$GMP = \sqrt{(Y_S)(Y_P)}$	(۱۷ ،۱۰)
میانگین بهره‌وری	$MP = \frac{Y_S + Y_P}{2}$	(۲۲)
میانگین هارمونیک	$HM = \frac{2(Y_P \ . \ Y_S)}{Y_P + Y_S}$	(۱۷)
شاخص تحمل	$TOL = Y_P - Y_S$	(۲۲)
شاخص تحمل تنش	$STI = \frac{(Y_S)(Y_P)}{(\bar{Y}_P)^2}$	(۱)
شاخص عملکرد	$YI = \frac{Y_S}{\bar{Y}_S}$	(۱۲)
شاخص پایداری عملکرد	$YSI = \frac{Y_S}{Y_P}$	(۶)

Ys و Yp به ترتیب بیانگر عملکرد هر یک از لاین‌ها تحت شرایط آبیاری محدود و آبیاری نرمال هستند. $\bar{Y}s$ و $\bar{Y}p$ به ترتیب بیانگر متوسط عملکرد تمامی لاین‌ها تحت شرایط آبیاری محدود و آبیاری نرمال هستند.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که بین لاین‌های مورد مطالعه آفتابگردان، از نظر عملکرد دانه در بوته در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲) که بیانگر وجود تنوع ژنتیکی و امکان انتخاب برای تحمل به خشکی است. به‌منظور شناسایی لاین‌های متحمل به تنش خشکی، میانگین عملکرد در شرایط نرمال و آبیاری محدود و هر یک از شاخص‌های تحمل به خشکی برای لاین‌های مورد بررسی محاسبه شدند (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که به‌طور متوسط تنش اعمال شده از مرحلهٔ ۸ برگی به بعد باعث کاهش ۳۸ درصدی عملکرد دانه در بوته لاین‌های مورد بررسی نسبت به شرایط آبیاری نرمال شده است. در مجموع شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود بیشترین عملکرد دانه در بوته در لاین شماره ۸ با میانگین ۸۱/۲۵ گرم مشاهده شد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس عملکرد دانه لاین‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود

Table 2. Analysis of variance for seed yield of sunflower lines under well-watered and water-limited conditions

تجزیه‌های ساده

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		WW	WS (Non- transformed data)	WS (Log transformed data)
تکرار	۱	۲۰۰۸/۸۳*	۴۸۷/۴۷^{ns}	۰/۱۳^{ns}
بلوک داخل تکرار	۱۸	۱۶۰/۱۴^{ns}	۲۱۳/۶۲^{ns}	۰/۰۷^{ns}
لاین	۹۹	۶۸۴/۷۸**	۲۶۹/۰۳**	۰/۱۳**
باقی مانده	۸۱	۱۲۸/۹۴	۱۴۸/۰۰	۰/۰۵
ضریب تغییرات		۳۳/۱۷	۵۵/۷۹	۱۸/۸۵

تجزیه مرکب

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		WW	WS
محیط	۱	۱۵۴۵۰^{ns}	۱۳۰/۳۹^{ns}
تکرار در داخل محیط	۲	۱۲۴۸/۱۵*	۷/۶۰*
بلوک داخل تکرار در محیط	۳۶	۱۸۶/۸۸^{ns}	۱/۴۵^{ns}
لاین	۹۹	۷۱۳/۹۰**	۶/۷۶**
لاین × محیط	۹۹	۲۳۲/۱۵**	۱/۵۳*
باقی‌مانده	۱۶۲	۱۳۸/۴۷	۱/۱۲
برش‌دهی اثر متقابل			
تنش آبیاری محدود	۹۹	۲۶۹/۰۳**	۲/۹۲**
آبیاری نرمال	۹۹	۶۸۴/۷۸**	۵/۴۹**
ضریب تغییرات		۴۲/۰۰	۲۱/۲۷

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد. ns: غیر معنی‌دار.

جدول ۳- میانگین شاخص‌های تحمل به خشکی و عملکرد دانه لاین‌های آفتابگردان در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود

Table 3. Mean of drought tolerance indices and seed yield of sunflower lines under well-watered and water-limited conditions

کد Code	لاین Line	YP	YS	SSI	GMP	MP	HM	TOL	STI	YI	YSI
۱	H100A/83HR4	۲۲/۵۰	۱۲/۰۴	۱/۲۸	۱۶/۴۶	۱۷/۲۷	۱۵/۶۹	۱۰/۴۶	۰/۲۳	۰/۵۵	۰/۵۴
۳	H205A/H543R	۱۲/۹۳	۱۰/۰۰	۰/۶۲	۱۱/۳۷	۱۱/۴۷	۱۱/۲۸	۲/۹۳	۰/۱۱	۰/۴۶	۰/۷۷
۴	AS5306	۵۸/۳۴	۳۱/۶۷	۱/۲۶	۴۲/۹۸	۴۵/۰۱	۴۱/۰۵	۲۶/۶۷	۱/۵۸	۱/۴۵	۰/۵۴
۵	RHA858	۲۶/۱۱	۲۳/۲۷	۰/۳۰	۲۴/۶۵	۲۴/۶۹	۲۴/۶۱	۲/۸۴	۰/۵۲	۱/۰۷	۰/۸۹
۶	H209A/83HR4	۴۰/۰۰	۱۸/۲۷	۱/۵۰	۲۷/۰۳	۲۹/۱۴	۲۵/۰۸	۲۱/۷۳	۰/۶۲	۰/۸۴	۰/۴۶
۷	As3211	۵۸/۳۴	۱۸/۳۴	۱/۸۹	۳۲/۷۱	۳۸/۳۴	۲۷/۹۱	۴۰/۰۰	۰/۹۱	۰/۸۴	۰/۳۱
۸	254-ENSAT	۱۲۵/۰	۳۷/۵۰	۱/۹۳	۶۸/۴۷	۸۱/۲۵	۵۷/۶۹	۸۷/۵۰	۴/۰۰	۱/۷۲	۰/۳۰
۹	AS5304	۴۵/۸۰	۱۷/۷۱	۱/۶۹	۲۸/۴۸	۳۱/۷۶	۲۵/۵۴	۲۸/۰۹	۰/۶۹	۰/۸۱	۰/۳۹
۱۰	1009329.2(100K)	۲۲/۶۲	۱۲/۷۰	۱/۲۱	۱۶/۹۵	۱۷/۶۶	۱۶/۲۷	۹/۹۲	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۵۶
۱۱	270-ENSAT	۵۵/۰۰	۱۶/۲۵	۱/۹۴	۲۹/۹۰	۳۵/۶۳	۲۵/۰۹	۳۸/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۳۰
۱۲	AS613	۴۱/۶۷	۲۷/۵۰	۰/۹۴	۳۳/۸۵	۳۴/۵۹	۳۳/۱۳	۱۴/۱۷	۰/۹۸	۱/۲۶	۰/۶۶
۱۳	A-FLPOPA	۵۳/۶۰	۲۵/۰۰	۱/۴۷	۳۶/۶۱	۳۹/۳۰	۳۴/۱۰	۲۸/۶۰	۱/۱۴	۱/۱۵	۰/۴۷
۱۴	OES	۵۴/۲۰	۳۱/۹۰	۱/۱۳	۴۱/۵۸	۴۳/۰۵	۴۰/۱۶	۲۲/۳۰	۱/۴۷	۱/۴۶	۰/۵۹
۱۵	H100A/LC1064	۴۷/۳۰	۲۷/۸۴	۱/۱۳	۳۶/۲۹	۳۷/۵۷	۳۵/۰۵	۱۹/۴۶	۱/۱۲	۱/۲۸	۰/۵۹
۱۶	RHA266	۲۶/۱۹	۷/۵۰	۱/۹۷	۱۴/۰۲	۱۶/۸۵	۱۱/۶۶	۱۸/۶۹	۰/۱۷	۰/۳۴	۰/۲۹
۱۸	H157/LC1064	۴۰/۶۳	۲۴/۳۵	۱/۱۰	۳۱/۴۵	۳۲/۴۹	۳۰/۴۵	۱۶/۲۸	۰/۸۴	۱/۱۲	۰/۶۰
۱۹	5DES20QR	۴۰/۶۳	۱۶/۲۰	۱/۶۶	۲۵/۶۶	۲۸/۴۲	۲۳/۱۶	۲۴/۴۳	۰/۵۶	۰/۷۴	۰/۴۰
۲۰	15038.00	۷/۹۲	۷/۳۳	۰/۲۱	۷/۶۲	۷/۶۳	۷/۶۱	۰/۵۹	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۹۳
۲۱	1009337(100K)	۷/۵۰	۶/۳۵	۰/۴۲	۶/۹۰	۶/۹۳	۶/۸۸	۱/۱۵	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۸۵
۲۲	AS3232	۳۷/۰۶	۲۵/۰۰	۰/۹۰	۳۰/۴۴	۳۱/۰۳	۲۹/۸۶	۱۲/۰۶	۰/۷۹	۱/۱۵	۰/۶۷
۲۳	12AASB3	۶/۵۵	۶/۵۴	۰/۰۱	۶/۵۴	۶/۵۴	۶/۵۴	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۳۰	۱/۰۰
۲۴	8ASB2	۵۸/۸۰	۱۹/۲۹	۱/۸۵	۳۳/۶۸	۳۹/۰۵	۲۹/۰۵	۳۹/۵۱	۰/۹۷	۰/۸۸	۰/۳۳
۲۶	H049+FSB	۶۴/۸۳	۳۷/۵۰	۱/۱۶	۴۹/۳۱	۵۱/۱۷	۴۷/۵۲	۲۷/۳۳	۲/۰۷	۱/۷۲	۰/۵۸
۲۷	SSD-580	۳۵/۰۰	۱۱/۲۵	۱/۸۷	۱۹/۸۴	۲۳/۱۳	۱۷/۰۳	۲۳/۷۵	۰/۳۴	۰/۵۲	۰/۳۲
۲۹	7CR1=PRH6	۳۲/۲۹	۲۰/۸۴	۰/۹۸	۲۵/۹۴	۲۶/۵۷	۲۵/۳۳	۱۱/۴۵	۰/۵۷	۰/۹۶	۰/۶۵
۳۰	ENSAT699	۴۵/۰۰	۳۳/۴۸	۰/۷۱	۳۸/۸۱	۳۹/۲۴	۳۸/۳۹	۱۱/۵۲	۱/۲۹	۱/۵۴	۰/۷۴
۳۱	SSD-581	۵۰/۰۰	۱۴/۵۹	۱/۹۵	۲۷/۰۱	۳۲/۳۰	۲۲/۵۹	۳۵/۴۱	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۲۹
۳۲	TMB-51	۳۸/۲۰	۲۷/۵۰	۰/۷۷	۳۲/۴۱	۳۲/۸۵	۳۱/۹۸	۱۰/۷۰	۰/۹۰	۱/۲۶	۰/۷۲
۳۳	IRANI 11×12	۵۳/۵۷	۲۴/۲۹	۱/۵۱	۳۶/۰۷	۳۸/۹۳	۳۳/۴۲	۲۹/۲۸	۱/۱۱	۱/۱۱	۰/۴۵
۳۴	IRANI110	۵۱/۲۰	۲۹/۷۵	۱/۱۵	۳۹/۰۳	۴۰/۴۸	۳۷/۶۳	۲۱/۴۵	۱/۳۰	۱/۳۶	۰/۵۸
۳۶	IRANI 4	۱۱/۱۵	۷/۵۰	۰/۹۰	۹/۱۴	۹/۳۳	۸/۹۷	۳/۶۵	۰/۰۷	۰/۳۴	۰/۶۷
۳۸	NSF1-A4R5	۵۴/۱۷	۲۹/۴۷	۱/۲۶	۳۹/۹۵	۴۱/۸۲	۳۸/۱۷	۲۴/۷۰	۱/۳۶	۱/۳۵	۰/۵۴
۳۹	IRANI 28	۴۱/۶۷	۴۱/۷۰	۰/۰۰	۴۱/۶۸	۴۱/۶۹	۴۱/۶۸	-۰/۰۳	۱/۴۸	۱/۹۱	۱/۰۰
۴۰	IRANI 30	۲۲/۸۲	۲۰/۸۴	۰/۲۴	۲۱/۸۱	۲۱/۸۳	۲۱/۷۹	۱/۹۸	۰/۴۱	۰/۹۶	۰/۹۱

ادامه جدول ۳

Cantiniude Table 3.

کد Code	لاین Line	YP	YS	SSI	GMP	MP	HM	TOL	STI	YI	YSI
۴۱	F1250/03	۵۸/۳۳	۲۸/۹۰	۱/۳۹	۴۱/۰۶	۴۳/۶۲	۳۸/۶۵	۲۹/۴۳	۱/۴۴	۱/۳۳	۰/۵۰
۴۲	SDR18	۱۴/۳۸	۸/۷۵	۱/۰۸	۱۱/۲۲	۱۱/۵۷	۱۰/۸۸	۵/۶۳	۰/۱۱	۰/۴۰	۰/۶۱
۴۳	LP-SCYB	۱۹/۶۵	۹/۵۹	۱/۴۱	۱۳/۷۳	۱۴/۶۲	۱۲/۸۹	۱۰/۰۶	۰/۱۶	۰/۴۴	۰/۴۹
۴۴	803-1	۳۵/۰۰	۱۵/۸۴	۱/۵۱	۲۳/۵۴	۲۵/۴۲	۲۱/۸۰	۱۹/۱۷	۰/۴۷	۰/۷۳	۰/۴۵
۴۵	1009370-1(100K)	۵۳/۵۷	۲۳/۲۲	۱/۵۶	۳۵/۲۷	۳۸/۴۰	۳۲/۴۰	۳۰/۳۵	۱/۰۶	۱/۰۶	۰/۴۳
۴۶	CSWW2S	۴۵/۰۰	۲۵/۰۰	۱/۲۲	۳۳/۵۴	۳۵/۰۰	۳۲/۱۴	۲۰/۰۰	۰/۹۶	۱/۱۵	۰/۵۶
۴۷	1009370-3(100K)	۱۳/۷۵	۱۳/۳۷	۰/۰۸	۱۳/۵۶	۱۳/۵۶	۱۳/۵۶	۰/۳۸	۰/۱۶	۰/۶۱	۰/۹۷
۴۸	H158A/H543R	۵۱/۳۹	۱۱/۲۵	۲/۱۵	۲۴/۰۴	۳۱/۳۲	۱۸/۴۶	۴۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۵۲	۰/۲۲
۴۹	H100A	۵۴/۲۰	۱۹/۰۶	۱/۷۹	۳۲/۱۴	۳۶/۶۳	۲۸/۲۰	۳۵/۱۴	۰/۸۸	۰/۸۷	۰/۳۵
۵۰	15031.00	۱۰/۳۶	۸/۷۵	۰/۴۳	۹/۵۲	۹/۵۶	۹/۴۹	۱/۶۱	۰/۰۸	۰/۴۰	۰/۸۴
۵۱	H250A/83HR4	۳۳/۹۳	۱۱/۰۷	۱/۸۶	۱۹/۳۸	۲۲/۵۰	۱۶/۶۹	۲۲/۸۶	۰/۳۲	۰/۵۱	۰/۳۳
۵۲	RHA265	۳۰/۹۰	۱۳/۰۷	۱/۵۹	۲۰/۱۰	۲۱/۹۹	۱۸/۳۷	۱۷/۸۳	۰/۳۴	۰/۶۰	۰/۴۲
۵۴	RT948	۱۹/۸۹	۳/۷۵	۲/۲۴	۸/۶۴	۱۱/۸۲	۶/۳۱	۱۶/۱۴	۰/۰۶	۰/۱۷	۰/۱۹
۵۵	283-ENSAT	۲۱/۸۸	۱۶/۲۵	۰/۷۱	۱۸/۸۶	۱۹/۰۷	۱۸/۶۵	۵/۶۳	۰/۳۰	۰/۷۵	۰/۷۴
۵۶	QHP-1	۲۰/۰۹	۱۱/۶۷	۱/۱۵	۱۵/۳۱	۱۵/۸۸	۱۴/۷۶	۸/۴۲	۰/۲۰	۰/۵۴	۰/۵۸
۵۷	SDR19	۷۹/۲۰	۳۶/۷۵	۱/۴۸	۵۳/۹۵	۵۷/۹۸	۵۰/۲۰	۴۲/۴۵	۲/۴۸	۱/۶۹	۰/۴۶
۵۸	HA337B	۴۲/۸۶	۳۲/۵۰	۰/۶۷	۳۷/۳۲	۳۷/۶۸	۳۶/۹۷	۱۰/۳۶	۱/۱۹	۱/۴۹	۰/۷۶
۶۰	B454/03	۴۱/۴۳	۱۷/۵۰	۱/۵۹	۲۶/۹۳	۲۹/۴۷	۲۴/۶۱	۲۳/۹۳	۰/۶۲	۰/۸۰	۰/۴۲
۶۱	HA304	۳۹/۲۹	۳۶/۳۰	۰/۲۱	۳۷/۷۷	۳۷/۸۰	۳۷/۷۴	۲/۹۹	۱/۲۲	۱/۶۶	۰/۹۲
۶۲	RT931	۶۰/۲۷	۳۲/۶۴	۱/۲۶	۴۴/۳۵	۴۶/۴۶	۴۲/۳۵	۲۷/۶۳	۱/۶۸	۱/۵۰	۰/۵۴
۶۳	HA335B	۵۱/۴۰	۲۹/۰۰	۱/۲۰	۳۸/۶۱	۴۰/۲۰	۳۷/۰۸	۲۲/۴۰	۱/۲۷	۱/۳۳	۰/۵۶
۶۴	NS-B5	۱۹/۶۵	۸/۵۷	۱/۵۵	۱۲/۹۸	۱۴/۱۱	۱۱/۹۳	۱۱/۰۸	۰/۱۴	۰/۳۹	۰/۴۴
۶۵	SDB3	۹/۱۷	۷/۱۷	۰/۶۰	۸/۱۱	۸/۱۷	۸/۰۵	۲/۰۰	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۷۸
۶۶	LC1064C	۶/۴۲	۴/۴۳	۰/۸۵	۵/۳۳	۵/۴۳	۵/۲۴	۱/۹۹	۰/۰۲	۰/۲۰	۰/۶۹
۶۸	DM-2	۴۶/۸۸	۳۵/۳۶	۰/۶۸	۴۰/۷۱	۴۱/۱۲	۴۰/۳۱	۱۱/۵۳	۱/۴۱	۱/۶۲	۰/۷۵
۶۹	H156A/RHA274	۷/۰۹	۴/۶۴	۰/۹۵	۵/۷۴	۵/۸۷	۵/۶۱	۲/۴۵	۰/۰۳	۰/۲۱	۰/۶۵
۷۰	SDB1	۵۷/۱۴	۱۷/۸۶	۱/۸۹	۳۱/۹۵	۳۷/۵۰	۲۷/۲۱	۳۹/۲۸	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۳۱
۷۱	HAR-4	۱۵/۴۴	۱۱/۷۵	۰/۶۶	۱۳/۴۷	۱۳/۶۰	۱۳/۳۴	۳/۶۹	۰/۱۵	۰/۵۴	۰/۷۶
۷۲	AS5305	۹/۳۸	۵/۵۱	۱/۱۴	۷/۱۹	۷/۴۵	۶/۹۴	۳/۸۷	۰/۰۴	۰/۲۵	۰/۵۹
۷۳	RHA274	۳۲/۲۰	۲۳/۶۷	۰/۷۳	۲۷/۶۱	۲۷/۹۴	۲۷/۲۸	۸/۵۳	۰/۶۵	۱/۰۹	۰/۷۴
۷۴	H158A/H543R	۱۵/۰۰	۷/۳۴	۱/۴۱	۱۰/۴۹	۱۱/۱۷	۹/۸۶	۷/۶۶	۰/۰۹	۰/۳۴	۰/۴۹
۷۵	H100A/RHA274	۳۷/۸۶	۲۱/۸۸	۱/۱۶	۲۸/۷۸	۲۹/۸۷	۲۷/۷۳	۱۵/۹۸	۰/۷۱	۱/۰۰	۰/۵۸
۷۶	H209A/H566R	۳۷/۵۰	۲۹/۹۱	۰/۵۶	۳۳/۴۹	۳۳/۷۱	۳۳/۲۸	۷/۵۹	۰/۹۶	۱/۳۷	۰/۸۰
۸۰	D34	۴۳/۱۸	۱۲/۷۸	۱/۹۴	۲۳/۴۹	۲۷/۹۸	۱۹/۷۲	۳۰/۴۰	۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۳۰
۸۱	CAY	۳۱/۶۷	۱۷/۷۱	۱/۲۱	۲۳/۶۸	۲۴/۶۹	۲۲/۷۲	۱۳/۹۶	۰/۴۸	۰/۸۱	۰/۵۶
۸۲	IRANI 346	۲۵/۰۰	۲۴/۳۸	۰/۰۷	۲۴/۶۹	۲۴/۶۹	۲۴/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۲	۱/۱۲	۰/۹۸
۸۳	NS-F1-A5×R5	۳۲/۲۹	۲۰/۰۹	۱/۰۴	۲۵/۴۷	۲۶/۱۹	۲۴/۷۷	۱۲/۲۰	۰/۵۵	۰/۹۲	۰/۶۲
۸۵	IRANI 380	۳۳/۲۳	۲۷/۳۸	۰/۴۹	۳۰/۲۱	۳۰/۳۶	۳۰/۰۶	۵/۹۵	۰/۷۸	۱/۲۶	۰/۸۲
۸۶	SDB2	۵۰/۰۰	۴۱/۶۷	۰/۴۶	۴۵/۶۵	۴۵/۸۴	۴۵/۴۶	۸/۳۳	۱/۷۸	۱/۹۱	۰/۸۳
۸۷	H158A/LC1064	۱۶/۲۵	۹/۷۶	۱/۱۰	۱۲/۵۹	۱۳/۰۱	۱۲/۲۰	۶/۴۹	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۶۰
۸۸	H156A/H543R	۸/۷۱	۶/۸۸	۰/۵۸	۷/۷۴	۷/۸۰	۷/۶۹	۱/۸۳	۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۷۹
۹۰	H543R	۳۰/۶۳	۲۴/۲۹	۰/۵۷	۲۷/۲۷	۲۷/۴۶	۲۷/۰۹	۶/۳۴	۰/۶۳	۱/۱۱	۰/۷۹
۹۱	SF076	۴۶/۸۸	۲۲/۲۲	۱/۴۵	۳۲/۲۷	۳۴/۵۵	۳۰/۱۵	۲۴/۶۶	۰/۸۹	۱/۰۲	۰/۴۷
۹۲	B-FIPOPB	۳۶/۶۷	۱۹/۶۵	۱/۲۸	۲۶/۸۴	۲۸/۱۶	۲۵/۵۹	۱۷/۰۲	۰/۶۱	۰/۹۰	۰/۵۴
۹۳	SF085	۳۴/۲۹	۲۲/۳۰	۰/۹۶	۲۷/۶۵	۲۸/۳۰	۲۷/۰۲	۱۱/۹۹	۰/۶۵	۱/۰۲	۰/۶۵
۹۴	SF092	۴۲/۸۶	۲۵/۶۰	۱/۱۱	۳۳/۱۲	۳۴/۲۳	۳۲/۰۵	۱۷/۲۶	۰/۹۴	۱/۱۷	۰/۶۰
۹۵	A-CONTROLPLASTIPIC	۵۰/۸۴	۳۵/۰۰	۰/۸۶	۴۲/۱۸	۴۲/۹۲	۴۱/۴۶	۱۵/۸۴	۱/۵۲	۱/۶۰	۰/۶۹
۹۷	H100A-90RL8	۴۱/۱۰	۱۴/۸۴	۱/۷۶	۲۴/۶۹	۲۷/۹۷	۲۱/۸۰	۲۶/۲۷	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۳۶
۹۸	SF109	۶۰/۸۰	۳۱/۲۵	۱/۳۴	۴۳/۵۹	۴۶/۰۳	۴۱/۲۸	۲۹/۵۵	۱/۶۲	۱/۴۳	۰/۵۱
۹۹	SF105	۲۷/۳۸	۲۶/۷۹	۰/۰۶	۲۷/۰۸	۲۷/۰۹	۲۷/۰۸	۰/۵۹	۰/۶۳	۱/۲۳	۰/۹۸
۱۰۰	SF023	۲۵/۰۰	۱۱/۸۱	۱/۴۵	۱۷/۱۸	۱۸/۴۰	۱۶/۰۴	۱۳/۲۰	۰/۲۵	۰/۵۴	۰/۴۷

Ys: عملکرد در محیط تنش کمبود آب، Yp: عملکرد در محیط بدون تنش آب. TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌روی، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد، YI: شاخص عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش.

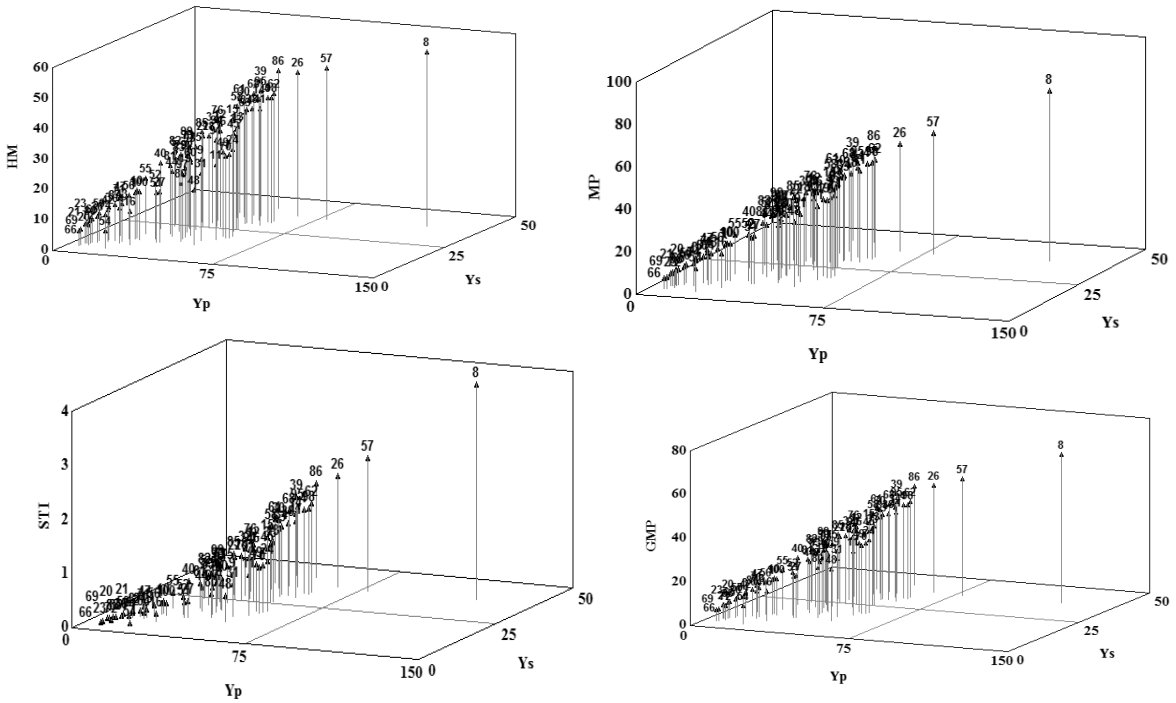
از نظر شاخص‌های کمّی تحمل به خشکی بیشترین STI (۴/۰)، میانگین بهره‌وری (۸۱/۳)، میانگین هندسی بهره‌وری (۶۸/۵) و میانگین هارمونیک (۵۷/۷) در لاین شماره ۸ مشاهده شد. کمترین شاخص SSI (صفر) و TOL (۰/۰۱) به ترتیب متعلق به لاین‌های شماره ۳۹ و ۲۳ بود (جدول ۳). با توجه به اینکه تحمل به خشکی یک صفت پیچیده بوده و عوامل مختلفی در آن دخالت دارند، لذا قضاوت پیرامون لاین ها از نظر این صفت پیچیده و گاهی با نتایج متناقض همراه است (۱۹،۲۱). بنابراین با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط آبیاری معمولی و محدود و شاخص‌های کمی تحمل به خشکی می‌توان شاخص‌های تحمل را غربال و مناسب‌ترین شاخص را انتخاب نمود. مناسب‌ترین شاخص آن است که در هر دو شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود با عملکرد همبستگی معنی‌داری داشته باشد (۵،۱۹). نتایج حاصل از تجزیه همبستگی شاخص‌ها با عملکرد در شرایط آبیاری نرمال (Yp) و آبیاری محدود (Ys) نشان داد که بین شاخص‌های MP، HM، GMP و STI با عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود در سطح احتمال یک درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). لذا می‌توان شاخص‌های MP، HM، GMP و STI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای غربال کردن لاین‌های متحمل به تنش خشکی که در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. علوی و همکاران (۲) در ارزیابی تحمل به تنش خشکی در لاین‌های مختلف آفتابگردان نشان دادند که بین شاخص‌های MP، HM، GMP و STI با عملکرد در شرایط آبیاری بهینه و تنش خشکی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد لذا شاخص‌های مذکور به‌عنوان مناسبترین شاخص‌های تحمل به خشکی در نظر گرفته شدند. این نتایج در توافق با نتایج این مطالعه می‌باشد. عبدالشاهی و همکاران (۱) نیز چهار شاخص MP، HM، GMP و STI را به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها برای ارزیابی تحمل به خشکی در ژنوتیپ‌های گندم معرفی کردند. کریستین و همکاران (۱۷) در مطالعه بر روی ارقام لوبیا شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) را به‌عنوان شاخص مطلوب گزارش کردند. به اظهار فرناندز (۱۰) شاخص GMP در مقایسه با MP قدرت بیشتری دارد، بنابراین در صورت اختلاف زیاد بین عملکرد در شرایط مطلوب و عملکرد در شرایط تنش نسبت به مقادیر آستانه‌ای حساسیت کمتری دارد. غفاری (۱۳) در مطالعه خود با عنوان ارزیابی و انتخاب لاین‌های اینبرد آفتابگردان در شرایط نرمال و تنش خشکی گزارش نمود که از بین شاخص‌های تحمل، شاخص STI کارایی بیشتری در شناسایی ارقام مقاوم به تنش خشکی دارد. در مجموع شاخص‌های MP، GMP، HM و STI برای بررسی در مطالعات آینده معرفی می‌شوند. در ادامه برای تعیین لاین‌های متحمل با عملکرد بالا در هر دو شرایط از نمودار سه‌بعدی استفاده شد (شکل ۱). نمودار سه‌بعدی رابطه بین سه متغیر Yp، Ys و یکی از شاخص‌های تحمل را نشان می‌دهد که در آن عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال بر روی محور Yها، عملکرد در محیط آبیاری محدود بر روی محور Xها و یکی از شاخص‌های انتخاب شده (MP، HM، GMP و STI) بر روی محور Zها نمایش داده می‌شود. با توجه به این سه معیار لاین‌ها در چهار گروه A، B، C و D دسته‌بندی شدند. فرناندز (۱۰) نشان داد که مناسب‌ترین شاخص آن است که بتواند ژنوتیپ‌های گروه A را از سایر گروه‌ها متمایز کند.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال، آبیاری محدود و شاخص‌های تحمل به خشکی در لاین‌های آفتابگردان
Table 4. Correlation coefficients amoung Yp, Ys and tolerance indices in sunflower lines

شاخص	YP	YS	SSI	GMP	MP	HM	TOL	STI	YI
YS	۰/۷۲**								
SSI	۰/۴۵**	-۰/۱۹^{ns}							
GMP	۰/۹۳**	۰/۹۳**	۰/۱۵^{ns}						
MP	۰/۹۷**	۰/۸۷**	۰/۲۵*	۰/۹۹**					
HM	۰/۸۷**	۰/۹۷**	۰/۰۵^{ns}	۰/۹۹**	۰/۹۷**				
TOL	۰/۸۷**	۰/۲۹**	۰/۷۶**	۰/۶۳**	۰/۷۲**	۰/۵۲**			
STI	۰/۹۱**	۰/۸۶**	۰/۱۳^{ns}	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۹۴**	۰/۶۵**		
YI	۰/۷۲**	۱/۰۰**	-۰/۱۹^{ns}	۰/۹۳**	۰/۸۷**	۰/۹۷**	۰/۲۹**	۰/۸۶**	
YSI	-۰/۴۶**	۰/۱۹^{ns}	-۱/۰۰**	-۰/۱۵^{ns}	-۰/۲۵*	-۰/۰۵^{ns}	-۰/۷۶**	-۰/۱۳^{ns}	۰/۱۹^{ns}

Ys: عملکرد در محیط تنش کمبود آب، Yp: عملکرد در محیط بدون تنش آب. TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌وری، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد، YI: شاخص عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش.

بر اساس نمودارهای سه بعدی لاین شماره ۸ وضعیت مطلوب‌تری از لحاظ تحمل به خشکی و همچنین عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود داشت. بنابراین لاین مذکور از پتانسیل بالایی برای استفاده در پروژه‌های تولید ارقام هیبرید مقاوم به خشکی برخوردار است. نمودار سه‌بعدی فقط رابطه بین سه متغیر را بررسی می‌کند، بنابراین برای بررسی هم زمان بر اساس چند متغیر از یک نمودار چند متغیره موسوم به بای‌پلات استفاده شد (۲۱،۸،۱۰). برای این منظور ابتدا از تجزیهٔ چند متغیره مؤلفه‌های اصلی بر مبنای شاخص‌های تحمل و عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود استفاده شد. بای‌پلات مربوطه بر مبنای دو مولفه اول و دوم که ۹۷/۳۶٪ از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه می‌کردند، رسم گردید (شکل ۲). در فضای بای‌پلات لاین‌ها در گروه‌های مشخص قرار گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد و تحمل آنها به تنش کمبود آب است (شکل ۲). در این مطالعه مولفه اول ۶۹/۵۴٪ از تغییرات کل داده‌ها را توجیه می‌کرد و همبستگی بالا با GMP، MP، HM و عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود داشت. مولفه دوم ۲۷/۸۲٪ از تغییرات مربوطه را توجیه می‌کرد و همبستگی بالا با عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و شاخص‌های TOL و STI نشان داد.



شکل ۱- نمودار پراکنش سه بعدی لاین‌های آفتابگردان براساس عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال (Yp) و آبیاری محدود (Ys) و شاخص‌های مهم تحمل به تنش خشکی

Figure 1. Three-dimensional (3D) plot of sunflower lines based on Yp, Ys and main drought tolerance indices

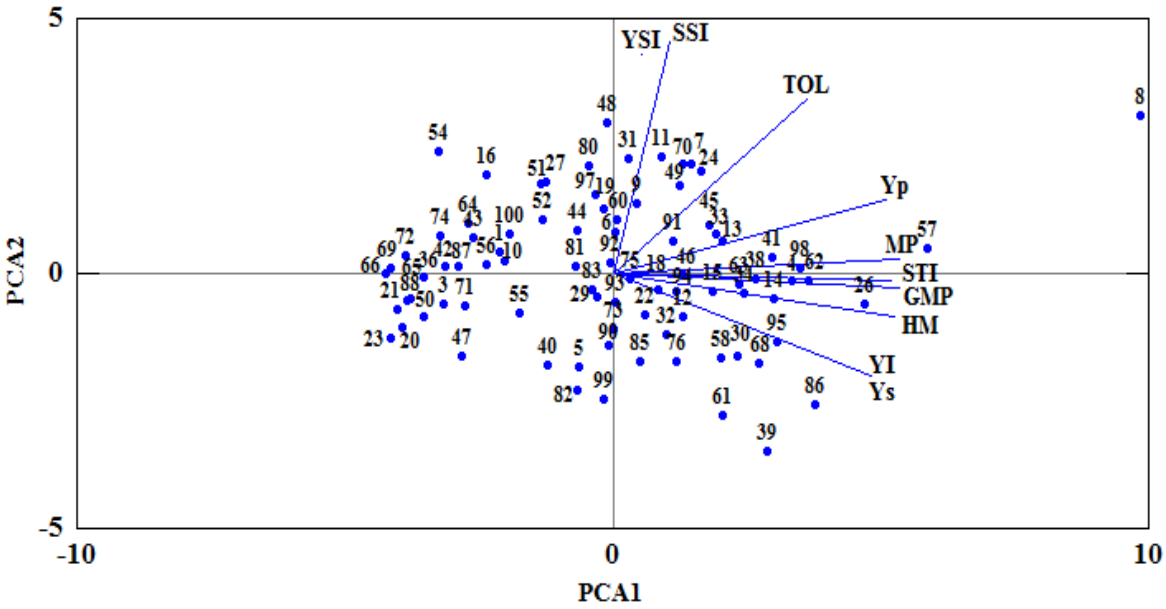
نمودار بای‌پلات (شکل ۲) نشان می‌دهد یکسری از لاین‌ها از جمله لاین‌های ۴، ۸، ۱۳، ۱۴، ۲۶، ۳۴، ۳۸، ۴۱، ۵۷، ۶۲ و ۹۸ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مهم تحمل به خشکی یعنی GMP، MP، HM و بردارهای عملکرد در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود قرار دارند که به معنی بالا بودن عملکرد آنها در شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود و در عین حال تحمل آنها به کمبود آب است. لاین‌های شماره ۷، ۱۱، ۲۴، ۴۹ و ۷۰ در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های TOL، SSI و عملکرد در شرایط آبیاری نرمال قرار گرفتند که به معنی بالا بودن عملکرد آنها در شرایط آبیاری نرمال و در عین حال حساسیت آنها به کمبود آب است. طبق نتایج این نوع نحوه توزیع لاین‌ها در فضای بای‌پلات را می‌توان حاکی از وجود تنوع ژنتیکی ارقام نسبت به تنش خشکی دانست.

جدول ۵- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص های تحمل و عملکرد در شرایط آبیاری نرمال (Yp) و آبیاری محدود (Ys) در لاین‌های آفتابگردان

Table 5. Eigen values, Eigen vectors and cumulative variance of tolerance indices, Yp and Ys in sunflower lines

مورد	محور مولفه‌های اصلی	
	PC1	PC2
مقادیر ویژه	۶/۹۵	۲/۷۸
درصد واریانس	۶۹/۵۴	۲۷/۸۲
درصد تجمعی	۶۹/۵۴	۹۷/۳۶
صفات	بردارهای ویژه	
	PC1	PC2
Y_p	۰/۳۶	۰/۱۵
Ys	۰/۳۳	-۰/۲۷
SSI	۰/۰۹	۰/۵۷
GMP	۰/۳۸	-۰/۰۶
MP	۰/۳۸	۰/۰۱
HM	۰/۳۷	-۰/۱۳
TOL	۰/۲۷	۰/۴۰
STI	۰/۳۷	-۰/۰۵
YI	۰/۳۳	-۰/۲۷
YSI	-۰/۰۹	-۰/۵۷

Ys: عملکرد در محیط تنش کمبود آب، Yp: عملکرد در محیط بدون تنش آب. TOL: شاخص تحمل، MP: میانگین بهره‌روی، GMP: میانگین هندسی بهره‌وری، HM: میانگین هارمونیک، STI: شاخص تحمل تنش، YSI: شاخص پایداری عملکرد، YI: شاخص عملکرد، SSI: شاخص حساسیت به تنش.



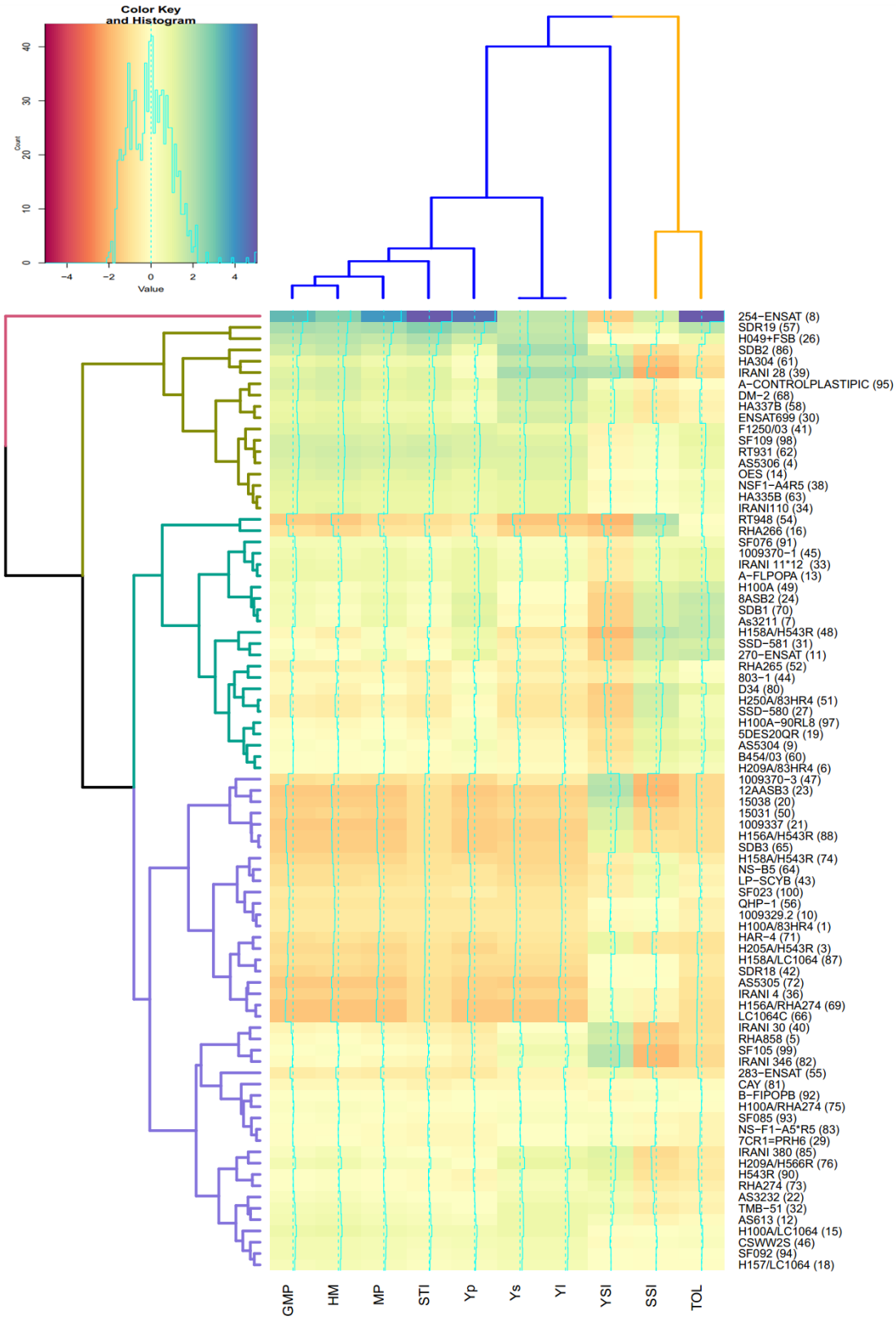
شکل ۲- نمایش بای‌پلات لاین‌های آفتابگردان بر اساس دو مولفه اول و دوم تجزیه به مولفه های اصلی. برای اسامی لاین‌ها به جدول ۳ مراجعه شود

Figure 2. Biplot for sunflower lines at drought tolerance indices on the basis of first and second components. For lines' names see Table 3.

تجزیه خوشه‌ای به روش پیوستگی کامل (Complete linkage) و با استفاده از شاخص‌های کمی تحمل به خشکی صورت گرفت (شکل ۳). براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای لاین‌های مورد بررسی در چهار خوشه گروه‌بندی شدند. همان‌طور که انتظار می‌رفت براساس نتایج تجزیه خوشه‌ای نیز همانند نمودار بای‌پلات، لاین شماره ۸ با فاصله بالایی از سایر لاین‌ها متمایز شده است که علاوه بر دارا بودن عملکرد بالا در شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی، مقادیر بالایی از شاخص‌های STI، MP، GMP و HM را نیز داشت که می‌توان از این لاین در تلاقی‌ها با لاین‌هایی با تحمل بالا به تنش خشکی برای تولید ارقام جدید بسیار متحمل و عملکرد بالا در شرایط نرمال و تنش خشکی استفاده نمود. در خوشه دوم لاین‌های ۴، ۱۳، ۱۴، ۲۶، ۳۰، ۳۴، ۳۸، ۳۹، ۴۱، ۵۷، ۵۸، ۶۲، ۶۳، ۸۶، ۹۵ و ۹۸ گروه‌بندی شدند که از نظر عملکرد تحت شرایط آبیاری محدود و شاخص‌های تحمل به تنش شامل شاخص‌های STI، MP، GMP و HM مقادیر بالایی داشتند و در صورت عدم امکان استفاده از لاین شماره ۸ می‌توان از این لاین‌ها برای مطالعات

و کارهای به‌نژادی آتی بهره‌مند شد. در خوشه سوم لاین‌های ۷، ۱۱، ۲۴، ۳۳، ۴۹ و ۷۰ گروه‌بندی شدند که از نظر شاخص‌های TOL و SSI مقادیر بالاتری داشتند که از این لاین‌ها می‌توان به‌عنوان لاین‌های حساس به تنش خشکی یاد کرد که تحت شرایط آبیاری محدود کاهش عملکرد بسیار بالایی نشان دادند که از این لاین‌ها در کنار لاین‌های متحمل به تنش خشکی و یا در تلاقی با آنها برای شناسایی ژن‌های کلیدی کنترل کننده تحمل به تنش خشکی و یا ایجاد جمعیت‌های در حال تفرق برای شناسایی مکان‌های ژنی کنترل‌کننده تحمل به تنش خشکی استفاده نمود. در نهایت در خوشه چهارم که بیشترین تعداد لاین‌ها را شامل می‌شود لاین‌هایی گروه‌بندی شده‌اند که علاوه بر داشتن مقادیر پایین عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال و آبیاری محدود، از نظر شاخص‌های تحمل نیز مقادیر پایین‌تری را داشتند. در تحقیق حاضر از لاین‌های آفتابگردان برای ارزیابی تحمل به تنش خشکی استفاده شد تا بتوان در گام بعدی با انجام تلاقی بین ارقام با فاصله ژنتیکی زیاد (از خوشه‌های مختلف) یک جمعیت در حال تفرق، برای تحمل به خشکی ایجاد نمود و در جمعیت حاصل با بهره‌مندی از مناسب‌ترین و تکرار پذیرترین شاخص‌های تحمل به خشکی، ارقام مناسب و متحمل به تنش خشکی را گزینش نمود.

لاین شماره ۸ علاوه بر دارا بودن عملکرد بالا در شرایط آبیاری نرمال و محدود، مقادیر بالایی از شاخص‌های STI، MP، GMP و HM را نیز داشت که می‌توان از آن به‌عنوان والد مناسب در تولید ارقام هیبرید برای کشت در شرایط آبیاری نرمال و محدود استفاده نمود. اما از طرفی دیگر این لاین از نظر شاخص‌های TOL و SSI نیز مقادیر بالایی را دارد که به مفهوم کاهش عملکرد بالای این لاین در شرایط آبیاری محدود در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال می‌باشد. با این وجود به دلیل بالا بودن عملکرد این لاین در هر دو شرایط آبیاری نرمال و محدود می‌توان از آن در پروژه های اصلاحی تولید ارقام هیبرید برای کشت در مناطق با آبیاری نرمال و همچنین در مناطقی که امکان وقوع تنش کم‌آبی باشد، استفاده نمود. از طرفی دیگر لاین‌های ۴، ۱۴، ۲۶، ۴۱، ۵۷، ۶۲ و ۹۸ نیز از نظر عملکرد تحت شرایط آبیاری نرمال، آبیاری محدود و شاخص‌های تحمل به تنش شامل شاخص‌های STI، MP، GMP و HM مقادیر بالایی داشتند که می‌توان از این لاین‌ها نیز در پروژه‌های اصلاحی تولید ارقام هیبرید برای کشت در مناطق با احتمال وقوع تنش کم‌آبی بهره جست. لاین‌های ۷، ۱۱، ۲۴، ۳۳، ۴۹ و ۷۰ تحت شرایط آبیاری نرمال عملکرد نسبتاً خوب داشتند اما تحت شرایط آبیاری محدود کاهش عملکرد بالایی نشان دادند و از نظر شاخص‌های TOL و SSI نیز مقادیر بالاتری داشتند که از این لاین‌ها می‌توان به‌عنوان لاین‌های حساس به تنش آبیاری محدود یاد کرد که در کنار لاین‌های متحمل به تنش آبیاری محدود و یا در تلاقی با آنها برای شناسایی ژن‌های کلیدی کنترل کننده تحمل به تنش خشکی و یا ایجاد جمعیت‌های در حال تفرق می‌توان برای شناسایی مکان‌های ژنی کنترل‌کننده تحمل به تنش خشکی استفاده نمود.



شکل ۳- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای لاین‌های آفتابگردان براساس عملکرد در شرایط آبیاری نرمال (Yp) و آبیاری محدود (Ys) و شاخص‌های تحمل به تنش خشکی با استفاده از روش Complete linkage.

Figure 3. Dendrogram obtained by cluster analysis of sunflower lines based on Yp, Ys and drought tolerance indices using complete linkage method.

منابع

1. Abdolshahi, R., M. Omidi, A.R. Talei and B. Yazdi Samadi. 2010. Evaluation of bread wheat genotypes for drought tolerance. International Journal of Clinical Practice, 3: 159-171.
2. Alavi, R., R. Darvishzadeh, M. Valizadeh, M. Moghadam, E. Farrokhi, A. Basirnia and A. Pirzad. 2013. Evaluation of drought tolerance indices in various sunflowers cultivars. Research in Field Crops, 1: 53-65 (In Persian).
3. Arefi, S., A. Nabipour and H. Samizadeh. 2015. Evaluation of combining ability of sunflower lines based on line × tester analysis under water stress and non-stress conditions. Journal of Crop Breeding, 7(15): 115-125 (In Persian).
4. Baniabbass Shahri, Z., Gh.R. Zamani and M.H. Sayyari Zahan. 2012. Effect of drought stress and zinc sulfate foliar application on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 4(2): 165-172 (In Persian).
5. Blum, A. 1988. Plant Breeding for Stress Environments. Boca Raton: CRC Press, 38-78 pp.
6. Bouslama, M. and W.T. Schapaugh. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. Crop Science, 24: 933-937.
7. d'Andria, R., F. Quaglietta Chiarandà, V. Magliulo and M. Mori. 1995. Yield and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer. Agronomy Journal, 87: 1122-1128.
8. Faraji, A. 2016. Evaluation of some soybean genotypes (*Glycine max*) under salt stress. Journal of Crop Breeding, 8(18): 30-36 (In Persian).
9. Farshadfar, E., M. Zamani, M. Motallebi and A. Imamjomeh. 2001. Selection for drought resistance in chickpea lines. Iranian Journal of Agricultural Science, 32: 65-77 (In Persian).
10. Fernandez, G.C.J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Kuo, C.G. (ed.). Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress. Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center. Taiwan Publication, 93(410): 257-270.
11. Fischer, R.A. and R. Maurer. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars: 1. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research, 29: 897-912.
12. Gavuzzi, P., F. Rizza, M. Palumbo, R.G. Campaline, G.L. Ricciardi and B. Borghi. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. Canadian Journal of Plant Science, 77: 523-531.
13. Ghaffari, D. 2007. Evaluation and selection of inbred lines of sunflower in normal and drought conditions. Seed and Plant Journal, 23: 633-649 (In Persian).
14. Golparvar, A.R., I. Majidi Harvan and E. Ghassemi Pirbaloti. 2003. Genetic improvement of yield potential and water stress resistance in wheat genotypes (*Triticum aestivum*). Aridity Seasonal and Agricultural Drought, 13: 13-21.
15. Howell, T.A., J.A. Tock, A.D. Schneider and S.R. Evett. 1998. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of corn hybrids differing in maturity. Agronomy Journal, 90: 3-9.
16. Karam, F., R. Lahoud, R. Masaad, R. Kabalan, J. Breidi, C. Chalita and R. Rouphael. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agricultural Water Management, 90(3): 213-223.
17. Keistin, A.S., R.R. Serna, F.L. Perez, B.C. Enriquez, H.A.A. Gallegos, P.R. Valleji, N. Wassimi and J.D. Kelley. 1997. Improving common bean performance under drought stress. Crop Science, 37: 43-50.
18. Maleki Nejad, R. and M.M. Majidi. 2015. Evaluation of Iranian and foreign safflower germplasms under normal and drought stress conditions. Journal of Crop Breeding, 7(15): 1-13 (In Persian).
19. Maroufi, A. 1998. Chromosomal localization of the genes controlling quantitative drought resistance *indices* in wheat. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran, (In Persian).
20. Moghaddam Khamseh, A., M. Amini Dehaghi, J. Daneshian and H. Jabbari. 2009. Agronomical traits and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.) new hybrids under drought stress. Journal of Daneshvar Agronomy Sciences, 2(3): 1-12 (In Persian).
21. Nourmand Moayyed, F. 1997. Study on variation of quantitative traits and their relation to the performance of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in dry and water conditions and determination of the best indices of drought resistance. M.Sc. Thesis, College of Agriculture, Tehran University, Karaj, Iran, (In Persian).
22. Rosille, A.A. and J. Hambling, 1981. Theoretical aspects selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science, 21: 943-946.
23. Seiler, G. and C.C. Jan. 2010. Basic information. In: Hu, J., G. Seiler and C. Kole. (eds). Genetics, Genomics and Breeding of Crop Plants: Sunflower. Science Publishers, Enfield, NH, EEUU, ISBN 978-1-57808-676-4, USA, 1-50 pp.
24. Skoric, D. 2009. Sunflower breeding for resistance to abiotic stresses. Helia, 32: 1-15.
25. Soleimanzadeh, H., D. Habibi, M.R. Ardakani, F. Paknejad and F. Rejali. 2010. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to drought stress under different potassium levels. World Applied Science Journal, 8: 443-448.
26. Soriano, M.A., F. Orgaz, F.J. Villatobos and E. Federes. 2004. Efficiency of water use of early planting of sunflower. European Journal of Agronomy, 21: 465-476.
27. 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).
28. Yegappan, T., M. Paton, D.M. Gates and W.J. Muller. 1982. Water stress in sunflower: responses of cypsela size. Annals of Botany, 49: 69-75.
29. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Appropriate strategies for selection of drought tolerant genotypes in canola. Journal of Crop Breeding, 8(20): 77-90 (In Persian).
30. Zali, H., T. Hasanloo, O. Sofalian, A. Asghari and M. Zeinalabedini. 2016. Drought stress effect on physiological parameter and amino acids accumulations in canola. Journal of Crop Breeding, 8(18): 191-203 (In Persian).

Selection of Oily Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Drought Tolerant Lines using Tolerance Indices

Reza Darvishzadeh[1], Ali Soleimani Gezeljeh[2], Hadi Ali Pour[3], Asa Ebrahimi[4], Mohammad Reza Bihamta[5] and Fariba Morsali[6]

1- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University
(Corresponding author: r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)
2 and 4- PhD Student in Plant Breeding and Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran
3 and 6- Assistant Professor and Graduted M.Sc. Student, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Urmia University
5- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Tehran University, Karaj
Received: April 8, 2017 Accepted: October 23, 2017

Abstract

In order to evaluate the genetic diversity of oily sunflower lines, screening drought tolerance indices and identification of drought tolerant lines, 100 oily sunflower lines were evaluated in a simple lattice design under both well-watered and water-limited stressed conditions in 2016. Based on the potential (Yp) and stress (Ys) yield, quantitative drought tolerance criteria such as: mean productivity (MP), tolerance index (TOL), geometric mean productivity (GMP), harmonic mean (HM), stress susceptibility index (SSI) and stress tolerance index (STI) were calculated. Generally, the line with code number of 8 with average yield of 81.25 gr/plant and line 66 with average yield of 5.43 gr/plant showed maximum and minimum seed yield, respectively. Correlation analysis between drought tolerance indices with well-watered and water-limited stress yields revealed that indices such as MP, GMP, HM and STI are the most suitable criteria for screening sunflower lines. In well-watered and water-limited stressed conditions, the highest value of MP, GMP, STI and HM were observed in line 8. Regarding these four criteria and high values of Yp and Ys, line 8 was chosen as the best line for using as a parental line in hybrid varieties production and development of segregating populations.

Keywords: Multivariate analysis, Sunflower, Tolerance index, Water deficit, Yield