

ارزیابی تحمل به تنش کمبود فسفر در لاین های خالص آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.)

Evaluation of phosphorus deficiency stress tolerance in oilseed sunflower pure lines (*Helianthus annuus* L.)

مریم رسولزاده اقدم^۱، رضا درویش زاده^۲، ابراهیم سپهر^۳ و هادی علی پور^{۴*}

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۲. استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۳. استاد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.
۴. استادیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (نگارنده مسئول)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۲ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2022.343448.1485

چکیده

رسولزاده، ا.، درویش زاده، ر.، سپهر، ا.، علی پور، ه.، ارزیابی تحمل به تنش کمبود فسفر در لاین های خالص آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.)

نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۴ - شماره ۳ - پایبند ۱۳۲ پائیز ۱۴۰۰ صفحه: ۱۳۹-۱۲۰

فسفر از عناصر ضروری برای گیاهان است؛ در خاک های آهکی به دلیل pH بالا، وجود کربنات کلسیم، کمبود ماده آلی، مقدار فسفر قابل جذب گیاه بسیار کم بوده و همچنین کانی های دارای فسفر در شرایط معمولی انحلال پذیری کمتری دارند. به منظور شناسایی لاین های متحمل به تنش کمبود فسفر، آزمایشی گلدانی در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار و ۹۵ لاین خالص آفتابگردان روغنی در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه انجام شد. شاخص های میانگین هارمونیک (HARM)، میانگین بهره وری (MP)، میانگین هندسی بهره وری (GMP) و تحمل به تنش (STI) به ترتیب همبستگی بسیار معنی داری با عملکرد در شرایط بهینه و کمبود فسفر نشان دادند، لذا می توان این شاخص ها را بعنوان مناسب ترین شاخص ها برای غربال کردن لاین های متحمل به کمبود فسفر که در شرایط بهینه و کمبود فسفر عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه های اصلی و تجزیه کلاستر بر مبنای شاخص های تحمل و عملکرد تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر، لاین های شماره ۳۸ ($Y_p=72/23$ ؛ $Y_s=54/37$ ؛ $TAPs=106/40$)؛ ۹۴ ($TAPp=400/53$ ؛ $Y_p=70/60$ ؛ $Y_s=34/73$) و ۹۵ ($TAPp=121/93$ ؛ $TAPs=44/00$ ؛ $Y_p=70/67$ ؛ $Y_s=25/77$) و ۹۵ ($TAPp=36/53$ ؛ $TAPs=21/53$) نه تنها از نظر شاخص های تحمل به تنش، بلکه در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر نیز عملکرد دانه و میزان کل فسفر جذب شده بالایی نشان دادند که می توان از این لاین ها برای معرفی ارقامی مطلوب با عملکرد بالا و فسفر-کارا در برنامه های به نژادی بهره جست.

واژه های کلیدی: شاخص های تحمل، عملکرد دانه، فسفر-کارا.

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: ha.alipour@urmia.ac.ir

مقدمه

(ISS) (fisher & Maurer)، شاخص تحمل (TOL) (Rosille & Hamblin, 1981) شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص تحمل به تنش (STI) و میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، میانگین هارمونیک بهره‌وری (HARM) (Fernandez, 1992)، شاخص جدید خشکی (DI) (Lan, 1998)، شاخص تحمل غیرزیستی (SSI) (Moosavi *et al.*, 2008) و شاخص تحمل به تنش تعدیل شده (Naderi) (et al., 2008) (MSTI) معرفی شده است. انتخاب بر مبنای شاخص TOL کمتر منجر به گزینش ژنوتیپهایی میشود که پتانسیل عملکرد آنها در شرایط تنش نسبت به شرایط نرمال کاهش کمتری نشان میدهد. در حالی که انتخاب بر مبنای SSI یا همان شاخص حساسیت به تنش منجر به گزینش ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، اما با پتانسیل عملکرد پایین می‌شود. هرچه مقدار SSI کمتر باشد نشان دهنده تغییرات کم یک ژنوتیپ در شرایط تنش نسبت به شرایط بدون تنش و در نتیجه پایداری بیشتر آن ژنوتیپ می‌باشد (Fischer & Maurer, 1978). لازم به ذکر است که انتخاب ژنوتیپ‌ها بر اساس TOL و SSI بیشتر مناسب ژنوتیپ‌هایی است که در شرایط تنش دارای عملکرد بالا و در شرایط بدون تنش دارای عملکرد متوسط یا پایین هستند. شاخص MP منجر به انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و یا تحمل به تنش پایین می‌شود (Rosille & Hamblin, 1981). مقادیر عددی بالای شاخص‌های STI، GMP، HARM و DI نشاندهنده تحمل به تنش بیشتر و پتانسیل عملکرد بالاتر ژنوتیپ میباشد. شاخص ATI

عملکرد دانه مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین خصوصیت گیاهان زراعی است که تحت تأثیر شرایط محیطی، ساختار ژنتیکی گیاه و اثرات متقابل آنها است (Naderi *et al.*, 2008). هر چند عملکرد دانه به عنوان مهم‌ترین شاخص انتخاب در محیط‌های دارای کمبود است ولی در این محیط‌ها عملکرد دانه به تنهایی نمی‌تواند مفیدترین شاخص باشد (Gavuzzi, 1997). یافتن ژنوتیپ‌هایی که در هر دو شرایط نرمال و تنش از عملکرد خوبی برخوردار باشند به علت معنی‌دار بودن اثر متقابل ژنوتیپ و محیط امری پیچیده به نظر میرسد (Biswas *et al.*, 2001). به‌نژادگران بر این باور هستند که دستیابی به لاین‌هایی که در هر دو شرایط نرمال و تنش سازگاری داشته و عملکرد قابل قبولی تولید نمایند، از اهمیت بالایی برخوردار هستند که برای این منظور محققین روش‌های مختلفی را پیشنهاد نموده‌اند. یکی از این روش‌ها استفاده از شاخص‌های متفاوتی است که عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها را در شرایط محیطی مختلف و تحمل یا حساسیت آنها را تعیین می‌نماید. محاسبه‌ی این شاخص‌ها بر اساس عملکرد ژنوتیپ‌ها در محیط‌های نرمال و تنش می‌باشد. استفاده از شاخص‌های مناسبی که بتوان به کمک آن ارقام متحمل را در شرایط تنش انتخاب کرد از اهمیت بالایی برخوردار است (Fischer & Maurer, 1978; Fernandez, 1992; Rosille & Hamblin, 1981). تاکنون شاخص‌های متنوعی برای انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل به تنش شامل شاخص حساسیت به تنش

شده‌اند. اما در مجموع با توجه به مطالعات مختلف در آفتابگردان، اکثراً شاخص های STI، MP و GMP به عنوان مناسب ترین شاخص ها در شناسایی ژنوتیپ های متحمل با عملکرد بالا در شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده‌اند (Safavi *et al.*, 2011; Safavi *et al.*, 2015; Golinezhad *et al.*, 2014; Darvishzadeh *et al.*, 2018; Alavi *et al.*, 2014). بر اساس واکنش ژنوتیپ ها به شرایط محیطی تنش و بدون تنش، ژنوتیپ ها به چهار گروه طبقه بندی می شوند: گروه A: ژنوتیپ هایی که در هر دو محیط دارای عملکرد خوبی هستند.

گروه B: ژنوتیپ هایی که در محیط بدون تنش عملکرد خوبی دارند.

گروه C: ژنوتیپ هایی که در محیط تنش عملکرد خوبی دارند.

گروه D: ژنوتیپ هایی که در هر دو شرایط عملکرد کمی دارند.

بهترین شاخص آن است که بتواند گروه A را از سه گروه دیگر متمایز کند (Fernandez, 1992). با توجه به اینکه خاک اکثر مناطق خشک و نیمه خشک کشور آهکی بوده و pH بالایی دارند؛ در چنین خاک هایی بیش از ۸۰ درصد فسفر مصرفی جذب کانی های خاک شده و تثبیت می شود و در نتیجه در جذب آن توسط گیاه اختلال ایجاد می شود. یکی از راه کارهای مقابله با این مشکل اصلاح گیاهان کارا در جذب فسفر می باشد که کمتر مورد توجه واقع شده است. بسیاری از گیاهان زراعی برای مقابله با تنش کمبود فسفر از مکانسیم های مختلف مورفولوژیک، فیزیولوژیک و مولکولی مانند

برای متمایز کردن ژنوتیپ هایی با تحمل نسبی بالا از ژنوتیپ های غیر متحمل استفاده می شود. شاخص MSTI فرم تصحیح شده از شاخص تحمل به خشکی (STI) است که برای غربال ژنوتیپ های متحمل به خشکی با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش معرفی شده است (Fernandez, 1992; Bouslama & Schapaugh, 1984). شاخص MSTI به صورت شاخص KiSTI محاسبه می شود که در آن مقدار Ki ضریب تصحیح کننده شاخص STI بوده و با توجه به شرایط محیطی منطقه و احتمال بروز شرایط مطلوب و نامطلوب در آن منطقه محاسبه می شود و به صورت وزنی شاخص STI را تصحیح می کند. در حالت کلی شاخص هایی که همبستگی بالایی با عملکرد در شرایط تنش و بدون تنش داشته باشند به عنوان شاخص های مطلوب برای شناسایی ژنوتیپ های با عملکرد بالا در هر دو شرایط تنش و بدون تنش معرفی می شوند (Fernandez, 1992). همبستگی مثبت بالا بین شاخص های تحمل به تنش، بدین مفهوم خواهد بود که گزینش بر مبنای یک شاخص تحمل به تنش می تواند با انتخاب با سایر شاخص های تحمل به تنش مرتبط بوده و کارآیی گزینش آنها مشابه خواهد بود. اما اگر بین دو شاخص همبستگی منفی معنی داری وجود داشته باشد، باز می توان دو شاخص را به جای یکدیگر استفاده نمود اما در اینجا مقادیر بالای یک شاخص معادل مقادیر پایین شاخص دیگر خواهد بود. با توجه به نوع و شدت تنش، شاخص های مختلفی به عنوان شاخص مناسب برای گزینش ژنوتیپ های مطلوب معرفی

را نشان دادند (Rasoulzadeh Aghdam *et al.*, 2020). در بررسی پنج غلظت فسفر در سه رقم آفتابگردان در دو سال مختلف گزارش شده است که هرچند به طور متوسط افزایش میزان فسفر تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار از محل P_2O_5 باعث افزایش در صفات عملکرد دانه، محتوا و عملکرد روغن می‌شود، ولی واکنش ارقام مورد بررسی در سطوح مختلف فسفر متفاوت است (Soares *et al.*, 2020). بنابراین تحقیق حاضر با هدف شناسایی لاین‌های مطلوب با کارایی بالای استفاده از فسفر و متحمل به تنش کمبود فسفر و تعیین تنوع بین لاین‌های مورد بررسی از نظر شاخص‌های تحمل به تنش اجرا شد.

مواد و روشها

مواد گیاهی شامل ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی (جدول ۱) از چندین مرکز تحقیقاتی جهان شامل موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ایران، وزارت کشاورزی آمریکا، چندین مرکز تحقیقاتی وابسته به دانشگاه‌ها در اروپا تهیه شده و در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب خاک در شرایط گلدانی به منظور ارزیابی صفات مهم عملکرد و اجزای عملکرد در مزرعه‌ی تحقیقاتی گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی ۴۵/۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷/۳۲ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار، در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ کشت و بررسی شدند. با توجه به اینکه ۵ لاین ۳۰، ۳۷، ۴۶، ۸۱ و ۸۷ مشکل جوانه‌زنی داشتند بنابراین این ۵ لاین از تجزیه‌ها حذف شد و تجزیه‌ها بر مبنای ۹۵ لاین

توسعه سیستم ریش‌های (Aziz *et al.*, 2011)، افزایش ترشح کربوکسیلات حاوی فسفات‌ها، نوکلئازها و اسیدهای آلی مختلف (Pearse *et al.*, 2006) استفاده میکنند. این مکانسیم‌ها و استراتژی‌ها باعث آزادسازی یا حل شدن فسفر از فرم‌های آلی و غیرمحلول (Veneklaas *et al.*, 2012)، افزایش ظرفیت جذب فسفر (Shen *et al.*, 2005)، بازیافت فسفر داخلی (Abel *et al.*, 2002)، انتقال مجدد و بازگشت مجدد فسفر از بافت‌های بالغ به بافت‌های جوان (Abbas *et al.*, 2019; Irfan *et al.*, 2018) و الویت‌بندی در استفاده از فسفر متابولیک شده (Aziz *et al.*, 2015) و گیاه فسفر-کارا خواهد بود. بنابراین در نهایت گیاه فسفر-کارا قادرند در شرایط کمبود فسفر عملکرد بیشتری تولید نموده و یا به عبارت دیگر کاهش عملکرد کمتری داشته باشد. در بررسی کارایی فسفر در ۱۰ رقم آفتابگردان مشخص گردید که اولاً بین ارقام از نظر صفات مختلف در شرایط بهینه و کمبود فسفر تنوع بالایی وجود دارد و از طرف دیگر بین ارقام مورد بررسی با تیمار فسفر اثر متقابل معنی‌داری مشاهده شد (Gunes & Inal, 2009). بدین مفهوم که تعدادی از نمونه‌های در مقایسه با ارقام دیگر قابلیت جذب و استفاده از فسفر بیشتر را داشتند. در مطالعه‌های دیگر روی لاین‌های آفتابگردان روغنی، تحت شرایط کمبود فسفر در مقایسه با شرایط بهینه فسفر اکثر صفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و درصد فسفر کاهش داشته و صفات درصد فسفر و عملکرد دانه به ترتیب با ۴۳/۵۶ و ۳۹/۹۵ درصد بیشترین کاهش

با فصل گرما به صورت روزانه انجام گرفت. به منظور اندازه گیری میزان فسفر اندام هوایی، بعد از برداشت طبق، بوته‌ها از سطح گلدان کف بر شده و در دمای ۷۲ درجه‌ی سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. پس از آسیاب شدن بوته‌ها، میزان فسفر بوته در هر واحد آزمایشی به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات و اندات) (Westerman, 1990) اندازه‌گیری و با استفاده از حاصل ضرب وزن خشک شاخساره در غلظت فسفر، میزان کل فسفر جذب شده بر حسب میلی‌گرم بر واحد آزمایشی برآورد شد (Ozturk et al., 2005; Sepehr et al., 2009). از طرف دیگر، پس از تعیین عملکرد هر یک از واحدهای آزمایشی برحسب گرم بر بوته، شاخص‌های تحمل تنش شامل شاخص تحمل (TOL)، شاخص میانگین بهره‌وری (MP)، شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP)، شاخص تحمل به تنش (STI)، شاخص تحمل به تنش‌های غیر زیستی (ATI)، شاخص حساسیت به تنش (SSI)، شاخص تحمل به تنش خشکی (DI)، شاخص میانگین هارمونیک (HARM) و شاخص‌های تحمل به تنش تغییر یافته شامل K_1S ، K_2STI و K_1S از طریق روابط زیر محاسبه شدند:

باقیمانده که رشد خوب و مطلوبی داشتند، انجام شد. میانگین بارندگی سالانه در محل آزمایش ۳۳۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲، حداقل دمای سال ۱۴/۸- و حداکثر دمای سال ۳۷/۶ درجه سانتیگراد بود. بر اساس نتایج تجزیه خاک (جدول ۲)، خاک با میزان فسفر پایین (۲۴۰/۷ mg/kg) انتخاب شد. تعداد ۶۰۰ گلدان ۱۵ کیلویی با قطر دهانه ۲۸، قطر کف ۲۱/۵ و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر تهیه و به دو دسته ۳۰۰ تایی تقسیم شدند. در هر دو دسته، گلدان‌ها با خاک با میزان فسفر پایین و ماسه به نسبت دو به یک پر شدند. خاک با میزان فسفر پایین قبل از استفاده با کودهای سولفات پتاسیم به مقدار ۱۳.۵ g/pot سکوسترین آهن به مقدار ۰.۲۲۵ g/pot سولفات منگنز به مقدار ۰.۹۹ g/pot سولفات مس به مقدار ۰.۳ g/pot و اسیدبوریک به مقدار ۰.۲۱ g/pot تقویت شد. در دسته اول (۳۰۰ گلدان اول) کود فسفر به صورت سوپرفسفات تریپل به مقدار ۶g pot به هر گلدان ۱۵ کیلویی اضافه شد، در حالی که در دسته دوم (۳۰۰ گلدان دوم) کود فسفری اضافه نشد. فاصله‌ی دوردیف گلدان از هم ۵۰ سانتی‌متر و فاصله گلدان‌ها از هم در روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر گلدان چهار عدد بذر کشت شد. بعد از سبز شدن دو بوته در هر گلدان نگهداری شد. در ابتدا گلدان‌ها به مدت دو هفته با آبیاری به صورت دستی آبیاری شده و بعد از آن از سامانه آبیاری قطره‌ای استفاده شد. در مراحل اولیه آزمایش آبیاری گلدان‌ها به مدت سه روز یک بار، ولی بعد از سبز شدن کامل و مصادف بودن

همبستگی بین عملکرد تحت شرایط نرمال و تنش کم آبی و شاخص‌های تحمل به تنش با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار Statgraphics 16 و تجزیه خوشه‌ای با استفاده از نرم‌افزار RStudio با بسته d3heatmap انجام شد.

نتایج و بحث

به منظور شناسایی لاین‌های با کارایی بالای استفاده از فسفر، شاخص‌های تحمل به کمبود فسفر برای لاین‌های مورد بررسی محاسبه شد (جدول ۳). به طور کلی تنش کمبود فسفر باعث کاهش ۴۴/۸۸ درصدی عملکرد دانه در ژنوتیپ-ها شد که نشان‌دهنده اهمیت بسیار بالای عنصر فسفر برای حفظ عملکرد مطلوب در آفتابگردان می‌باشد. در شرایط بهینه بیشترین عملکرد دانه را به ترتیب لاین‌های ۸۶ (H158A/LC1064) ($Y_{pi}=76/10$) ۲۲ (ASB3۱۲) ($Y_{pi}=83/80$) و کمترین عملکرد دانه را به ترتیب لاین‌های ۱۰ (1009329.2) ($Y_{pi}=4/97$) و ۶۵ (LC1064) ($Y_{pi}=9/17$) نشان دادند. همچنین در شرایط تنش کمبود فسفر بیشترین عملکرد دانه در لاین‌های ۳ (H205A/H543) ($Y_{si}=54/77$) ۳۸ (۲۸) ($Y_{si}=54/37$) و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در لاین‌های ۱۰ (1009329.۲) ($Y_{si}=2/23$) و ۷۵ (H209A/H566R) ($Y_{si}=2/43$) مشاهده شد. البته لاین‌های ۳۸ (۲۸) و ۹۵ (HC91) ($Y_{pi}=70/67 - Y_{si}=25/77$) جزء لاین‌هایی بودند که تقریباً در هر دو شرایط بهینه و تنش کمبود فسفر عملکرد دانه نسبتاً بالایی داشتند و از میان این لاین‌ها، ۳۸ (۲۸) ($TAS_{pp}=106/40$)، ۹۴ ($TAS_{pp}=4004/53$)

$$TOL = Y_{pi} - Y_{si} \quad ;$$

$$MP = \frac{Y_{pi} + Y_{si}}{2} \quad ;$$

$$GMP = \sqrt{Y_{pi} \times Y_{si}}$$

$$STI = \frac{Y_{pi} \times Y_{si}}{\bar{Y}_p^2} \quad ;$$

$$ATI = \left(\frac{Y_{pi} - Y_{si}}{\bar{Y}_s / \bar{Y}_p} \right) \times \sqrt{Y_{pi} \times Y_{si}} \quad ;$$

$$SSI = \frac{\left(1 - \left(\frac{Y_{si}}{Y_{pi}} \right) \right)}{\left(1 - \frac{\bar{Y}_p}{\bar{Y}_s} \right)}$$

$$DI = \frac{Y_{si} \times (Y_{si} / Y_{pi})}{\bar{Y}_s} \quad ;$$

$$HARM = \frac{2 \times (Y_{pi} \times Y_{si})}{Y_{pi} + Y_{si}} \quad ;$$

$$k_1 STI_K_1 S = Y_{pi}^2 / \bar{Y}_p$$

$$K_2 STI = Y_{si}^2 / \bar{Y}_s$$

در روابط فوق Y_{pi} میانگین عملکرد هر لاین در شرایط بهینه، Y_{si} میانگین عملکرد هر لاین در شرایط تنش کمبود فسفر، Y_p مجموع عملکرد تمامی لاین‌ها در شرایط بهینه، Y_s مجموع عملکرد تمامی لاین‌ها در شرایط تنش کمبود فسفر، \bar{Y}_p میانگین عملکرد تمامی لاین‌ها در شرایط بهینه، \bar{Y}_s میانگین عملکرد تمامی لاین‌ها در شرایط تنش کمبود فسفر را نشان می‌دهند.

در تحقیق حاضر آزمون نرمال بودن خطاها به کمک نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. تعیین

جدول ۱- مشخصات لاین های آفتابگردان روغنی مورد مطالعه

Table 1. The list of the studied oilseed sunflower lines

کد Code	نام لاین Name of line	نام کشور Name of country	نام مرکز تحقیقاتی Name of research center	کد Code	نام لاین Name of line	نام کشور Name of country	نام مرکز تحقیقاتی Name of research center
1	H100A/83HR4	French	ASGROW	51	RHA265	USA	USDA
2	H209A/LC1064	French	ASGROW	52	PM1-3	USA	USDA
3	H205A/H543R	French	ASGROW	53	RT948	French	RUSTICA
4	AS5306	French	ENSAT	54	ENSAT-283	-	-
5	RHA858	USA	USDA	55	QHP-1	French	INRAMONT
6	H209A/83HR4	French	ASGROW	56	SDR19	USA	USDA
7	AS3211	French	ENSAT	57	HA337B	USA	USDA
8	ENSAT-254	French	ENSAT	58	H100B	French	ASGROW
9	AS5304	French	ASGROW	59	B454/03	Hungary	-
10	(K100)1009329.2	French	ENSAT	60	HA304	USA	USDA
11	ENSAT-270	French	ENSAT	61	RT931	French	RUSTICA
12	AS613	French	ASGROW	62	HA335B	USA	USDA
13	A-F1POPA	French	NOVARTIS	63	NS_B5	French	NOVARTIS
14	OES	French	INRAMONT	64	SDB3	USA	USDA
15	H100A/LC1064	French	ASGROW	65	LC1064C	French	ASGROW
16	RHA266	USA	USDA	66	NS-R5	French	NOVARTIS
17	PAC2	French	ENSAT	67	DM-2	USA	USDA
18	H157A/LC1064	French	ASGROW	68	H156A/RHA274	French	ASGROW
19	DES20QR5	French	BRN	69	SDB1	USA	USDA
20	(K100)1009337	French	ENSAT	70	HAR-4	USA	USDA
21	AS3232	French	ENSAT	71	AS5305	French	ASGROW
22	ASB312	French	ASGROW	72	RHA274	USA	USDA
23	ASB28	French	ASGROW	73	H158A/H543R-B	French	ASGROW
24	CSA39	French	Caussade semences	74	H100A/RHA274	French	ASGROW
25	H049+FSB	French	-	75	H209A/H566R	French	ASGROW
26	SSD-580	French	ASGROW	76	ASO-1-POP-A	French	ENSAT
27	5AS-F ₁ /A ₂ *R ₂	French	ASGROW	77	AS6305	French	ENSAT
28	CR16=PRH67	French	C.F	78	B-F1POPB	French	NOVARTIS
29	ENSAT699	French	ENSAT	79	D34	USA	USDA
30	SSD-581	French	ASGROW	80	CAY	French	ENSAT
31	TMB-51	French	INRAMONT	81	346	Iran	SPII
32	10-59	Iran	SPII	82	NS-F ₁ -A ₅ *R ₅	French	NOVARTIS
33	110	Iran	SPII	83	36	Iran	SPII
34	H603R	French	INRAMONT	84	38	Iran	SPII
35	4	Iran	SPII	85	SDB2	French	INRAMONT
36	CHLORINA-703	French	ENSAT	86	H158A/LC1064	-	-
37	NSF ₁ -A ₄ *R ₅	French	NOVARTIS	87	H156A/H543R	French	ASGROW
38	28	Iran	SPII	88	H543R/H543R	French	ASGROW
39	30	Iran	SPII	89	H543R	French	-
40	F1250/03	Hungary	-	90	15038	French	ASGROW
41	SDR18	USA	USDA	91	SF076	French	ENSAT
42	LP-CSYB	French	ENSAT	92	8A*LC1064C*	-	-
43	1-803	Serbia	IFVC	93	SF085	French	ENSAT
44	1009370-1(100K)	French	ENSAT	94	SF092	-	-
45	CSWW2X	French	Caussade semences	95	HC91	Iran	SPII
46	1009370-3(100K)	French	ENSAT	96	10-59	Iran	SPII
47	H158A/H543R-A	French	ASGROW	97	H-100A-90RL8	-	-
48	H100A	French	ASGROW	98	SF109	French	ENSAT
49	15031	French	ASGROW	99	SF105	French	ENSAT
50	H205A/83HR4	French	ASGROW	100	SF-023	-	-

تنش و بدون تنش را به عنوان یک معیار مناسب برای تحمل به تنش پیشنهاد کرده‌اند (Arnon, 1972; Blum, 1988; Turner, 2003). در میان شاخص‌های تحمل، بهترین شاخص آن است

(SF_{0.92}) (TASPp=۱۲۱/۹۳، TASPp=۴۴/۰۰) میزان کل فسفر فسفر جذب شده بالایی نیز نشان دادند. لاین‌های محققان طی مطالعات خود وضعیت نسبی عملکرد ژنوتیپ‌ها در شرایط

جدول ۲- نتایج تجزیه خاک در ارزیابی لاین های آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب

Table 2. Results of soil analysis during the evaluation of oilseed sunflower lines under optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus

مورد Item	کربن آلی (%) Organic carbon	نوع بافت Type of texture	رس (%) Clay	سیلت (%) Silt	شن (%) Sand	آهک (%) Lime	pH عصاره pH of extract	هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع (ds/m) Electrical conductivity
میزان Value	0.74	لومی - رس Lomy- Clay	50	30	30	31.5	7.92	0.78
مورد Item	ماده آلی (mg/kg) Organic matter	روی (mg/kg) Zn	آهن (mg/kg) Fe	منگنز (mg/kg) Mn	مس (mg/kg) Cu	فسفر قابل دسترس (mg/kg) Available phosphorus	پتاسیم قابل جذب (mg/kg) Absorbable potassium	
میزان Value	1.28	0.11	11	10.3	1.3	7.24	102	

گیاه نخود (Farshadfar *et al.*, 2001) و گندم دوروم (Khalilzadeh & Karbalai-Khiavi, 2002) نشان دادند که مناسب ترین شاخص برای گزینش ارقام متحمل به تنش، شاخصی است که دارای همبستگی به نسبت بالایی با عملکرد دانه در هر دو شرایط تنش و بدون تنش باشد، زیرا همبستگی مثبت و معنی دار بین شاخص ها و عملکرد در هر دو شرایط تنش و غیرتنش، مناسب بودن این شاخص ها را برای ارزیابی تحمل به خشکی ژنوتیپ ها نشان می دهد. در مطالعه ای برای غربال لاین های متحمل لوبیا نسبت به تنش خشکی دو شاخص STI و MP به عنوان شاخص های مطلوب معرفی شدند (Fernandez, 1992). در مطالعه ای دیگر روی گیاه کلزا شاخص های MP، GMP و STI به واسطه دارا بودن همبستگی مثبت و معنی دار با عملکرد در هر دو محیط تنش و بدون تنش به عنوان بهترین شاخص ها برای گزینش و تعیین ارقام متحمل به تنش آخر فصل معرفی شدند (Naeemi *et al.*, 2008).

که در هر دو شرایط بهینه و کمبود فسفر دارای همبستگی معنی داری با عملکرد باشد (Blum, 1998). بنابراین با استفاده از تحلیل همبستگی خطی ساده بین عملکرد در شرایط بهینه و کمبود فسفر و شاخص های کمی تحمل به کمبود فسفر، شاخص های تحمل غربال و مناسب ترین شاخص -ها انتخاب گردید. بر این اساس شاخص های HARM، MP، GMP و STI به ترتیب همبستگی بسیار معنی داری را با عملکرد تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر نشان دادند (جدول ۴). لذا می توان این شاخص ها را بعنوان مناسب ترین شاخص ها برای غربال کردن لاین های متحمل به کمبود فسفر که در شرایط بهینه و کمبود فسفر نیز عملکرد بالایی دارند در نظر گرفت. البته بین میزان کل فسفر جذب شده در شرایط بهینه و کمبود فسفر نیز با عملکرد دانه در شرایط بهینه و کمبود فسفر و شاخص های تحمل تنش شامل HARM، MP، GMP و STI، DI، k_1STI و K_2STI و K_1S همبستگی بسیار معنی داری مشاهده شد. محققین در مطالعات خود روی

جدول ۳- مقادیر شاخص های تحمل به تنش بر اساس مانگی عملکرد لاین های آفتابگردان روغنی در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب

Table 3. Estimation of values of stress indices based on average yield of oilseed sunflower lines under optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus

Line	TAPP (mg.pot/A)	Yp (mg.pot/A)	Ys (mg.pot/A)	TOL	MP	GMP	STI	ATI	SSI	DI	HARM	k _{STI}	K _S	K _{STI}
1	88.80	37.40	31.44	9.67	21.77	20.56	17.44	669.77	1.60	0.19	14.79	1.34	0.39	
2	86.13	30.13	11.63	9.63	2.00	10.63	10.58	37.35	0.40	0.52	10.54	0.18	0.39	
3	118.4	33.80	57.77	54.77	3.00	56.27	56.25	297.75	0.12	3.37	56.23	4.51	12.62	
4	56.93	19.60	29.43	11.87	17.56	20.65	18.69	579.11	1.38	0.31	16.92	1.17	0.59	
5	90.53	14.87	19.23	23.97	8.13	28.04	27.74	397.92	0.58	1.16	27.45	1.39	2.42	
6	27.67	9.13	19.33	8.23	11.00	13.73	12.58	244.17	1.32	0.23	11.53	0.50	0.28	
7	76.93	25.73	12.43	10.10	2.33	11.27	11.20	46.06	0.43	0.53	11.14	0.21	0.43	
8	299.00	141.67	40.07	14.47	25.60	27.27	24.08	1087.67	1.47	0.34	21.26	2.17	0.88	
9	182.93	63.20	37.80	32.87	4.93	35.34	35.25	306.62	0.30	1.85	35.16	1.93	4.54	
10	35.73	19.07	4.97	2.23	2.74	3.60	3.33	16.10	1.27	0.06	3.08	0.03	0.02	
11	259.17	23.13	46.10	24.17	21.93	35.14	33.38	1291.64	1.10	0.82	31.71	2.87	2.46	
12	59.20	25.73	17.73	10.17	7.56	13.95	13.43	179.12	0.98	0.38	12.93	0.42	0.44	
13	81.67	43.00	27.05	17.33	9.72	22.19	21.65	371.33	0.83	0.72	21.13	0.99	1.26	
14	128.20	65.53	31.70	18.13	13.57	24.92	23.97	574.02	0.99	0.67	23.07	1.36	1.38	
15	190.00	74.00	27.53	21.40	6.13	24.27	24.27	262.53	0.51	1.08	24.08	1.02	1.93	
16	63.87	8.80	14.33	4.60	9.73	9.47	8.12	139.39	1.57	0.10	6.96	0.28	0.09	
17	113.40	29.60	23.10	15.93	7.17	19.52	19.18	242.69	0.72	0.71	18.86	0.72	1.07	
18	98.67	23.20	22.53	13.57	8.96	18.05	17.49	276.44	0.92	0.53	16.94	0.69	0.77	
19	69.80	38.73	20.57	19.90	0.67	38.73	20.23	23.92	0.08	1.25	20.23	0.57	1.67	
20	196.07	80.53	29.77	10.97	18.80	20.37	18.07	599.47	1.46	0.26	16.03	1.20	0.51	
21	57.07	17.80	17.67	15.07	2.60	16.37	16.32	74.86	0.34	0.83	16.27	0.42	0.96	
22	194.60	100.07	76.10	21.63	5.47	48.87	40.57	3899.36	1.65	0.40	33.69	7.82	1.97	
23	213.20	44.87	27.30	22.07	5.23	26.69	24.55	226.52	0.44	1.16	24.41	1.01	2.05	
24	175.93	57.60	33.67	15.40	18.27	24.54	22.77	734.07	1.25	0.46	21.13	1.53	1.00	
25	165.33	25.93	27.43	16.37	11.06	21.90	21.19	413.53	0.93	0.63	20.50	1.02	1.13	
26	95.60	37.68	54.20	35.10	8.75	44.65	43.62	1469.95	0.81	0.56	42.61	3.97	5.18	
27	40.40	20.63	17.67	11.67	6.00	14.67	14.36	152.03	0.78	0.50	14.06	0.42	0.57	
28	140.73	47.07	17.43	8.97	2.60	10.27	10.19	46.74	0.52	0.45	10.11	0.18	0.40	
29	73.20	23.87	17.43	9.80	7.63	13.62	13.07	175.95	1.01	0.36	12.55	0.41	0.40	
31	67.73	28.53	23.87	12.90	10.97	18.39	17.55	339.66	1.06	0.45	16.75	0.77	0.70	
32	68.00	30.27	18.67	12.70	5.97	15.40	15.40	162.20	0.74	0.56	15.12	0.47	0.68	
33	62.87	31.53	24.15	15.40	8.75	19.78	19.28	297.74	0.84	0.64	18.81	0.79	1.00	
35	45.13	14.33	18.33	5.10	13.43	11.82	9.72	405.42	1.85	0.06	8.40	0.11	0.11	
34	98.47	12.73	25.37	5.03	20.34	15.20	11.30	405.42	0.17	0.13	8.40	0.87	0.87	
36	57.67	25.80	18.67	12.70	8.75	15.40	15.40	230.36	1.67	0.09	8.00	0.46	0.46	
38	400.53	54.37	72.23	54.37	17.86	63.30	62.67	1974.85	1.52	0.14	9.53	7.05	12.43	
39	67.60	16.40	29.40	16.50	17.90	25.45	23.82	752.47	1.20	0.51	22.30	1.60	1.15	
40	176.93	48.20	34.40	12.97	16.66	21.30	19.60	576.27	1.30	0.37	18.04	1.19	0.71	
41	119.53	43.93	18.30	14.33	3.97	16.32	16.19	113.44	0.50	0.73	16.07	0.45	0.45	
42	32.77	24.93	16.43	8.77	2.94	12.60	12.00	162.24	1.08	0.30	11.44	0.36	0.32	
43	75.40	32.20	15.87	12.93	7.66	14.40	14.32	74.31	0.43	0.68	14.25	0.34	0.36	
44	87.20	27.20	21.10	14.70	6.40	17.90	17.61	198.88	0.70	0.66	17.33	0.60	0.89	
45	62.07	21.53	25.60	13.90	11.70	19.75	18.86	389.43	1.05	0.49	18.02	0.89	0.81	
47	152.33	39.00	19.53	13.31	6.22	16.42	16.12	176.95	0.74	0.59	15.83	0.52	0.75	
48	63.93	20.53	20.53	20.53	2.07	21.57	21.54	78.67	0.21	1.21	21.52	1.77	1.77	
49	88.67	31.07	29.43	4.78	24.65	21.57	11.86	515.87	1.93	0.05	8.22	1.17	0.11	
50	196.47	27.40	38.77	14.77	24.00	26.77	23.93	1013.36	1.43	0.36	21.39	2.03	0.92	

تجزیه به مؤلفه های اصلی بر مبنای شاخص های تحمل به تنش و عملکرد تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر برای ۹۵ لاین آفتابگردان روغنی انجام شد (جدول ۵). ضرایب عامل ها پس از

به منظور گزینش لاین های متحمل به کمبود فسفر و با عملکرد بالا در هر دو محیط بهینه و کمبود فسفر، از نمودار چند بعدی موسوم به بای پلات استفاده شد. بدین منظور ابتدا

Table 3. Continued ۳ جدول ۳

Line	TAPp (mg.pot ⁻¹)	TAPs (mg.pot ⁻¹)	Yp (g.plant ⁻¹)	Ys (g.plant ⁻¹)	TOL	MP	GMP	STI	ATI	SSI	DI	HARM	k _{STI} K _S	K _{STI}
51	88.93	26.13	18.73	10.23	8.50	14.48	13.84	0.26	207.61	1.05	0.36	13.23	0.47	0.44
52	60.93	45.00	17.10	9.17	7.93	13.14	12.52	0.21	175.21	1.07	0.32	11.94	0.40	0.35
53	73.33	19.00	35.37	27.27	8.10	31.32	31.06	1.30	443.87	0.53	1.36	30.80	1.69	3.13
54	58.00	28.00	21.17	12.17	9.00	16.67	16.05	0.35	254.90	0.98	0.45	15.46	0.61	0.62
55	242.40	82.40	15.87	13.03	2.84	14.45	14.38	0.28	72.06	0.41	0.69	14.31	0.34	0.71
56	38.53	15.87	16.37	9.83	6.54	13.10	12.69	0.22	146.38	0.92	0.38	12.28	0.36	0.41
57	157.53	45.93	53.37	23.40	29.97	38.39	35.34	1.69	1868.78	1.30	0.67	32.54	3.85	2.30
58	192.87	30.87	32.00	19.50	12.50	25.75	24.98	0.84	550.96	0.90	0.77	24.23	1.38	1.60
59	78.40	39.00	27.70	11.73	15.97	19.72	18.03	0.44	507.94	1.33	0.32	16.48	1.04	0.58
60	349.80	132.20	24.23	16.03	8.20	20.13	19.71	0.52	285.15	0.78	0.69	19.29	0.79	1.08
61	139.60	39.33	39.93	30.10	9.83	35.02	34.67	1.62	601.31	0.57	1.47	34.33	2.15	3.81
62	102.37	44.00	36.57	32.37	4.20	34.47	34.41	1.60	254.98	0.27	1.86	34.34	1.81	4.41
63	55.73	25.80	33.20	17.70	15.50	25.45	24.24	0.79	662.98	1.08	0.61	23.09	1.49	1.32
64	44.40	24.80	12.27	6.77	5.50	9.52	9.11	0.11	88.45	1.03	0.24	8.73	0.20	0.19
65	54.17	20.33	9.17	6.03	3.14	7.60	7.44	0.07	41.20	0.79	0.26	7.28	0.11	0.15
66	72.00	44.8	29.57	26.90	2.67	28.24	28.20	1.07	132.87	0.21	1.59	28.17	1.18	3.04
67	39.87	15.47	14.43	13.10	1.33	13.77	13.75	0.26	32.27	0.21	0.77	13.73	0.28	0.72
68	75.20	25.53	16.70	15.23	1.47	15.97	15.95	0.34	41.37	0.20	0.90	15.93	0.38	0.98
69	75.87	26.20	28.63	8.70	19.93	18.67	15.78	0.34	555.00	1.61	0.17	13.34	1.11	0.32
70	396.60	55.33	34.57	17.90	16.67	26.24	24.88	0.84	731.69	1.11	0.60	23.59	1.61	1.35
71	228.53	58.40	31.67	25.53	6.14	28.60	28.43	1.09	308.06	0.45	1.33	28.27	1.35	2.74
72	39.33	12.40	16.30	8.03	8.27	12.17	11.44	0.18	166.94	1.17	0.26	10.76	0.36	0.27
73	251.87	28.33	23.90	14.83	9.07	19.37	18.83	0.48	301.29	0.88	0.60	18.30	0.77	0.93
74	55.00	24.40	35.63	24.20	11.43	29.92	29.36	1.16	592.21	0.74	1.07	28.82	1.71	2.46
75	60.87	24.53	29.70	2.43	27.27	16.07	8.50	0.10	408.77	2.12	0.01	4.49	1.19	0.02
76	61.20	22.13	20.73	8.43	12.30	14.58	13.22	0.24	286.90	1.37	0.22	11.99	0.58	0.30
77	51.87	15.67	20.63	13.97	6.66	17.30	16.98	0.39	199.50	0.75	0.61	16.66	0.57	0.82
78	80.40	15.47	30.33	12.47	17.86	21.40	19.45	0.51	612.87	1.36	0.33	17.67	1.24	0.65
79	60.67	29.40	22.30	8.23	14.07	15.27	13.55	0.25	336.33	1.46	0.20	12.02	0.67	0.28
80	45.40	19.67	19.17	4.20	14.97	11.69	8.97	0.11	237.01	1.80	0.06	6.89	0.50	0.07
82	70.00	24.27	15.20	8.07	7.13	11.64	11.08	0.17	139.34	1.08	0.28	10.54	0.31	0.27
83	44.00	18.07	26.73	9.10	17.63	17.92	15.60	0.33	485.16	1.52	0.20	13.58	0.97	0.35
84	106.00	18.60	25.77	5.60	20.17	15.69	12.01	0.19	427.54	1.81	0.08	9.20	0.90	0.13
85	58.83	29.93	13.40	4.70	8.70	9.05	7.94	0.09	121.82	1.50	0.11	6.96	0.24	0.09
86	78.60	27.07	15.73	10.23	63.57	52.02	41.17	2.29	4618.35	1.75	0.32	32.59	9.49	1.72
88	88.23	24.67	18.13	20.27	5.46	13.00	12.71	0.22	122.45	0.80	0.43	12.43	0.33	0.44
89	99.00	14.27	18.13	6.53	11.60	12.33	10.88	0.16	222.70	1.48	0.15	9.60	0.44	0.18
90	119.87	25.40	34.40	25.93	8.47	30.17	29.87	1.21	446.35	0.57	1.27	29.57	1.60	2.83
91	75.73	37.20	31.67	14.43	17.24	23.05	21.38	0.62	650.29	1.26	0.43	19.83	1.35	0.88

چرخش وریماکس و بر مبنای روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برآورد شدند. بای پلات مربوطه بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم که حدود ۸۴/۸ درصد از تغییرات موجود بین داده‌ها را توجیه کرده بودند، ترسیم گردید (شکل ۱). در فضای بای پلات لاین‌ها در گروه‌های مشخصی قرار

گرفتند که مرتبط با میانگین عملکرد، میزان کل فسفر جذب شده و تحمل آنها به کمبود فسفر است. نتایج این جدول نشان می‌دهد که حدود ۶۳/۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها مربوط به مؤلفه اول بوده که دارای همبستگی مثبت و بالایی با Yp، Ys، MP، GMP، STI،

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین عملکرد در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب با شاخص های تحمل به تنش در ۹۵ لاین آفتابگردان روغنی
 Table 4: Correlation coefficients between yield and stress tolerance indices under optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus in 95 oilseed sunflower lines

	TAPp	TAPs	Yp	Ys	TOL	MP	GMP	STI	ATI	SSI	DI	HARM	k ₂ STI_k ₁ S
TAPs	0.755***												
Yp	0.383**	0.354**											
Ys	0.430**	0.358**	0.714**										
TOL	0.158 ^{ns}	0.181 ^{ns}	0.776**	0.112 ^{ns}									
MP	0.432**	0.382**	0.956**	0.887**	0.558**								
GMP	0.448**	0.386**	0.901**	0.944**	0.429**	0.988**							
STI	0.409**	0.356**	0.861**	0.915**	0.398**	0.949**	0.960**						
ATI	0.229*	0.262*	0.890**	0.398**	0.905**	0.752**	0.661**	0.642**					
SSI	-0.112 ^{ns}	-0.113 ^{ns}	0.149 ^{ns}	-0.496**	0.659**	-0.109 ^{ns}	-0.234*	-0.195*	0.325**				
DI	0.339**	0.281**	0.448**	0.934**	-0.206*	0.685**	0.772**	0.765**	0.089 ^{ns}	-0.694**			
HARM	0.453**	0.381**	0.839**	0.976**	0.312**	0.960**	0.992**	0.952**	0.570**	-0.336**	0.835**		
k ₂ STI_k ₁ S	0.309**	0.320**	0.962**	0.642**	0.788**	0.901**	0.838**	0.847**	0.945**	0.145 ^{ns}	0.382**	0.770**	
K ₂ STI	0.382**	0.312**	0.649**	0.939**	0.075 ^{ns}	0.819**	0.870**	0.932**	0.327**	-0.390**	0.908**	0.900**	0.611**

ns, *, **, *** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال 5 درصد و ادرصد.

ns, *, **, ***: Not significant and significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

TAPp: Total absorbed phosphorus under non-stress condition; TAPs: Total absorbed phosphorus under stress condition; Yp: Non-stress Yield; Ys: Stress Yield; TOL: Tolerance index; MP: Mean Productivity; GMP: Geometric Mean Productivity; STI: Stress Tolerance Index; ATI: Abiotic Tolerance Index; SSI: Stress Susceptibility Index; DI: Drought Index; HARM: Harmonic mean; K₂STI_k₁S and K₂STI: Modified Stress Tolerance indices.

میانگین هندسی هندسی بهره‌وری؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ ATI: شاخص تحمل به کمبودهای غیرزیستی؛ SSI: شاخص حساسیت به تنش؛ DI: شاخص تحمل به تنش خشکی؛ HARM: میانگین هارمونیک بهره‌وری؛ میانگین فسفر کل جذب شده در شرایط بدون تنش؛ TAPs: فسفر کل جذب شده در شرایط تنش؛ Yp: عملکرد در شرایط بدون تنش؛ Ys: عملکرد در شرایط تنش؛ MP: میانگین بهره‌وری؛ GMP: میانگین بهره‌وری؛ TOL: شاخص تحمل؛ STI: شاخص تحمل به تنش؛ ATI: شاخص حساسیت به تنش؛ DI: شاخص تحمل به تنش خشکی؛ HARM: میانگین هارمونیک بهره‌وری؛ میانگین K₂STI و K₁STI

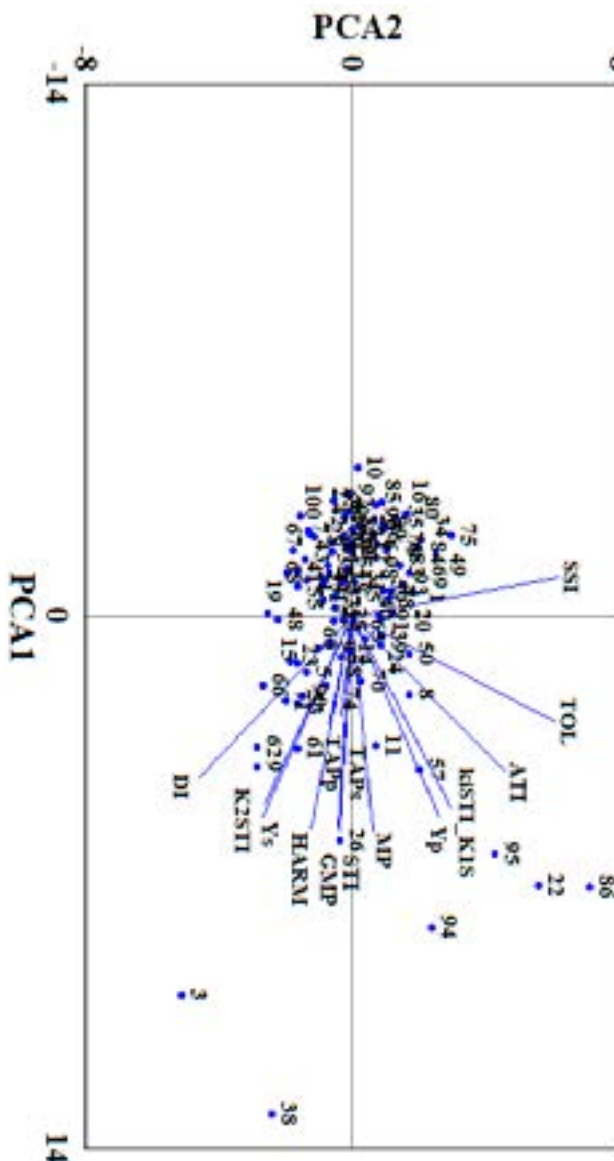
ارزیابی تحمل به ...

به کمبود فسفر و در مجاورت شاخص های مهم حساسیت به تنش شامل TOL و SSI قرار گرفته اند، به عنوان لاین های فسفر-ناکارا و حساس به تنش کمبود فسفر شناخته شدند. زاویه بین بردارها میزان همبستگی بین متغیرها را نشان می دهد (شکل ۱).

گروه بندی لاین ها بر مبنای شاخص های TOL، SSI، MP، GMP، STI، ATI، DI، HARM، KiSTI_K1S و K2STI، عملکرد تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر و میزان کل فسفر جذب شده در شرایط بهینه و کمبود فسفر با استفاده از روش وارد (Ward) انجام شد. با توجه به دندروگرام تجزیه کلاستر همانطوری که ملاحظه می شود لاین های ۳، ۳۸، ۸۶، ۹۵، ۲۲ و ۹۴ در کلاستر اول قرار دارند که همان ارقام با پتانسیل عملکرد بالا، میزان فسفر جذب شده بالا و متحمل به کمبود فسفر هستند گروه دوم شامل لاین هایی است که در شرایط کمبود فسفر عملکرد نسبتاً بالایی دارند، می توان گفت این لاین ها دارای قدرت جذب بالا و تبدیل فسفر غیر قابل جذب به قابل جذب بالایی می باشند و سایر لاین هایی که در کلاستر سوم و چهارم قرار دارند، همان لاین های دارای عملکرد پایین در شرایط بهینه و کمبود فسفر هستند و در عین حال حساس به کمبود فسفر می باشند. با توجه به حداکثر فاصله ژنتیکی بین این لاین ها از نظر عملکرد و نیز تحمل به کمبود فسفر می توان از این اطلاعات به منظور انجام دورگ گیری در جهت تولید جمعیت های در حال تفکیک و همچنین تولید ارقام هیبرید جدید بهره جست (شکل ۲).

جدول ۵- مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و سهم تجزیه شاخص های تحمل و عملکرد در شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب در لاین آفتابگردان روزنی 95 oilseed sunflower lines

مؤلفه Component	مقادیر ویژه Eigenvalue	درصد واریانس Cumulative Variance (%)	TAPp	TAPs	Yp	Ys	MP	GMP	STI	ATI	DI	HARM	K ₁ STI_K ₁ S	K ₂ STI	TOL	SSI
1	8.834	63.102	0.499	0.455	0.922	0.917	0.989	0.989	0.972	0.710	0.737	0.972	0.881	0.866	0.486	-0.180
2	3.031	84.751	-0.100	-0.049	0.370	-0.380	0.086	-0.058	-0.063	0.649	-0.653	-0.179	0.421	-0.377	0.868	0.877
3	1.369	94.531	0.785	0.820	-0.053	-0.088	-0.072	-0.072	-0.109	-0.056	-0.112	-0.072	-0.095	-0.121	0.004	0.046

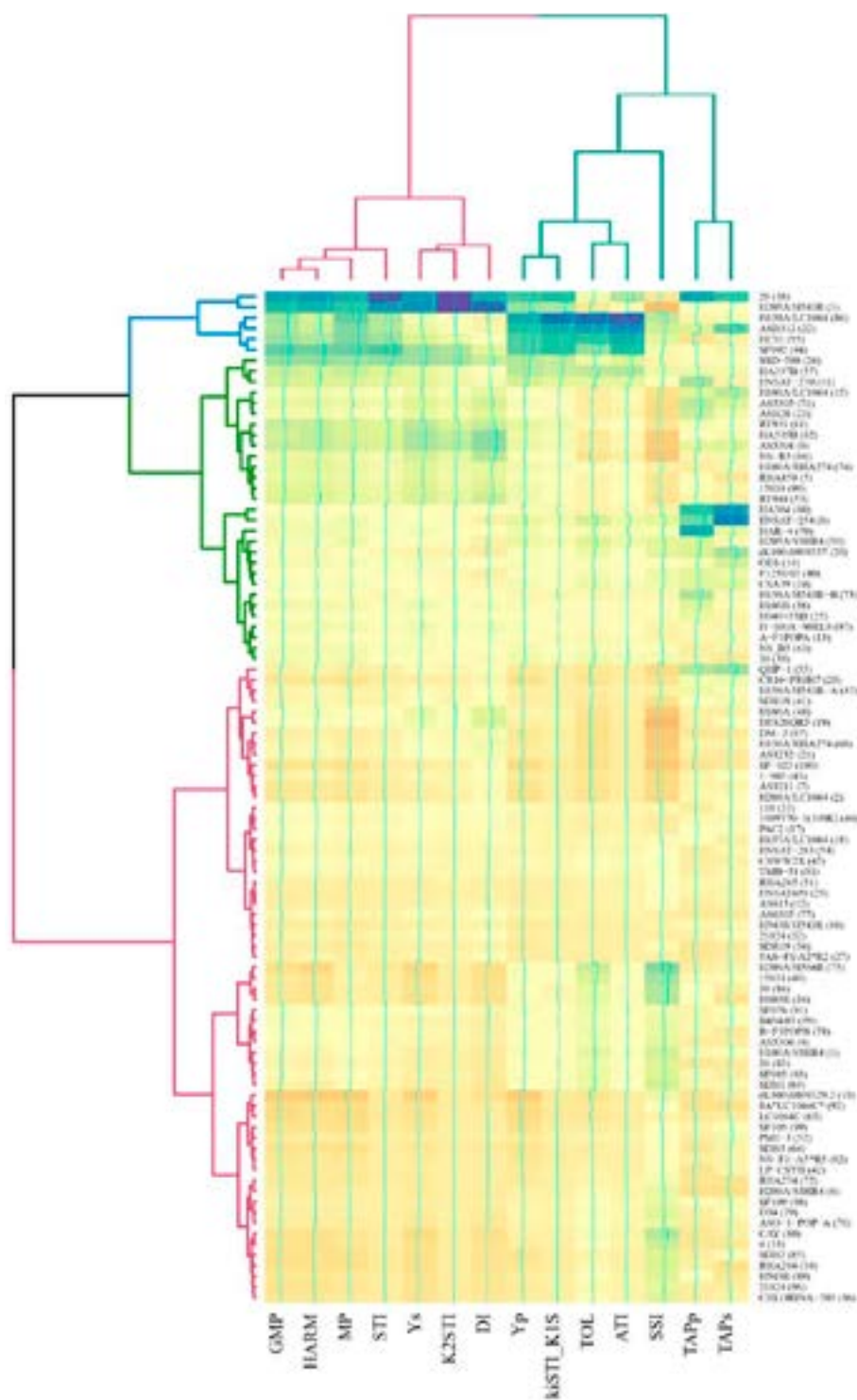


شکل ۱- نمایش بای پلات ۹۵ لاین آفتابگردان روضی براساس شاخص های تحمل به تنش و عملکرد تنش شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب
 Figure 1. Biplot for 95 oilseed sunflower lines based on stress tolerance indices and yield under optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus

نتیجه گیری

با استفاده از تحلیل همبستگی بین عملکرد در شرایط بهینه و کمبود فسفر و شاخص های کمی تحمل به کمبود فسفر، شاخص های تحمل را غربال و مناسبترین شاخص ها انتخاب گردید. بر این اساس شاخص های STI و GMP، MP، HM به ترتیب همبستگی بسیار معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد نشان دادند. لذا این شاخص ها بعنوان مناسبترین شاخص ها برای غربال کردن

لاین های متحمل به کمبود فسفر که در شرایط بهینه و کمبود فسفر نیز عملکرد بالایی داشته باشند در نظر گرفته شد. پس از ترسیم نمودار بایپلات لاین های ۱۱، ۲۲، ۲۶، ۳۸، ۵۷، ۹۴ و ۹۵ در منطقه A واقع شده و به عنوان لاینهای متحمل با عملکرد بالا و اینهای ۲، ۲۱، ۲۸، ۴۳، ۶۵، ۶۸، ۹۷ و ۱۰۰ در منطقه D نمودار بایپلات واقع شده و به عنوان لاین های حساس به کمبود



شکل ۲- دندروگرام حاصل از گروه بندی ۹۵ لاین خالص آفتابگردان روغنی بر اساس عملکرد تحت شرایط بینه (YP) و تنش کمبود فسفر (Ys) (Ys)

Figure 2. Dendrogram obtained from grouping 95 oilseed sunflower lines based on yield performance under optimal (Yp) and deficiency of phosphorus (Ys)

فسفر معرفی شدند. گروه بندی لاین ها بر مبنای شاخص های STI ، GMP ، MP ، SSI ، TOL ، DI ، ATI ، K_2STI و $kiSTI-K_1S$ ، عملکرد دانه و میزان فسفر کل جذب شده تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر لاین های مورد بررسی را در چهار کلاستر دسته بندی کرد که اکثر لاین های متحمل به کمبود فسفر با عملکرد و میزان کل فسفر جذب شده نسبتاً متوسط و بالا شامل لاین های ۳ ($Y_p=57/77$ ؛ $Y_s=54/77$ ؛ $TAP_s=33/80$)، ۲۲ ($Y_p=76/10$ ؛ $Y_s=21/63$)، ۲۸ ($TAP_p=118/40$ ؛ $TAP_s=100/07$)، ۳۸ ($TAP_p=194/60$ ؛ $TAP_s=100/07$)، ۴۰ ($Y_p=72/23$ ؛ $Y_s=54/37$)، ۵۳ ($Y_p=83/08$ ؛ $Y_s=20/23$)، ۸۶ ($TAP_p=400/53$ ؛ $Y_s=34/37$)، ۹۴ ($TAP_p=78/60$ ؛ $TAP_s=27/07$) و ۹۵ ($TAP_p=121/93$ ؛ $TAP_s=44/00$ ؛ $Y_p=70/60$) در کلاستر اول قرار گرفته و از سایر لاین های حساس به کمبود فسفر و لاین های با عملکرد پایین در شرایط بهینه و کمبود فسفر براحتی تفکیک شدند.

References

- Abbas, M., Shah, J.A., Irfan, M., and Memon, M.Y. 2018. Remobilization and utilization of phosphorus in wheat cultivars under induced phosphorus deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 41(12): 1522-1533.
- Abel, S., Ticconi, C.A., and Delatorre, C.A. 2002. Phosphate sensing in higher plants. *Physiologia plantarum*, 115(1): 1-8.
- Akhtar, M.S., Oki, Y., and Adachi, T. 2009. Mobilization and acquisition of sparingly soluble P-sources by Brassica cultivars under P-starved environment I. Differential growth response, P-efficiency characteristics and P-remobilization. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51(11): 1008-1023.
- Alavi, S.R., Darvishzadeh, R., Valizadeh, M., Moghadam, M., Farrokhi, E., Basirnia, A., and Pirzad, A. 2014. Evaluation of drought tolerance indices in various sunflowers cultivars (*Helianthus annuus* L.). *Research in Field Crops*, 2(1): 16-27. (In Persian with English Summary)
- Arnon, I. 1972. Crop production in dry region. Leonard Hill Publisher, London.
- Aziz, T., Lambers, H., Nicol, D., and Ryan, M.H. 2015. Mechanisms for tolerance of very high tissue phosphorus concentrations in *Ptilotus polystachyus*. *Plant, Cell & Environment*, 38(4): 790-799.
- Aziz, T., Steffens, D., Rahmatullah, S., and Schubert, S. 2011. Variation in phosphorus efficiency among brassica cultivars II: changes in root morphology and carboxylate exudation. *Journal of Plant Nutrition*, 34(14): 2127-2138.
- Biswas, B.K., Hasanuzzaman, M., Eltaj, F.M., Alam, S., and Amin, M. R. 2001. Simultaneous selection for fodder and grain yield in sorghum. *Journal of Biological Sciences*, 1: 321-323.
- Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC press. Boca Raton, FL. pp. 38-78.
- Bousslama, M., and Schapaugh, W.T. 1984. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24: 933-937.
- Darvishzadeh, R., Soleimani Gezeljeh, A., Alipour, H., Ebrahimi, A., Bihamta, M.R., and Morsali, F. 2018. Selection of oily sunflower (*Helianthus*

- annuus* L.) drought tolerant lines using tolerance indices. *Journal of Crop Breeding*, 10(28): 133-144. (In Persian with English Summary)
- Farshadfar, E., Zamani, M.R., Matlabi, M., and Emam-Jome, E.E. 2001. Selection for drought resistance chickpea lines. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*, 32: 65-77.
- Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance pp, 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-16 Aug.
- Fischer, R.A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29: 897-912.
- Gavuzzi, P., Rizza, F., Palumbo, M., Campalino, R.G., Ricciardi, G.L., and Borghi, B. 1997. Evaluation of field and laboratory of drought and heat stress in winter cereals. *Canadian Journal of Plant Science*, 77: 523-531.
- Gholinezhad, E., Darvishzadeh, R., and Bernousi, I. 2014. Evaluation of drought tolerance indices for selection of confectionery sunflower (*Helianthus annuus* L.) landraces under various environmental conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 42(1): 187-201.
- Gunes, A., and Inal, A. 2009. Phosphorus efficiency in sunflower cultivars and its relationships with phosphorus, calcium, iron, zinc and manganese nutrition. *Journal of Plant Nutrition*, 32(7): 1201-1218.
- Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Møller, I.S., and White, P. 2012. Functions of macronutrients. In Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition) (pp. 135-189).
- Irfan, M., Abbas, M., Shah, J.A., Akram, M.A., Depar, N., and Memon, M.Y. 2019. Biomass and phosphorus accumulation, partitioning and remobilization during grain development in wheat under phosphorus deficiency. *International Journal of Agriculture and Biology*, 21: 351-358.
- Khalilzadeh, G.H., and Karbalai-Khiavi, H. 2002. Investigation of drought and heat stress on advanced lines of durum wheat. In Proc of the 7th Iranian

- Congress of Crop Sciences. Guilan, Iran (pp. 563-564).
- Lan, J. 1998. Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 7: 85-87.
- Mousavi, S.S., Yazdi, S.B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.
- Naderi, A., Magidi Heravan, A., Hashemi Dezfuli, A., Rezaei, A., and Noor Mohammadi, G. 2008. Envelopment analysis of indices for evaluating crop tolerance to environmental deficiencies and introduction of a new index. *Seed and plant Improvement Journal*, 15(4): 390-402. (In Persian with English Summary)
- Naeemi, M., Akbari, G.H.A., Shirani-Rad, A.H., Modares-Sanavi, S.A.M., Sadat-Nouri, S.A., and Jabari, H. 2008. Evaluation of drought tolerance in different canola cultivars based on stress evaluation indices in terminal growth duration. *Electronic Journal of Crop Production*, 3: 83-98.
- Ozturk L., Eker, S., Torun, B., and Cakmak, I. 2005. Variation in phosphorus efficiency among 73 bread and durum wheat genotypes grown in a phosphorus-deficient calcareous soil. *Plant and Soil*, 269(1-2): 69-80.
- Pearse, S.J., Veneklaas, E.J., Cawthray, G.R., Bolland, M.D., and Lambers, H. 2006. Carboxylate release of wheat, canola and 11 grain legume species as affected by phosphorus status. *Plant and Soil*, 288(1): 127-139.
- Rosille, A.A., and Hambilin, J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21: 43-46.
- Rasoulzadeh Aghdam, M., Darvishzadeh, R., Sepehr, E., and Alipour, H. 2020. Evaluation of the Response of Oilseed Sunflower Pure Lines (*Helianthus annuus* L.) Under Phosphorus Deficiency Condition. *Journal of Crop Breeding*, 12(33): 202-214. (In Persian with English Summary)
- Safavi, A., Pourdad, S.S., and Moghaddam, M.J. 2011. Identification of drought resistant genotypes in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed and Plant Improvement Journal*, 2, 129-148.
- Safavi, S.M., Safavi, A.S., and Safavi, S.A. 2015. Evaluation of drought tolerance

- in sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines and synthetic varieties under non Stress and drought stress conditions. *In Biological Forum*, 7(1): 1849.
- Sepehr, E., Malakouti, M.J., Khold, B.B., Samadi, A., and Karimian, N. 2009. Genotypic variation in P efficiency of selected Iranian cereals in greenhouse experiment. *International Journal of Plant Production*, 3(3): 17-28.
- Shen, J., Li, H., Neumann, G., and Zhang, F. 2005. Nutrient uptake, cluster root formation and exudation of protons and citrate in *Lupinus albus* as affected by localized supply of phosphorus in a split-root system. *Plant Science*, 168(3): 837-845.
- Soares, E.B., Barros, A.P., Albuquerque, J.R.T.D., Santos, M.G.D., Lins, H.A., and Bezerra, F. 2020. Sunflower performance as a function of phosphate fertilization in semiarid conditions. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 42.
- Turner, N.C. 2003. Adaptation to drought: lessons from studies with chickpea. *Indian Journal of Plant Physiology*, 11–17.
- Upadhyaya, H.D., Yadav, D., Dronavalli, N., Gowda, C.L.L., and Singh, S. 2010. Mini core germplasm collections for infusing genetic diversity in plant breeding programs. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1: 1294-1309.
- Veneklaas, E.J., Lambers, H., Bragg, J., Finnegan, P.M., Lovelock, C.E., Plaxton, W.C., Price, C.A., Scheible, W.R., Shane, M.W., White, P.J., and Raven, J.A. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. *New phytologist*, 195(2): 306-320.
- Westerman, R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. *American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin.*

Evaluation of phosphorus deficiency stress tolerance in oilseed sunflower pure lines (*Helianthus annuus* L.)

Maryam Rasoulzadeh Aghdam¹, Reza Darvishzadeh², Ebrahim Sepehr³,
Hadi Alipour^{4*}

1. M.Sc. Graduate of Plant Breeding, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. (Corresponding author)

Received: June 2020 Accepted: November 2021- DOI: 10.22092/aj.2022.343448.1485

Extended Abstract

Rasoulzadeh Aghdam, M., Darvishzadeh, R., Sepehr, E., Alipur, H., Evaluation of phosphorus deficiency stress tolerance in oilseed sunflower pure lines (*Helianthus annuus* L.)
Applied Research in Field Crops Vol 34, No. 3, 2021 16-18: 120-139(in Persian)

Introduction:

Phosphorus is one of the essential elements in plants. In calcareous soils, the amount of available phosphorus is very low due to high pH, excessive levels of calcium carbonate, lack of organic matters, and also the insolubility of phosphate minerals under such conditions. Since a large amount of phosphorus fertilizer is constantly applied to the calcareous soils of Iran, identification of genotypes with efficient phosphorus uptake may help farmers to manage the application of chemical fertilizers. Phosphorus uptake efficient genotypes can be identified using different indices including tolerance index (TOL), mean productivity (MP), geometric mean productivity (GMP), stress tolerance index (STI; Fernandez, 1992), abiotic tolerance index (ATI; Moosavi *et al.*, 2008), stress susceptibility index (SSI), drought index (DI), harmonic mean (HARM) and modified stress tolerance indices (kiSTI_{K₁S} and K₂STI; Naderi *et al.*, 2008). This study was conducted to screen tolerant oilseed sunflower pure lines for phosphorus deficiency stress with higher

Email address of the corresponding author: ha.alipour@urmia.ac.ir

and efficient phosphorus uptake to develop an improved genetic population for farmers' usage.

Materials & Methods:

Ninety-five oilseed sunflower pure lines were evaluated using a randomized complete block design with three replications under both optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus at the Urmia University research field during the 2015-2016 cropping season. This experiment was conducted in 15 kg plastic pots. Soil phosphorus concentration in phosphorus deficiency treatment was 7.240 mg.kg⁻¹, while under optimal condition, 0.4 g.kg⁻¹ of triple superphosphate were added. Tolerance indices were calculated for the sunflower lines based on the grain yield under optimal and deficiency conditions of absorbable phosphorus. In order to find suitable indices for screening the tolerant lines, a simple correlation coefficient was performed between the calculated tolerance indices and grain yield under optimal and deficiency conditions of phosphorus. Principal components analysis (PCA) and cluster analysis were performed to evaluate the relationship between the tolerance indices and the studied genotypes and to select the most desirable and tolerant lines.

Results & Discussion:

The results illustrated that phosphorus deficiency reduced the grain yield of all genotypes. The mean grain yield was 44.88% lower under phosphorus deficiency conditions than that of optimal conditions, indicating the importance of phosphorus on sunflower grain yield. The result of correlation analysis revealed a highly significant correlation between HARM, MP, GMP, STI indices and grain yield under optimal and deficiency conditions of phosphorus. Therefore, these indices could be considered as the most suitable indices for screening tolerant lines to phosphorus deficiency conditions which also showed higher grain yield under optimal and deficiency conditions of phosphorus. Principal component analysis (PCA) showed that the first three components accounted for 94.5% of the total variation where PC1 explained 63.1%, PC2 21.6% and PC3 9.8% of the total variation. The heatmap hierarchical clustering results indicated that all the lines were grouped into three major clusters, with cluster 1 (6 lines) being, in general,

drought-tolerant followed by cluster 2 (29 lines), whereas cluster 3 (60 lines) included drought-sensitive lines. The results of principal component and cluster analysis based on stress tolerance indices indicated that the lines 38, 94, and 95 not only had higher tolerance indices but also they produced relatively high grain yield and had higher total phosphorus absorption values under both optimal and deficiency conditions of phosphorus, which indicated their uptake efficiency and efficient use of soil phosphorus. The results obtained from all the applied methods revealed that the lines 38 ($Y_p=72.23$; $Y_s=54.37$; $TAP_p=400.53$; $TAP_s=106.40$), 94 ($Y_p=70.60$; $Y_s=34.73$; $TAP_p=121.93$; $TAP_s=44.00$), and 95 ($Y_p=70.67$; $Y_s=25.77$; $TAP_p=36.53$; $TAP_s=21.53$) are the most desirable and tolerant ones. Therefore, these lines can be used in breeding programs to introduce new phosphorus efficient varieties with high grain yield.

Keywords: Grain yield, Phosphorus-efficient, Tolerance indices.

References:

- Fernandez, G.C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance pp, 257-270. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and other Food Crops in Temperature and Water Stress. Taiwan, 13-16 Aug.
- Mousavi, S.S., Yazdi, S.B., Naghavi, M.R., Zali, A.A., Dashti, H., and Pourshahbazi, A. 2008. Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12: 165-178.
- Naderi, A., Magidi Heravan, A., Hashemi Dezfuli, A., Rezaei, A., and Noor Mohammadi, G. 2008. Envelopment analysis of indices for evaluating crop tolerance to environmental deficiencies and introduction of a new index. *Seed and plant Improvement Journal*, 15(4): 390-402. (In Persian with English Summary)