

## ارزیابی کارایی لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) از لحاظ جذب و مصرف فسفر خاک

مریم رسول زاده اقدام<sup>۱</sup>، رضا درویش‌زاده<sup>۲،۳</sup>، ابراهیم سپهر<sup>۴</sup>، هادی علی‌پور<sup>۵</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۷)

### چکیده

فسفر بعد از نیتروژن، مهم‌ترین عنصر غذایی ضروری و پرمصرف مورد نیاز گیاه بوده و مهم‌ترین نقش را در تولید و انتقال انرژی دارد. در آزمایشی کارایی جذب و مصرف فسفر ۱۰۰ لاین خالص آفتابگردان روغنی جمع‌آوری شده از نقاط مختلف جهان، در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب، بر اساس طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار، در شرایط گلدانی ارزیابی گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد لاین‌ها از لحاظ وزن خشک بخش هوایی، مقدار و غلظت فسفر کل، شاخص پاسخ به کود، شاخص‌های کارایی جذب و مصرف فسفر و شاخص کارایی محاسبه شده فسفر تفاوت معنی‌داری دارند. میانگین شاخص کودپذیری برای لاین‌های آفتابگردان برابر ۴۷/۴ بود. دامنه این شاخص از ۴/۷ تا ۲۶۶/۷ گرم متغیر بود. میانگین شاخص کارایی جذب فسفر برای لاین‌های آفتابگردان برابر ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد. دامنه این شاخص بین ۰/۰۸ تا ۰/۷۹ متغیر بود. میانگین کارایی مصرف فسفر برای لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط کمبود فسفر برابر ۲/۶۷ و در شرایط بهینه فسفر برابر با ۱/۳۵ گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر بود. دامنه این شاخص از ۱/۱۱ تا ۶/۱۱ گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر متغیر بود. دامنه تغییرات شاخص کارایی فسفر بین ۳۸/۳ تا ۹۰/۲ درصد بود. بر اساس شاخص‌های اندازه‌گیری شده لاین‌های ۱، ۷۳، ۲، ۸، ۳۴، ۴۶، ۴۷، ۷۰ و ۸۹ به عنوان لاین‌های فسفر-کارا و لاین‌های ۴۵، ۵۶، ۹۵، ۱۱، ۱۲، ۲۷، ۵۲، ۷۱، ۷۳، ۷۸ و ۹۴ لاین‌های فسفر-ناکارا معرفی می‌شوند. لاین‌های فسفر-کارا می‌توانند پتانسیل بالقوه‌ای در تولید ارقام هیبرید فسفر-کارا در پروژ‌های به‌نژادی فراهم آورند.

**واژه‌های کلیدی:** آفتابگردان، تنش غیر زیستی، ژنوتیپ فسفر-کارا، کمبود فسفر

رسول زاده اقدام م.، درویش‌زاده ر.، سپهر ا.، علیپور ه. ۱۳۹۹. ارزیابی کارایی لاین‌های خالص آفتابگردان روغنی (*Helianthus annuus* L.) از لحاظ جذب و مصرف فسفر خاک. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۸، شماره ۴. صفحه ۱۴۳-۱۵۷.

- ۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه
- ۲- استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه
- ۳- استاد گروه بیوتکنولوژی کشاورزی، پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه ارومیه
- ۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه
- ۵- استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه

\* پست الکترونیک: [R.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:R.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

## مقدمه

کمبود عناصر غذایی از تنش‌های غیر زیستی مهمی هستند که بر رشد و نمو گیاهان تأثیر گذاشته و موجب کاهش عملکرد می‌شوند (Shahbazi & Besharati, 2013; Heuer *et al.*, 2017). فسفر دومین عنصر درشت مغذی محدود کننده رشد بعد از نیتروژن هست که نقش‌های مهم متعددی را در تمام ارگانیسم‌ها از جمله گیاهان بازی می‌کند (Maharajan *et al.*, 20018). قسمت اعظم فسفر خاک به شکل فسفات‌های نامحلول می‌باشد (Schachtman *et al.*, 1998). از طرف دیگر، هنگام مصرف کودهای شیمیایی، بخش قابل ملاحظه‌ای از فسفر (تقریباً ۸۰ درصد) به فرم ترکیب‌های نامحلول در خاک تثبیت می‌گردد (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2019; Grotz & Guerinot, 2002). لذا اکثر خاک‌های کشاورزی حاوی مقادیر قابل ملاحظه‌ای از ذخایر فسفر نامحلول می‌باشند. میکانوا و نوواکوا (Mikanova & Novakova, 2002) گزارش کردند مقادیر زیادی از فسفر موجود در کودهای شیمیایی بعد از ورود به خاک به صورت نامحلول در می‌آید و در خاک‌های آهکی به شکل فسفات کلسیم و در خاک‌های اسیدی به شکل فسفات آهن و آلومینیوم در می‌آید و از دسترس گیاه خارج می‌شود (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2019). رسوب فسفر در خاک و متعاقب آن کاهش دسترسی گیاه به فسفر، کشاورزان را وادار می‌سازد که به منظور تأمین فسفر مورد نیاز گیاه و جلوگیری از کاهش سود محصولات، از کودهای فسفوره به مقدار زیاد استفاده نمایند (Shahbazi & Besharati, 2013).

بررسی وضعیت حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی در ۳۰ استان کشور نشان می‌دهد که میزان فسفر ۷۱/۸ درصد از خاک‌های کشور کمتر از حد بحرانی فسفر (۱۵ میلی گرم در کیلوگرم خاک) می‌باشد (Shahbazi & Besharati, 2013). گیاهان بدون وجود فسفر قادر به رشد نیستند. کمبود فسفر موجب اختلال در رشد گیاه شده و جنبه‌های مختلف متابولیسم آن تحت تأثیر قرار می‌گیرد. مهم‌ترین عارضه کمبود فسفر، کاهش گسترش سلول، جلوگیری از رشد برگ‌ها و کوتاهی قد در گیاهان است (Hajiboland *et al.*, 2014). همچنین کمبود فسفر موجب کاهش هدایت هیدرولیک ریشه شده و بنابراین در دسترس نبودن آب کافی برای گسترش سلول‌ها، موجب کوچک ماندن برگ‌ها و جلوگیری از رشد اندام‌های هوایی می‌گردد. در شرایط

کمبود فسفر، از یک طرفه به دلیل اختلال عمومی در متابولیسم انرژی، تثبیت دی‌اکسیدکربن در گیاه کاهش می‌یابد و از طرف دیگر، کمبود فسفر به دلیل نقش آن در تغییر و تبدیلات انرژی، موجب کاهش مصرف قندها شده و بنابراین علیرغم افت فتوسنتز، انباشتگی فرآورده‌های فتوسنتزی در گیاهان عارض می‌شود (Hawkesford *et al.*, 2012). گیاهان برای افزایش سازگاری با شرایط کمبود فسفر، طیف گسترده‌ای از تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی را متحمل می‌شوند (Lynch, 2011)، که از جمله آنها می‌توان به تغییرات گسترده در نمو ریشه و بخش هوایی (Maharajan *et al.*, 20018)، افزایش ترشح اسید فسفاتازها و آنیون‌های آلی و همچنین افزایش بیان و فعالیت ناقلین فسفر اشاره کرد (Plaxton & Tran, 2011). مکانیسم‌های سازگاری باعث می‌شوند که قابلیت دسترسی به فسفر خاک، جذب و انتقال فسفر و کارایی استفاده از فسفر در گیاه افزایش یابد (Wang *et al.*, 2019). باتن (Batten, 1992)، طی مطالعات خود تولید و اصلاح ارقام فسفر-کارا را یک استراتژی مکمل و حتی جایگزین برای مصرف کودها در کشاورزی بیان نمود. گاهونیا و نیلسن (Gahoonia & Nielsen, 1996) عقیده دارند که از نقطه نظر تغذیه گیاهی، ژنوتیپ کارا در جذب فسفر ژنوتیپی است که بتواند فسفر خاک را بیشتر محلول کرده و جذب نماید و یا بتواند از فسفر جذب شده برای تولید محصول به نحو مطلوب استفاده نماید.

آفتابگردان با نام علمی (*Helianthus annuus* L.) از خانواده Asteraceae، گیاهی است یکساله، بهاره و بومی آمریکای مرکزی که عمدتاً بخاطر روغن خوراکی آن کشت می‌شود. آفتابگردان به عنوان پنجمین منبع تولید کننده روغن خوراکی (بعد از سویا، کلزا، پنبه و بادام زمینی) و یکی از منابع مهم برای تولید سوخت‌های زیستی در جهان بوده و در پالایش سبز خاک‌های آلوده به فلزات سنگین نقش دارد (Shoghi-Kalkhoran *et al.*, 2013; López-Valdez *et al.*, 2011). با توجه به فراهمی کم فسفر در خاک‌های آهکی (Rasouli Sadaghiani *et al.*, 2020) و سناریوی تولید و اصلاح ارقام فسفر-کارا به عنوان یک استراتژی مهم در کاهش مصرف کود (Veneklaas *et al.*, 2018; Maharajan *et al.*, 2012; White *et al.*, 2012)، شناسایی و مطالعه تفاوت ژنوتیپ‌های گیاهی در جذب و مصرف فسفر ضروری است (Akhtar *et al.*, 2009). پژوهش حاضر به منظور

دو دسته، گلدان‌ها با خاک با میزان فسفر پایین و ماسه به نسبت دو به یک پر شدند. البته خاک با میزان فسفر پایین قبل از استفاده با عناصر مختلف کودی ( $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ) ازت بصورت اوره در دو تقسیط،  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  پتاسیم به صورت سولفات پتاسیم،  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  آهن بصورت سکوسترین آهن  $138 \text{ mg kg}^{-1}$ ،  $15 \text{ mg kg}^{-1}$  روی به صورت سولفات روی،  $5 \text{ mg kg}^{-1}$  منگنز به صورت سولفات منگنز،  $2/5 \text{ mg kg}^{-1}$  مس به صورت سولفات مس و  $2/5 \text{ mg kg}^{-1}$  بور به صورت اسید بوریک) تقویت شد (Sepehr *et al.*, 2009). با توجه به اینکه در آزمایشات تعیین کارایی، گیاه نباید در سطح کفایت عنصر مورد بررسی با تنش آن عنصر مواجه شود، لذا در  $300 \text{ mg kg}^{-1}$  گلدان مربوط به شرایط بهینه، فسفر به میزان  $80 \text{ mg kg}^{-1}$  بعنوان سطح کفایت در نظر گرفته شد (Sepehr *et al.*, 2009) و به خاک گلدان‌ها ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$  گلدان شرایط بهینه) از منبع سوپرفسفات تریپل اضافه گردید. در حالی که در دسته دوم ( $300 \text{ mg kg}^{-1}$  گلدان مربوط به شرایط کمبود فسفر)، کود فسفوری به خاک گلدان‌ها اضافه نشد. فاصله دو ردیف گلدان از هم  $50$  سانتی‌متر و فاصله گلدان‌ها از هم در هر ردیف  $30$  سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در جدول ۱ به برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش اشاره شده است.

ارزیابی کارایی لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی در جذب و مصرف فسفر قابل جذب در دو شرایط بهینه (فراهمی) و کمبود فسفر خاک انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

در این آزمایش  $100$  لاین خالص آفتابگردان روغنی در دو شرایط بهینه و کمبود فسفر قابل جذب در شرایط گلدانی و در فضای باز در گروه تولید و ژنتیک گیاهی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با  $3$  تکرار در سال زراعی  $97-1396$  ارزیابی شدند. دلیل انتخاب این نوع طرح، یکنواختی شرایط و ماده آزمایشی بود. در طرح کاملاً تصادفی به شرط یکنواختی ماده آزمایشی، محدودیتی در تعداد تکرار و تیمار وجود ندارد. بر اساس نتایج تجزیه خاک (Ali Ehyaei & Behbehani Zadeh, 1993)، خاک منطقه خان ارخی (Khan Arkhi) دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی  $44$  درجه و  $58$  دقیقه و  $30$  ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی  $37$  درجه و  $39$  دقیقه و  $22$  ثانیه شمالی و با ارتفاع  $1320$  متر از سطح دریا، از عمق  $30-0$  سانتی‌متر با میزان فسفر پایین ( $15 \text{ mg kg}^{-1}$ ) انتخاب شد (جدول ۱). تعداد  $600$  گلدان  $15$  کیلویی تهیه و به دو دسته  $300$  تایی تقسیم شدند. در هر

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physical and chemical properties of soil used in the experiment

Item	Organic carbon	Soil texture	Clay	Sand	Silt	Lime	pH	EC
Unit	%	-		%			-	$\text{dS m}^{-1}$
Amount	0.74	Clay loam	40	30	30	31.5	7.92	0.78
Item	Organic matter	Zn	Fe	Mn	Cu	P	K	
Unit	%	$\text{mg kg}^{-1}$						
Amount	1.28	0.11	11	10.3	1.3	7.2	102	

EC: Electrical conductivity; pH: Potential hydrogen; Zn: Zinc; Fe: Iron; Mn: Magnesium; Cu: Copper; P: Phosphorus; K: Potassium  $\text{dS/m}$ : DeciSiemens per meter.

مکانیکی و با توجه به نیاز انجام گرفت. پس از رسیدگی (زرد شدن پشت طبق‌ها)، طبق‌ها از بوته‌ها کنده شدند و در دمای  $36$  درجه سانتی‌گراد به مدت  $24$  ساعت در سیستم بالک کیورینگ خشک شدند. همچنین بوته‌ها از سطح خاک در گلدان‌ها قطع و در دمای  $72$  درجه سانتی‌گراد به مدت  $48$  ساعت خشک شدند و پس از آسیاب کردن، غلظت فسفر بخش هوایی به روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات

در هر گلدان تعداد  $4$  عدد بذر آفتابگردان کشت شد. در روزهای اول آزمایش، آبیاری گلدان‌ها به وسیله آب باش هر  $3$  روز یک بار، ولی بعد از جوانه زدن بذرها و رویت گیاهچه‌ها (سبز شدن مزرعه) و مصادف شدن با فصل گرما، آبیاری به صورت روزانه با سامانه آبیاری قطره‌ای انجام گرفت. پس از سبز شدن گیاهچه‌ها، در مرحله چهار برگی دو گیاه در هر گلدان نگهداری شد. مبارزه با علف‌های هرز به صورت

(کودپذیری) و دیگر شاخص‌های فسفر-کارایی با استفاده از فرمول‌های ارائه شده در جدول ۲ محاسبه شدند:

وانادات) و سترمن (Westerman, 1990) توسط دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. با استفاده از داده‌های به دست آمده، شاخص پاسخ به کود

جدول ۲- شاخص‌های کمی مورد استفاده برای شناسایی ژنوتیپ‌های فسفر-کارا

Table 2. Quantitative indices used for identifying phosphorus efficient genotypes

Index	Formulas	Reference
Total absorbed phosphorus	$TAP = (PC \times APDW)$	Ozturk <i>et al.</i> (2005)
Fertilizer response	$FR = (APDW_n - APDW_s)$	Williams <i>et al.</i> (2000); Gunes <i>et al.</i> (2006)
Phosphorus acquisition efficiency	$PACE = \left( \frac{TAP_s}{TAP_n} \right)$	Osborne & Rengel (2002a)
Phosphorus utilization efficiency	$PUTE = \left( \frac{APDW}{TAP} \right)$	Scott <i>et al.</i> (1995)
Phosphorus efficiency	$PE = \left( \frac{APDW_s}{APDW_n} \right)$	Ozturk <i>et al.</i> (2005)
Calculated phosphorus efficiency	$CPE = (PACE) \times (PUTE)$	Sepehr <i>et al.</i> (2009)

APDW: Aerial part dried weight; PC: Phosphorus concentration; APDW<sub>n</sub>: Aerial part dried weight in normal (phosphorus adequacy) conditions; APDW<sub>s</sub>: Aerial part dried weight in stress (phosphorus deficit) conditions; TAP<sub>s</sub>: Total absorbed phosphorus in stress (phosphorus deficit) conditions; TAP<sub>n</sub>: Total absorbed phosphorus in normal (phosphorus adequacy) conditions.

واریانس بین ۳۰/۰۷ تا ۱۰۵/۸۵۱ متغیر بود. هر چند بالا بودن مقدار ضریب تغییرات به مفهوم پایین بودن دقت آزمایش است، ولی در صورتی که اثر عوامل (تیمارها) در جدول تجزیه واریانس معنی‌دار باشد، نیازی به اجزای مجدد آزمایش نمی‌باشد. چون در این شرایط تفاوت بین سطوح عوامل آنقدر زیاد است که با وجود بالا بودن خطای آزمایشی، اختلافات باز معنی‌دار شده‌اند. از طرفی دیگر، معمولاً مقدار ضریب تغییرات بسته به ماهیت صفات متفاوت است. صفاتی که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شوند (صفات کمی یا پلی‌ژنیک)، اثر محیط برای این صفات بالا بوده و در نتیجه ممکن است ضریب تغییرات بالا بدست آید.

#### وزن خشک بخش هوایی

وزن خشک بخش هوایی تحت شرایط کمبود فسفر از ۲۹/۳۳ در لاین شماره ۳۵ تا ۲۳۲/۶۷ گرم در بوته در لاین شماره ۷۱ متغیر بود. میانگین وزن خشک بخش هوایی با در نظر کل لاین‌های آفتابگردان برابر ۷۰/۵۶ گرم در بوته بود. در شرایط بهینه فسفر کمترین و بیشترین وزن خشک بخش هوایی به ترتیب مربوط به لاین شماره ۱۰۰ با مقدار ۴۲/۶۷ و لاین شماره ۷۱ با مقدار ۴۹۹/۳۳ گرم در بوته بود.

پس از بررسی همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) و نرمال بودن توزیع خطاهای مشاهدات با آزمون Kolmogorov-Smirnov، تجزیه واریانس داده‌ها با رویه مدل خطی عمومی (GLM) و تعیین حد آستانه آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح احتمال ۵ درصد برای مقایسه میانگین‌ها در نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

#### نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مشاهده گردید که بین لاین‌های آفتابگردان از لحاظ صفات وزن خشک بخش هوایی، غلظت و مقدار فسفر کل جذب شده، کارایی جذب فسفر، شاخص پاسخ به کود (کودپذیری) و کارایی محاسبه شده فسفر تفاوت معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳ و ۴). آلام و همکاران (Alam *et al.*, 2003) در بررسی پاسخ سه واریته گندم به کارایی مصرف فسفر در خاک با میزان فسفر قابل استفاده ۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و شرایط بهینه فسفر، مشاهده نمودند که بین عملکرد دانه و همچنین کاه در شرایط بهینه و کمبود فسفر تفاوت بسیار معنی‌داری وجود دارد. ضریب تغییرات (محیطی) در جدول تجزیه

در شرایط بهینه فسفر، میانگین وزن خشک بخش هوایی برابر ۱۱۷/۹۱ گرم در بوته بود (جدول ۵). زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2008) طی مطالعاتی در بابونه آلمانی گزارش کردند که فراهمی فسفر باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی می‌شود. همین نتیجه در مطالعات مردانی نژاد و همکاران (Mardani Nejad et al., 2001) در گیاه اسطوخودوس، باقرزاده (Bagherzadeh, 1998) در آویشن و کاظمی (Kazemi, 2002) در زیره سبز نیز مشاهده شده است. همچنین در پژوهشی یو و همکاران (Yu et al., 2012) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل کننده فسفات و خاک حاوی فسفات، وزن خشک نهال‌های گردو را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای بالمی (Balemi, 2009) گزارش داد که کمبود فسفر باعث کاهش فرآیندهای وابسته به فتوسنتز و کاهش تغییر و تبدلات مؤثر در فرآیند گرفتن نور و در نتیجه کاهش وزن خشک بخش هوایی می‌شود. لیب و گودال (Lipp & Goodall, 1958) گزارش کردند که با افزایش فسفر قابل استفاده، وزن خشک بخش هوایی افزایش می‌یابد.

در شرایط بهینه فسفر، میانگین وزن خشک بخش هوایی برابر ۱۱۷/۹۱ گرم در بوته بود (جدول ۵). زینلی و همکاران (Zeinali et al., 2008) طی مطالعاتی در بابونه آلمانی گزارش کردند که فراهمی فسفر باعث افزایش وزن خشک بخش هوایی می‌شود. همین نتیجه در مطالعات مردانی نژاد و همکاران (Mardani Nejad et al., 2001) در گیاه اسطوخودوس، باقرزاده (Bagherzadeh, 1998) در آویشن و کاظمی (Kazemi, 2002) در زیره سبز نیز مشاهده شده است. همچنین در پژوهشی یو و همکاران (Yu et al., 2012) گزارش کردند که کاربرد تلفیقی باکتری‌های حل کننده فسفات و خاک حاوی فسفات، وزن خشک نهال‌های گردو را به طور معنی‌داری افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای بالمی (Balemi, 2009) گزارش داد که کمبود فسفر باعث کاهش فرآیندهای وابسته به فتوسنتز و کاهش تغییر و تبدلات مؤثر در فرآیند گرفتن نور و در نتیجه کاهش وزن خشک بخش هوایی می‌شود. لیب و گودال (Lipp & Goodall, 1958) گزارش کردند که با افزایش فسفر قابل استفاده، وزن خشک بخش هوایی افزایش می‌یابد.

جدول ۳- تجزیه واریانس برای وزن خشک بخش هوایی، غلظت فسفر، فسفر کل جذب شده و کارایی مصرف فسفر تحت شرایط بهینه و کمبود فسفر

Table 3. Variance analysis of aerial part dried weight, phosphorus concentration, total absorbed phosphorus and phosphorus utilization efficiency under phosphorus adequacy (normal) and phosphorus deficit (stress) conditions

Source of variation	df	Mean square			
		Aerial part dried weight	Phosphorus concentration	Total absorbed phosphorus	Phosphorus utilization efficiency
Phosphorus	1	336274.966**	0.256**	784589.556*	259.699**
Genotype	99	17681.843**	0.002**	13476.178*	2.335**
Phosphorus × Genotype	99	2884.987*	0.001*	5482.444**	1.004 <sup>ns</sup>
Experimental error	400	2698.525	0.001	2929.444	1.056
CV (%)	-	55.125	33.611	77.24	51.145

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد، <sup>ns</sup>: غیرمعنی‌دار  
ns, \* and \*\* non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively. df: degree of freedom; CV: coefficient of variation.

جدول ۴- تجزیه واریانس برای شاخص‌های کارایی جذب فسفر، پاسخ به کود (کود پذیری)، کارایی فسفر و کارایی محاسبه شده فسفر  
Table 4. Variance analysis of phosphorus acquisition efficiency, fertilizer response, phosphorus efficiency and calculated phosphorus efficiency

Source of variation	df	Mean square			
		Phosphorus acquisition efficiency	Fertilizer response	Phosphorus efficiency	Calculated phosphorus efficiency
Genotype	99	0.055*	5769.974*	448.60 <sup>ns</sup>	0.439**
Experimental error	200	0.04	2511.854	381.035	0.217
CV (%)	-	52.272	105.851	30.07	52.119

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد، <sup>ns</sup>: غیرمعنی‌دار  
ns and \* and \*\* non-significant and significant at 5 and 1% probability level, respectively. df: degree of freedom; CV: coefficient of variation.

۲۷ به ترتیب با مقدار شاخص ۴/۶۷، ۷/۰۰ و ۸/۳۳ گرم کودپذیری پایینی نشان دادند (جدول ۵).

غلظت و فسفر کل جذب شده در بخش هوایی میزان غلظت فسفر در بخش هوایی در لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی تحت شرایط کمبود و بهینه فسفر متفاوت بود. در شرایط کمبود فسفر، میزان غلظت فسفر

شاخص پاسخ به کود (FR)

میانگین شاخص کودپذیری برای لاین‌های آفتابگردان روغنی برابر ۴۷/۳۵ بود. در بین لاین‌ها، لاین‌های شماره ۷۱، ۷۰ و ۳۸ به ترتیب با مقدار شاخص ۲۶۶/۶۷، ۲۲۶/۰۰ و ۲۰۲/۶۷ گرم کودپذیری بالا و لاین‌های شماره ۱۰، ۶۵ و

۱۸، ۱۲، ۴۵، ۵۲، ۵۴، ۵۶، ۷۱، ۸۱ و ۹۴ مشاهده شد (جدول ۵). اوزتورک و همکاران (Ozturk et al., 2005) در مطالعات خود مشاهده کردند که در حالت کمبود فسفر، غلظت فسفر بخش هوایی در ارقام گندم نان و دوروم ۵۰ درصد کاهش یافته است. همچنین در مطالعاتی که توسط آزرین و رنگل (Osborne & Rengel, 2002b) بر روی ۱۰۶ ژنوتیپ در خانواده غلات انجام گرفت، مشاهده شد که تفاوت بیشتری بین ژنوتیپ‌ها از لحاظ مقدار فسفر کل جذب شده وجود دارد که این تفاوت‌ها به اندازه ریشه، مورفولوژی ریشه و تغییرات ریزوسفر ریشه نسبت داده شده است.

بخش هوایی بین ۰/۳ تا ۰/۹ با میانگین ۰/۵ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود (جدول ۵). در شرایط بهینه، میزان غلظت فسفر بخش هوایی بین ۰/۳ تا ۰/۱۶ با میانگین ۰/۹ میلی‌گرم بر گرم ماده خشک بود (جدول ۵). مقایسه دو شرایط نشان می‌دهد میانگین غلظت فسفر بخش هوایی در شرایط بهینه تقریباً دو برابر شرایط کمبود فسفر است. در شرایط کمبود فسفر، لاین‌های ۸، ۲، ۷، ۶۰ و ۷۵ به ترتیب دارای بیشترین و لاین‌های ۷۸ و ۱۱ دارای کمترین میزان غلظت فسفر بخش هوایی بودند. در شرایط بهینه فسفر، بیشترین غلظت فسفر بخش هوایی به ترتیب در لاین‌های ۸۹، ۷۳، ۴۶، ۲۳، ۱ و ۲ و کمترین آن در لاین‌های ۹۵،

جدول ۵- وزن خشک بخش هوایی، پاسخ به کود (کود پذیری) و غلظت فسفر در لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی

Table 5. Aerial part dried weight, fertilizer response and phosphorus concentration in different oilseed sunflower

lines

Code	Genotype	Aerial part dried weight (g pot <sup>-1</sup> )		Fertilizer response (g pot <sup>-1</sup> )	Phosphorus concentration (mg g DW <sup>-1</sup> )	
		Normal	Stress		Normal	Stress
1	H100A/83HR4	60	38.67	21.33	0.15	0.1
2	H209A/LC1064	61.33	36.67	24.67	0.14	0.08
3	H205A/H543R	166.67	112.67	54	0.07	0.03
4	AS5306	73.33	53.33	20	0.08	0.04
5	RHA858	94.33	42	52.33	0.09	0.03
6	H209A/83HR4	43.33	30	13.33	0.07	0.03
7	AS3211	58	30.67	27.33	0.13	0.08
8	254-ENSAT	243.33	154.67	88.67	0.12	0.09
9	AS5304	213.33	122.67	90.67	0.06	0.04
10	1009329.2(100K)	43.33	38.67	4.67	0.08	0.05
11	270-ENSAT	245.67	97.67	148	0.11	0.02
12	AS613	110.67	61.33	49.33	0.05	0.04
13	A-FIPOPA	94	75.33	18.67	0.08	0.05
14	OES	118	90.67	27.33	0.09	0.06
15	H100A/LC1064	142	104	38	0.13	0.07
16	RHA266	87.33	33	54.33	0.07	0.03
17	PAC2	102	65.33	36.67	0.11	0.05
18	H157A/LC1064	220	77.33	142.67	0.04	0.03
19	5DES20QR	99.33	89.33	10	0.07	0.04
20	1009337(100K)	158.67	81.33	77.33	0.12	0.07
21	AS3232	76	44	32	0.08	0.04
22	12ASB3	207.33	144	63.33	0.09	0.06
23	8ASB2	148.67	80.67	68	0.14	0.06
24	9CSA3	149.33	72	77.33	0.11	0.07
25	H049+FSB	134.67	60	74.67	0.12	0.04
26	SSD-580	120	68.2	51.8	0.08	0.05
27	5AS-F <sub>1</sub> /A <sub>2</sub> *R <sub>2</sub>	60	51.67	8.33	0.07	0.04
28	7CR16=PRH6	118.67	68	50.67	0.11	0.07
29	ENSAT699	82	50	32	0.09	0.05

30	SSD-581	143.33	92.33	51	0.11	0.05
31	TMB-51	80.67	58.67	22	0.08	0.04
32	10-59	54.67	43.33	11.33	0.12	0.07
33	110	76.67	58	18.67	0.08	0.05
34	H603R	71.33	30	41.33	0.14	0.04
35	4	53.33	29.33	24	0.09	0.04
36	703-CHLORINA	72.67	49.33	23.33	0.08	0.05
37	NSF <sub>1</sub> -A <sub>4</sub> *R <sub>5</sub>	81.33	54	27.33	0.08	0.05
38	28	412.67	210	202.67	0.1	0.05
39	30	84.67	49.33	35.33	0.09	0.03
40	F1250/03	188	143.33	44.67	0.1	0.03
41	SDR18	97.33	59.33	38	0.12	0.07
42	LP-CSYB	57	46.67	10.33	0.06	0.05
43	803-1	78.67	63.33	15.33	0.09	0.05
44	1009370-1(100K)	113.33	76	37.33	0.08	0.04
45	CSWW2X	120	81.33	38.67	0.05	0.03
46	1009370-3(100K)	138	70	68	0.15	0.04
47	H158A/H543R-A	131.33	54	77.33	0.12	0.07
48	H100A	104	62	42	0.06	0.04
49	15031	99.67	66.67	33	0.09	0.05
50	H205A/83HR4	184.67	74	110.67	0.1	0.04
51	RHA265	106.67	54	52.67	0.08	0.05
52	PM1-3	110	94	16	0.05	0.05
53	RT948	118.67	63.33	55.33	0.06	0.03
54	283-ENSAT	110	93.33	16.67	0.05	0.03
55	QHP-1	187.33	115.33	72	0.13	0.06
56	SDR19	74.67	48.67	26	0.05	0.03
57	HA337B	166.67	77.33	89.33	0.09	0.06
58	H100B	242	106.67	135.33	0.08	0.03
59	B454/03	130.67	89.33	41.33	0.06	0.05
60	HA304	246	170	76	0.13	0.08
61	RT931	146.67	101.33	45.33	0.09	0.04
62	HA335B	112.33	83.67	28.67	0.08	0.05
63	NS_B5	82	61.33	20.67	0.07	0.04
64	SDB3	66.67	57.33	9.33	0.07	0.04
65	LC1064C	43.00	36	7	0.13	0.06
66	NS-R5	120	102.33	17.67	0.06	0.04
67	DM-2	66	41.33	24.67	0.06	0.04
68	H156A/RHA274	99.33	63.33	36	0.07	0.04
69	SDB1	113.33	63.33	50	0.07	0.04
70	HAR-4	358.67	132.67	226	0.12	0.04
71	AS5305	499.33	232.67	266.67	0.05	0.03
72	RHA274	65.33	41.33	24	0.06	0.03
73	H158A/H543R-B	163.33	63.33	100	0.15	0.05
74	H100A/RHA274	85.33	65.33	20	0.06	0.03
75	H209A/H566R	61	30.67	30.33	0.1	0.08
76	ASO-1-POP-A	75.33	42	33.33	0.08	0.05
77	AS6305	81.33	53.33	28	0.07	0.04
78	B-F1POPB	111.33	65	46.33	0.08	0.02
79	D34	61.33	44.67	16.67	0.1	0.07

80	CAY	65.33	39.33	26	0.07	0.05
81	346	68.67	40.67	28	0.05	0.04
82	NS-F <sub>1</sub> -A <sub>5</sub> *R <sub>5</sub>	58.33	40	18.33	0.12	0.07
83	36	77.33	48.67	28.67	0.06	0.04
84	38	103.33	48	55.33	0.11	0.04
85	SDB2	63	48	15	0.09	0.06
86	H158A/LC1064	124	80	44	0.06	0.03
87	H156A/H543R	74.67	46.67	28	0.09	0.04
88	H543R/H543R	83	53.33	29.67	0.1	0.05
89	H543R	58	29.33	28.67	0.16	0.05
90	15038	123.33	84.67	38.67	0.1	0.03
91	SF076	89.33	76	13.33	0.08	0.05
92	8A*LC1064C*	56.67	36	20.67	0.06	0.03
93	SF085	87	48.67	38.33	0.1	0.04
94	SF092	243.33	147.33	96	0.05	0.03
95	HC91	112.67	76.67	36	0.03	0.03
96	10-59	105.33	70	35.33	0.06	0.03
97	H-100A-90RL8	84	66.33	17.67	0.1	0.04
98	SF109	119.33	52.67	66.67	0.07	0.05
99	SF105	72.67	54	18.67	0.11	0.07
100	SF-023	42.67	32	10.67	0.09	0.05
Mean	-	117.95	70.56	47.35	0.09	0.05
LSD <sub>0.0</sub>	-	63.08		60.86	0.03	
<sup>1</sup> LSD <sub>0.0</sub>	-	48.00		46.31	0.02	
<sup>5</sup> CV <sub>Ph</sub> (%)	-	55.12		105.85	33.61	

LSD: least significant difference; CV<sub>Ph</sub>: Phenotypic coefficient of variation.

مهم‌ترین عامل تعیین کننده در کارایی بالا باشد که به خصوصیات ریشه (مورفولوژی و فیزیولوژی) ژنوتیپ وابسته است. لیائو و همکاران (Liao *et al.*, 2005) بر این باور هستند که میزان فسفر جذب شده می‌تواند به عنوان شاخص در تعیین کارایی فسفر به کار برده شود.

#### شاخص کارایی مصرف فسفر (PUTE)

بر اساس شاخص کارایی مصرف فسفر، لاین‌هایی که بتوانند با غلظت‌های پایین فسفر بخش هوایی، فعالیت‌های متابولیکی را در بافت‌ها و اندام‌های خود طوری تنظیم کنند که وزن خشک بالایی را به ازای هر واحد فسفر جذب شده تولید کنند، دارای کارایی مصرف بالایی خواهند بود. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، کارایی مصرف فسفر در شرایط کمبود فسفر بین ۱/۱۱ (در لاین شماره ۸) تا ۶/۱۱ گرم ماده خشک بر میلی‌گرم فسفر (در لاین شماره ۱۱) متغیر بود (جدول ۶). بر این اساس، می‌توان گفت لاین‌های

#### شاخص کارایی جذب فسفر (PACE)

میانگین شاخص کارایی جذب فسفر در لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی برابر با ۰/۳۸ بود (جدول ۶). لاین‌های شماره ۴۲، ۵۲، ۹، ۶۶ و ۱۲ به ترتیب با میزان ۰/۷۸، ۰/۷۹، ۰/۶۸، ۰/۶۲ و ۰/۶۱ نسبت به سایر لاین‌ها کارایی بالایی در جذب فسفر نشان دادند (جدول ۶). در مقابل، لاین‌های شماره ۱۱، ۳۴، ۷۳، ۷۰، ۴۶، ۸۹ و ۵۰ با میزان ۰/۰۸، ۰/۱۳، ۰/۱۳، ۰/۱۴، ۰/۱۸، ۰/۱۸، ۰/۱۸ و ۰/۱۹ غیرکارآمدترین لاین‌ها در جذب فسفر بودند. لاین‌هایی که دارای کارایی جذب فسفر بالا هستند را می‌توان جزء لاین-های فسفر-کارا محسوب نمود (جدول ۶). بر اساس گزارش اوزتورک و همکاران (Ozturk *et al.*, 2005)، گیاهان فسفر-کارا برای رشد بهتر، دو مکانیسم اصلی افزایش در جذب فسفر از خاک و افزایش در مصرف فسفر را بکار می‌برند. مارشனர் (Marschener, 1998) طی مطالعاتی گزارش کرد که تفاوت ژنتیکی بین ارقام از نظر جذب فسفر می‌تواند



شاخص کارایی محاسبه شده فسفر از حاصلضرب کارایی جذب در مصرف فسفر محاسبه شد (Sepchr *et al.*, 2009). بر این مبنای میانگین شاخص کارایی محاسبه شده فسفر لاین‌های آفتابگردان روغنی در شرایط کمبود فسفر برابر ۰/۸۹ بود (جدول ۶). هر چه مقدار عددی این شاخص بالاتر باشد، نشان‌دهنده مصرف بالای فسفر لاین مورد نظر می‌باشد که طبق نتایج حاصل از این پژوهش، به ترتیب لاین‌های ۹، ۹۵، ۵۲ و ۲۷ با میزان ۲/۰۸، ۲/۰۱، ۱/۹۳ و ۱/۶۶ دارای بالاترین و لاین‌های ۷۳، ۳۴، ۷۰ و ۸۹ با میزان ۰/۲۵، ۰/۳۲، ۰/۳۵ و ۰/۳۷ دارای پایین‌ترین میزان مصرف فسفر می‌باشند (جدول ۶).

شماره ۱۱، ۹۴، ۵ و ۵۶ نسبت به لاین‌های ۷۸، ۷۳ و ۹۲ دارای کارایی مصرف فسفر بالاتری هستند و لاین‌های شماره ۸، ۱، ۲، ۷ و ۶۰ کارایی مصرف فسفر پایین‌تری دارند (جدول ۶). در شرایط بهینه فسفر، بیشترین کارایی مصرف فسفر مربوط به لاین‌های شماره ۹۵، ۹، ۱۸، ۷۱ و ۴۵ بود (جدول ۶). لاین‌های شماره ۵۶، ۵۲، ۱۲ و ۹۲ کارایی نسبتاً متوسط در مصرف فسفر نشان دادند و لاین‌های شماره ۸۹، ۷۳، ۴۶، ۱ و ۲ پایین‌ترین کارایی را در مصرف فسفر داشتند (جدول ۶).

شاخص کارایی محاسبه شده فسفر (CPE)

جدول ۶- فسفر کل جذب شده، کارایی جذب فسفر، کارایی مصرف فسفر و کارایی محاسبه شده فسفر در لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی

Table 6. Total absorbed phosphorus, phosphorus acquisition efficiency, phosphorus utilization efficiency, phosphorus efficiency and calculated phosphorus efficiency in different oilseed sunflower lines

Code	Genotype	Total absorbed phosphorus (mg pot <sup>-1</sup> )		Phosphorus utilization efficiency (g APDW mg P <sup>-1</sup> )		Phosphorus acquisition efficiency	Phosphorus efficiency (%)	Calculated phosphorus efficiency
		Normal	Stress	Normal	Stress			
1	H100A/83HR4	88.8	37.4	0.71	1.14	0.41	64.56	0.44
2	H209A/LC1064	86.13	30.13	0.75	1.26	0.39	66.11	0.49
3	H205A/H543R	118.4	33.8	1.85	3.33	0.41	73.08	1.37
4	AS5306	56.93	19.6	1.37	3.17	0.37	74.48	0.97
5	RHA858	90.53	14.87	1.28	5.11	0.23	50.4	0.69
6	H209A/83HR4	27.67	9.13	1.67	3.61	0.40	73.97	1.22
7	AS3211	76.93	25.73	0.84	1.26	0.35	53.53	0.43
8	254-ENSAT	299	141.67	0.87	1.11	0.60	74.23	0.68
9	AS5304	182.93	63.2	2.52	2.7	0.68	73.19	2.08
10	1009329.2(100K)	35.73	19.07	1.23	2.14	0.55	89.41	1.09
11	270-ENSAT	259.17	23.13	0.94	6.11	0.08	41.97	0.4
12	AS613	59.2	25.73	2.14	3.25	0.61	66.11	1.52
13	A-F1POPA	81.67	43	1.4	2.19	0.51	79.44	1.08
14	OES	128.2	65.53	1.26	1.87	0.58	79.14	1.05
15	H100A/LC1064	190	74	0.75	2.03	0.38	73.55	0.56
16	RHA266	63.87	8.8	1.86	3.89	0.26	44.41	0.9
17	PAC2	113.4	29.6	0.96	2.22	0.27	63.6	0.59
18	H157A/LC1064	98.67	23.2	2.33	3.61	0.29	41.46	1
19	5DES20QR	69.8	38.73	1.51	2.33	0.58	90.22	1.37
20	1009337(100K)	196.07	80.53	0.86	2.01	0.32	47.66	0.39

21	AS3232	57.07	17.8	1.37	2.61	0.35	60.06	0.86
22	12ASB3	194.6	100.07	1.09	1.87	0.45	66.69	0.71
23	8ASB2	213.2	44.87	0.76	2.08	0.22	61.24	0.49
24	9CSA3	175.93	57.6	0.97	1.64	0.37	52.77	0.52
25	H049+FSB	165.33	25.93	0.89	2.5	0.19	50.66	0.47
26	SSD-580	95.6	37.68	1.3	2.06	0.38	54.35	0.69
27	5AS-F <sub>1</sub> /A <sub>2</sub> *R <sub>2</sub>	40.4	20.63	1.9	3	0.53	86.12	1.66
28	7CR16=PRH6	140.73	47.07	0.97	1.56	0.36	58.31	0.56
29	ENSAT699	73.2	23.87	1.14	2.22	0.36	64.92	0.74
30	SSD-581	153.13	59.8	0.98	2.81	0.29	55.12	0.55
31	TMB-51	67.73	28.53	1.42	2.5	0.44	74.34	1.04
32	10-59	68	30.27	0.82	1.45	0.47	81.03	0.67
33	110	62.87	31.53	1.23	2.25	0.49	74.71	0.91
34	H603R	98.47	12.73	0.76	2.5	0.13	42.1	0.32
35	4	45.13	14.33	1.18	2.98	0.31	54.41	0.64
36	703- CHLORINA	57.67	25.8	1.37	2.7	0.48	70.65	1.01
37	NSF <sub>1</sub> -A <sub>4</sub> *R <sub>5</sub>	66.93	25.33	1.31	2.92	0.35	66.31	0.85
38	28	400.53	106.4	1.04	2.33	0.25	49.28	0.49
39	30	67.6	16.4	1.23	3.05	0.25	62.8	0.74
40	F1250/03	176.93	48.2	1.1	3.05	0.25	69.01	0.77
41	SDR18	119.53	43.93	0.85	1.37	0.39	61.03	0.53
42	LP-CSYB	32.77	24.93	1.87	1.98	0.79	82.99	1.58
43	803-1	75.4	32.2	1.09	2.06	0.45	83.49	0.92
44	1009370- 1(100K)	87.2	27.2	1.45	2.78	0.36	70.52	1.06
45	CSWW2X	62.07	21.53	2.31	3.89	0.46	74.43	1.65
46	1009370- 3(100K)	199.53	29.8	0.70	2.61	0.18	56.04	0.41
47	H158A/H543R- A	152.53	39	0.84	1.45	0.29	49.19	0.4
48	H100A	63.93	23	2.04	3.17	0.39	59.6	1.22
49	15031	88.67	31.07	1.25	2.33	0.34	63.62	0.79
50	H205A/83HR4	196.47	27.4	1.04	2.89	0.19	42.93	0.47
51	RHA265	88.93	26.13	1.26	2.33	0.29	53.4	0.69
52	PM1-3	60.93	45	2.19	2.42	0.78	86.06	1.93
53	RT948	73.33	19	1.7	3.33	0.30	57.36	0.98
54	283-ENSAT	58	28	1.89	3.33	0.48	85.82	1.62
55	QHP-1	242.4	82.4	0.79	2.45	0.32	61.86	0.49
56	SDR19	38.53	15.87	2.25	5	0.38	64.38	1.45
57	HA337B	157.53	45.93	1.2	2.08	0.47	57.27	0.74
58	H100B	192.87	30.87	1.42	3.61	0.20	44.11	0.65
59	B454/03	78.4	39	1.67	2.17	0.48	63.27	1.05
60	HA304	349.8	132.2	0.82	1.26	0.52	74.54	0.62
61	RT931	139.6	39.33	1.23	2.89	0.37	77.39	1
62	HA335B	102.37	44	1.48	1.89	0.57	73.16	1.06
63	NS_B5	55.73	25.8	1.72	2.78	0.45	76.22	1.23
64	SDB3	44.4	24.8	1.51	2.44	0.54	84.2	1.27

65	LC1064C	54.17	20.33	0.8	2.11	0.41	84.51	0.68
66	NS-R5	72	44.8	1.67	2.33	0.62	85.04	1.42
67	DM-2	39.87	15.47	2	2.78	0.41	62.48	1.17
68	H156A/RHA27 4	75.2	25.53	1.4	2.61	0.41	67.64	0.98
69	SDB1	75.87	26.2	1.53	2.78	0.38	56.36	0.89
70	HAR-4	396.6	55.33	0.9	2.5	0.14	40.3	0.35
71	AS5305	228.53	58.4	2.31	3.89	0.29	53.76	1.09
72	RHA274	39.33	12.4	1.7	3.33	0.32	63	1.09
73	H158A/H543R- B	251.87	28.33	0.67	4.23	0.13	38.32	0.25
74	H100A/RHA27 4	55	24.4	1.64	3.44	0.43	74.42	1.19
75	H209A/H566R	60.87	24.53	1.01	1.37	0.40	51.68	0.51
76	ASO-1-POP-A	61.2	22.13	1.26	1.89	0.38	55.82	0.71
77	AS6305	51.87	15.67	1.56	3.81	0.30	63.85	1.01
78	B-F1POPB	80.4	15.47	1.37	4.44	0.20	63.92	0.82
79	D34	60.67	29.4	1.15	1.59	0.51	73.39	0.83
80	CAY	45.4	19.67	1.56	2	0.50	63.38	0.99
81	346	37	14.93	1.98	2.78	0.42	63.15	1.18
82	NS-F <sub>1</sub> -A <sub>5</sub> *R <sub>5</sub>	70	24.27	0.83	1.68	0.39	69.34	0.58
83	36	44	18.07	1.92	2.78	0.49	62.31	1.27
84	38	106	18.6	0.99	2.61	0.22	59.77	0.6
85	SDB2	58.83	29.93	1.07	1.59	0.53	77.65	0.83
86	H158A/LC1064	78.6	27.07	1.7	3.33	0.32	63.09	1.1
87	H156A/H543R	62.27	20.6	1.23	2.89	0.33	63.74	0.76
88	H543R/H543R	88.23	24.67	0.98	2.31	0.35	66.18	0.66
89	H543R	99	14.27	0.63	2.92	0.18	56.23	0.37
90	15038	119.87	25.4	1.05	3.33	0.22	66.82	0.72
91	SF076	75.73	37.2	1.22	2.33	0.47	84.7	1.04
92	8A*LC1064C*	32.6	9.6	2.08	4.17	0.31	62.91	1.18
93	SF085	87.27	18.6	1.06	2.78	0.26	56.85	0.61
94	SF092	121.93	44	2.06	5.28	0.34	60.02	1.2
95	HC91	36.53	21.53	3.05	3.89	0.56	64.79	2.01
96	10-59	59.53	19.13	1.79	3.61	0.34	67.25	1.21
97	H-100A-90RL8	85.6	24	0.98	3.06	0.30	79.76	0.77
98	SF109	92.13	26.87	1.56	2.14	0.38	52.54	0.86
99	SF105	77.67	37.13	1.02	1.56	0.52	70.37	0.78
100	SF-023	36.73	17.13	1.18	1.89	0.48	74.65	0.88
Mean	-	106.23	33.91	1.35	2.67	0.38	64.98	0.89
LSD <sub>0.0</sub> 1	-	65.73		1.25		0.24	23.70	0.57
LSD <sub>0.0</sub> 5	-	50.01		0.95		0.19	18.04	0.43
CV <sub>Ph</sub> (%)	-	77.24		51.15		52.27	30.07	52.12

LSD: least significant difference; CV<sub>Ph</sub>: Phenotypic coefficient of variation.

نشان داد (جدول ۷). در مطالعات انجام شده توسط اوزتورک و همکاران (Ozturk et al., 2005)، ایرانشهر و سپهر (Iranshahr & Sepehr, 2012) و موسوی و سپهر (Musavi & Sepehr, 2013) نیز همبستگی معنی‌دار بین کارایی فسفر و کارایی محاسبه شده فسفر گزارش شده است.

همبستگی بین شاخص‌های برآورد فسفر-کارایی بر اساس نتایج حاصل، شاخص کارایی جذب فسفر با شاخص پاسخ به کود همبستگی منفی معنی‌دار (-۰/۶۰) همچنین با شاخص‌های کارایی فسفر (۰/۷۴) و کارایی محاسبه شده فسفر (۰/۶۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری

جدول ۷- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های کارایی جذب فسفر (PACE)، پاسخ به کود (کود پذیری) (FR)، کارایی فسفر (PE) و کارایی محاسبه شده فسفر (CPE) در لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی

Table 7. Correlation coefficients among phosphorus acquisition efficiency, fertilizer response, phosphorus efficiency and calculated phosphorus efficiency in different oilseed sunflower lines

	PACE	FR	PE	CPE
PACE	1			
FR	-0.60**	1		
PE	0.74**	-0.81**	1	
CPE	0.68**	-0.39**	0.57**	1

\*\* : معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

\*\* : Significant at 1% probability level.

PACE: Phosphorus acquisition efficiency; FR: Fertilizer response; PE: Phosphorus efficiency; CPE: Calculated phosphorus efficiency.

معرفی می‌شوند. در صورت تایید کارایی لاین‌ها در جذب و مصرف فسفر، می‌توان از آن‌ها به طور بالقوه در تولید ارقام هیبرید فسفر-کارا در پروژه‌های به‌نژادی استفاده نمود. در ادامه در نظر است پروفیل مولکولی افراد با نشانگرهای مولکولی از قبیل نشانگرهای مبتنی بر رتروترانسپوزون‌ها و میکروساتلیت تهیه شود تا بتوان با تلفیق داده‌های مربوط به شاخص‌های فسفر-کارایی و نشانگرهای مولکولی، نشانگرهای پیوسته با ژن‌های کنترل‌کننده شاخص‌ها را شناسایی نمود که زمینه را برای گزینش به کمک نشانگر در پروژه‌های به‌نژادی هموار می‌نماید.

### نتیجه‌گیری کلی

مهم‌ترین دلیل برای مصرف کود فسفر توسط کشاورزان، حصول عملکرد بالاتر و افزایش سود بیشتر می‌باشد (Anonymous, 1999). بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، مشاهده شد که بین لاین‌های مختلف آفتابگردان روغنی از لحاظ جذب و مصرف فسفر تفاوت‌های فاحشی وجود دارد. بر اساس این تحقیق و شاخص‌های اندازه‌گیری شده، لاین‌های ۱، ۷۳، ۲، ۸، ۳۴، ۴۶، ۴۷، ۷۰ و ۸۹ به عنوان لاین‌های فسفر-کارا و لاین‌های ۴۵، ۵۶، ۹۵، ۱۱، ۱۲، ۲۷، ۵۲، ۷۱، ۷۳، ۷۸ و ۹۴ لاین‌های فسفر-ناکارا

### References

- 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.
- Ali Ehyaei M, Behbehani Zadeh AA. 1993. Methods of Soil Chemical Analysis. Technical Publication No. 893. Soil and Water Research Institute of Agricultural Extension and Education, Tehran. Iran. (In Persian)
- Anonymous. 1999. Yield and economic responses to phosphorus. *Better Crops*, 83(1): 3- 40.
- Bagherzadeh K. 1998. Effect of NPK on the phenolic thyme essential oil content and composition at the flowering stage. MSc. Thesis in Plant Science, University of Isfahan. (In Persian)
- Balemi T. 2009. Effect of phosphorus nutrition on growth of potato genotypes with contrasting phosphorus efficiency. *African Crop Science Journal*, 17(4): 199 – 212.
- Batten G.D. 1992. A review of phosphorus efficiency in wheat. *Plant and soil*, 146(1-2): 163-168.
- Gahoonia T.S. and Nielsen N.E. 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat and barley genotypes. *Plant and Soil*, 178(2): 223-230.

- Grotz N. and Guerinot M.L. 2002. Limiting nutrients: an old problem with new solutions? *Current Opinion in Plant Biology*, 5: 158-163.
- Gunes A., Inal A., Alpaslan M. and Cakmak I. 2006. Genotypic variation in phosphorus efficiency between Wheat cultivars grown under greenhouse and field conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52: 470- 478.
- Hajiboland R., Radpour E. and Pasbani B. 2014. Influence of phosphorus deficiency on drought stress tolerance in two tomatoes (*Solanum lycopersum* L.) cultivars. *Journal of Plant Research*, 27(5): 788-803. (In Persian)
- Heuer S., Gaxiola R., Schilling R., Herrera-Estrella L., Lopez-Arredondo D., Wissuwa M., Delhaize E. and Rouached H. 2017. Improving phosphorus use efficiency: a complex trait with emerging opportunities. *The Plant Journal*, 90: 868-885.
- Hawkesford M., Horst W., Kichey T., Lambers H., Schjoerring J., Møller I.S. and White P. 2012. Functions of macronutrients. In: *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Marschner P. (Ed.). Third edition, Elsevier, pp. 135-189.
- Iranshahr, E. and Sepehr, E. 2012. Evaluation of Phosphorus Acquisition and Utilization Efficiency of Wheat Genotypes in Rock Phosphate. *Journal of Water and Soil*, 26(4): 968-978. (In Persian)
- Kazemi F. 2002. Effects of water stress and nitrogen on the growth of mineral elements content in plant tissue and cumin oil. MSc.Thesis in Plant Sciences, University of Tabriz. (In Persian)
- Liao M.T., Hocking P.J., Dong B., Delhaize E. and Ryan P.R. 2005. Screening for genotypic variation in phosphorus uptake efficiency in cereals on Australian soils. *Plant Nutrition for Food Security, Human Health and Environmental Protection*, Li (Ed.). Tsinghua University Press: Beijing, China. Pp. 114-115.
- Lipp A.G. and Goodall D.W. 1958. Nutrient interactions and deficiency diagnosis in the lettuce iv. phosphorus content and response to phosphorus. *Australian Journal of Biological Sciences*, 11(1): 30-44.
- López-Valdez F., Fernández-Luqueño F., Luna-Suárez S. and Dendooven L. 2011. Greenhouse gas emissions and plant characteristics from soil cultivated with sunflower (*Helianthus annuus* L.) and amended with organic or inorganic fertilizers. *Science of the Total Environment*, 412-413: 257–264.
- Lynch J.P. 2011. Root phenes for enhanced soil exploration and phosphorus acquisition: tools for future crops. *Plant Physiology*, 156(3): 1041-1049.
- Maharajan T, Ceasar S.A., Krishana T.P. A., Ramakrishnan M., Duraipandiyam V., Abdulla A.D.N. and Ignacimuthu S. 2018. Utilization of molecular markers for improving the phosphorus efficiency in crop plants. *Plant Breeding*, 137: 10-26.
- Mardani Nejad Sh., Khaldbrin B., Sadat Y.A., Morad Shahi A. and Vazir Pur M. 2001. Effect of ammonium nitrate on the shoots and essential oil in lavender. The National Herb Conference, 57-59. (In Persian)
- Marschener H. 1998. Role of root growth, arbuscular mycorrhiza, and root exudates for the efficiency in nutrient acquisition. *Field Crops Research*, 56(1-2): 203-207.
- Mikanova O. and Novakova J. 2002. Evaluation of the P-solubilizing activity of soil microorganisms and its sensitivity to soluble phosphate. *Rostlinná Výroba*, 48: 397-400.
- Musavi R. and Sepehr E. 2013. Phosphorus efficiency of some barley genotypes in the presence of phosphate-solubilizing microorganisms. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(4): 27-40
- Osborne L.D. and Rengel Z. 2002a. Genotypic differences in wheat for uptake and utilization of P from iron phosphate. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(7): 837-844.
- Osborne L.D. and Rengel Z. 2002b. Screening cereals for genotypic variation in efficiency of phosphorus uptake and utilization. *Australian Journal of Agricultural Research*, 53(3): 295-303.
- 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.
- Plaxton W.C. and Tran H.T. 2011. Metabolic adaptations of phosphate-starved plants. *Plant Physiology*, 156(3): 1006-1015.
- Rahimi-Moghaddam S., Najafi Noori F. and Eyni Nargeseh H. 2019. The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on morphophysiological characteristics of Maize (*Zea mays* L.) in different levels of phosphate fertilizer. *Applied Soil Research*, 7(1): 122-131.

- Rasouli Sadaghiani M.H., Vahedi R., Mashayekhi M., Barin M. 2020. Distribution of phosphorus forms in calcareous soils incubated with phosphate solubilizing fungi. *Applied Soil Research*, 8(2):70-81.
- Schachtman D.P., Reid R.J. and Ayling S.M. 1998. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant Physiology*, 116: 447-453.
- Scott D.P.J.B., Charlos A.Mc. and Curtis J.R. 1995. Nutrient-use efficiency: a litterfall index, a model, and a test along a nutrient-availability gradient in North Carolina peatlands. University of Chicago Press.
- Sepehr E., Malakouti M.J., Kholdebarin 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.
- Shahbazi K. and Besharati H. 2013. Overview of agricultural soils fertility status. *Journal Management System*, 1(1): 1-15.
- Shoghi-Kalkhoran S., Ghalavand A., Modarres-Sanavy S.A.M., Mokhtassi-Bidgoli A. and Akbari P. (2013). Integrated fertilization systems enhance quality and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15:1343-1352.
- 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: 306-320.
- Wang W., Ding G.D., Philip John White P.J., Wang X.H., Jin K.M., Xu F.S. and Shi L. 2019. Mapping and cloning of quantitative trait loci for phosphorus efficiency in crops: opportunities and challenges. *Plant Soil*, 439: 91-112.
- Westerman R.L. 1990. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd edition. American Society of Agronomy and Soil Science of America, Madison, Wisconsin.
- Williams L.E. 2000. Fertilizer use efficiency and influence of rootstock on uptake and accumulation of nutrients in Winegrapes grown in the coastal valleys of California. Proc. Fert. Res. Educ. Prog. Conf., 8th, Tulare. 14 Nov 2000. Calif. Dept. Food Agric. Fert. Res. Educ. Prog., Sacramento.
- White P.J., Broadley M.R. and Gregory P.J. 2012. Managing the nutrition of plants and people. *Applied and Environmental Soil Science*, 2012: 104826.
- Yu X., Liu X., Zhu T.H., Liu G.H. and Mao C. 2012. Co-inoculation with phosphate-solubilizing and nitrogen-fixing bacteria on solubilization of rock phosphate and their effect on growth promotion and nutrient uptake by walnut. *European Journal of Soil Biology*, 50: 112-117.
- Zeinali H., Bagheri Kholanjani M. , Golparvar M.R., Jafarpour M. and Shirani Rad A. H. 2008. Effect of different planting time and nitrogen fertilizer rate on flower yield and its components in German Chamomille (*Matricaria recutita*). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 10(3): 220-230. (In Persian)

## Evaluation of the Efficiency of Oily Sunflower Inbred Lines (*Helianthus annuus* L.) in terms of Adsorption and Consumption of Phosphorus in Soil

Maryam Rasoulzadeh Aghdam<sup>1</sup>, Reza Darvishzadeh<sup>2,3</sup>, Ebrahim Sepehr<sup>4</sup>, Hadi Alipour<sup>5</sup>

(Received: July 2019      Accepted: December 2019)

### Abstract

Phosphorus after nitrogen is the most important and essential nutrient for plants, and plays a major role in the process of energy production and transfer. In an experiment, adsorption efficiency and consumption of phosphorus in 100 oily sunflower inbred lines which collected from different parts of the world were evaluated based on a completely randomized design with three replications in potted conditions under both optimum and phosphorus deficiency states. The results of analysis of variance revealed that there is a significant difference among lines in terms of aerial part dried weight, total phosphorus content and concentration, fertilizer response, phosphorus acquisition efficiency, phosphorus utilization efficiency and calculated phosphorus efficiency. The average of fertilizer response for sunflower lines was 47.35. Totally, the index varied from 4.7 to 226.7 grams. The phosphorus acquisition efficiency index ranged from 0.08 to 0.79 with an average of 0.38. The average of phosphorus utilization efficiency in optimal conditions was 2.67 and in the case of phosphorus deficit conditions it was 1.35. The index varied from 1.11 to 6.11 grams' dry matter per milligram of phosphorus. The phosphorus efficiency index varied from 32.38 to 90.22%. Based on calculated indices, the sunflower lines including 1, 73, 2, 8, 34, 46, 47, 70 and 89 are introduced as phosphorus efficient genotypes and lines including 45, 56, 95, 11, 12, 27, 52, 71, 73, 78 and 94 introduced as phosphorus non-efficient genotypes. Phosphorous efficient lines can be potentially used in the production of phosphorus efficient sunflower hybrids in the breeding programs.

**Keywords:** Abiotic stress, phosphorus deficit, phosphorus efficient genotypes, sunflower

Rasoulzadeh Aghdam M., Darvishzadeh R., Sepehr E. and Alipour H. 2021. Evaluation of the efficiency of oily sunflower inbred lines (*Helianthus annuus* L.) in terms of adsorption and consumption of phosphorus in soil. *Applied Soil Research*, 8(4): 143-157

1. Graduated MSc, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University

2. Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University

3. Professor, Department of Agricultural Biotechnology, Institute of Biotechnology, Urmia University

4. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University

5. Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University

\* Email: [R.darvishzadeh@urmia.ac.ir](mailto:R.darvishzadeh@urmia.ac.ir)