

Combining Ability and Heterosis for Some Agro-Morphological Traits in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Using Line × Tester Mating Design

Mina Moghaddaszadeh¹, Rasool Asghari Zakaria^{2*}, Davoud Hassanpanah³ and Nasser Zare⁴

- 1- Ph.D. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
- 2- ***Corresponding Author:** Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran (r-asghari@uma.ac.ir)
- 3- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran
- 4- Associate Professor, Department of Crop production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 4 September, 2017

Accepted: 23 May, 2018

Abstract

Background and Objectives

The nature and magnitude of gene action is an important factor in developing an effective breeding program. Combining ability analysis is useful in assessing the potential inbred lines and helps in identifying the nature of gene action involved in various quantitative characteristics. This information is helpful to plant breeders for formulating hybrid breeding programs. Therefore, the objectives of the present research were to determine combining ability, heritability and heterosis of tuber yield and some agronomic traits in potato using line × tester mating design.

Materials and Methods

In order to determine combining ability, heritability and heterosis of tuber yield and some agronomic traits in potato, three lines were crossed with two testers. Parents and their F1 progenies were arranged in randomized complete block design with three replications using line × tester (3 × 2) mating design.

Results

Analysis of variance showed significant differences among genotypes for all traits; thus line × tester analysis was performed. Among the lines, line L1 (Caeser) had significant positive GCA for tuber yield, tuber weight per plant, tuber number per plant, main stem number and plant height. Among the testers, tester T1 (Luca) showed significant positive GCA for tuber yield, tuber weight per plant, tuber number per plant and tuber dry matter. Among the hybrids, the hybrids (Satina × Luca) (T1 × L3) and (Caeser × Savalan) (T2 × L1) showed significant positive SCA effects for tuber yield, tuber weight per plant and tuber number per plant. The SCA variance was higher in magnitude than the GCA variance for all the characteristics and baker coefficient indicated the predominance of non-additive type of gene action for the expression of these characteristics. High general heritability and relatively low specific heritability were observed for all traits. Hybrid (Satina × Luca) had the highest heterosis for tuber yield.



Discussion

The importance of additive and non-additive genetic effects is well established in controlling many traits in potato. It was shown that the dominance effects of the genes played a major role in the variation of tuber yield in potato. Based on the results of the current study the SCA variance was higher in magnitude than the GCA variance for all the characteristics and baker coefficient indicated the predominance of non-additive type of gene action for the expression of these characteristics. Heterosis and combining ability is prerequisite for developing a good hybrid variety of potato. According to this research, the (Satina \times Luca) cross had the highest heterosis for tuber yield and was recommended as the most promising combination for developing high yielding hybrid potato genotypes.

Keywords: Combining ability, GCA, Heritability, Heterosis, Line \times tester, Potato (*Solanum tuberosum* L.), SCA

برآورد ترکیب پذیری و هتروزیس برای صفات آگرومورفولوژیک سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با استفاده از تجزیه لاین × تستر

مینا مقدس زاده^۱، رسول اصغری زکریا^{۲*}، داود حسن پناه^۳ و ناصر زارع^۴

- ۱- دانشجوی دکتری ژنتیک و به نژادی گیاهی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۲- نویسنده مسئول: استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 (r-asghari@uma.ac.ir)
 ۳- استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
 ۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

چکیده

به منظور مطالعه ترکیب پذیری و هتروزیس عملکرد غده و تعدادی از صفات زراعی در سیب زمینی، شش هیبرید حاصل از تلاقی سه لاین با دو تستر به همراه والدین به روش لاین × تستر (۲ × ۳) و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل مورد ارزیابی قرار گرفتند. اختلاف معنی دار بین ژنوتیپ ها از لحاظ کلیه صفات مورد مطالعه امکان تجزیه و تحلیل ژنتیکی بر مبنای روش لاین × تستر میسر کرد. بر اساس نتایج ترکیب پذیری عمومی لاین ها و تسترها، لاین L1 (Caeser) دارای ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای عملکرد غده، وزن و تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی و ارتفاع بوته بود. همچنین تستر T1 (Luca) دارای ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای عملکرد غده، وزن و تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده بود. بنابراین، از این لاین و تستر می توان به عنوان والدین در برنامه های اصلاحی بهره گرفت. هیبریدهای (T1 × L3) (Satina × Luca) و (T2 × L1) (Caeser × Savalan) از نظر صفات عملکرد غده، وزن و تعداد غده در بوته دارای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار بودند. نسبت واریانس ترکیب پذیری عمومی به واریانس ترکیب پذیری خصوصی و ضریب بیکر برای تمام صفات مورد مطالعه کمتر از یک بود که این امر حاکی از نقش مؤثرتر اثر غیرافزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی صفات مورد بررسی دارد. وراثت پذیری عمومی بالا و وراثت پذیری خصوصی نسبتاً پایین برای صفات مختلف مشاهده شد. بیشترین میزان هتروزیس برای صفت عملکرد غده متعلق به هیبرید (T1 × L3) (Satina × Luca) بود.

کلیدواژه ها: تجزیه ژنتیکی، سیب زمینی، قابلیت ترکیب عمومی و خصوصی، وراثت پذیری، هتروزیس

مقدمه

غذایی بعد از گندم، برنج و ذرت محسوب می شود (Tofang Sazpoor et al., 2015). بر اساس آمار فائو در سال ۲۰۱۴ کشورهای چین، هندوستان و روسیه رتبه های اول تا سوم تولید سیب زمینی در دنیا را به خود اختصاص

سیب زمینی با نام علمی (*Solanum tuberosum* L.) متعلق به خانواده سولاناسه (Solanaceae)، گیاهی اتوتتراپلوئید (۲n=4x=48) است که چهارمین محصول

داده‌اند. ایران با تولید ۴/۷۴ میلیون تن، رده سیزدهم رتبه‌بندی را طی همین سال به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2015). برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های به‌نژادی در جهت بهبود عملکرد گیاهی، مستلزم آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی، روابط بین صفات، میزان اثر و عمل ژن‌ها روی تظاهر صفات و همچنین میزان وراثت پذیری صفات است. انتخاب روش اصلاحی مناسب برای بهره‌برداری از ظرفیت ژنتیکی یک گیاه بستگی به نوع عمل ژن‌های کنترل‌کننده یک صفت و نحوه توارث آن‌ها دارد (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018). برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی به اصلاح‌گران کمک می‌کند تا در مورد برنامه‌های اصلاحی و راهبردهای گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم‌گیری نمایند (De la Vega and Chapman, 2006). ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی (General and Specific Combining ability) از طریق تلاقی‌های دی‌الل (Diallelic mating) (طرح‌های فاکتوریل) و تلاقی‌های تاپ‌کراس و تلاقی‌های لاین \times تستر (Line \times Tester Analysis) که در حقیقت نوعی از تلاقی تاپ‌کراس (Topcross) محسوب می‌شوند، قابل برآورد می‌باشند. تعدادی از محققین از این تلاقی‌ها جهت برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی استفاده کرده‌اند.

Mondal and Hossain (2006) ترکیب‌پذیری ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی را از طریق تلاقی لاین \times تستر (۷ \times ۳) برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفات روز تا جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، محتوای ماده خشک غده و میزان کاهش وزن غده در اثر تنفس مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان واریانس SCA نسبت به واریانس GCA برای همه صفات مورد بررسی بیشتر بود که نشان‌دهنده نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل صفات مذکور است. (Manivel et al. 2010). ترکیب‌پذیری و میزان هتروزیس را در ۱۴ والد

سیب‌زمینی به همراه ۴۰ نتاج از طریق تلاقی فاکتوریل (۱۰ \times ۴) طی دو نسل کلونی بررسی کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که SCA هیبریدها با GCA والدین مرتبط است. به طوری که، به کارگیری حداقل یک والد با GCA مطلوب موجب ایجاد نتاجی با میزان هتروزیس بالا برای صفات مختلف خواهد شد. (Haydar et al. 2009a). ترکیب‌پذیری و تنوع ژنتیکی ۱۷ ژنوتیپ سیب‌زمینی (۷ والد و ۱۰ هیبرید حاصله) را مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه میزان واریانس SCA برای همه صفات مورد مطالعه بیشتر از واریانس GCA بود که این امر نشان می‌دهد که صفات مورد مطالعه در این بررسی بیشتر تحت تأثیر اثرات غیرافزایشی ژن‌ها می‌باشند. (Ruiz de Galarreta et al. 2006). ترکیب‌پذیری ۱۴ رقم سیب‌زمینی حاصل از تلاقی دی‌الل ناقص را از نظر صفات عملکرد، تعداد غده و میانگین وزن غده در بوته طی دو نسل کلونی مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که تقریباً در همه صفات مورد مطالعه اهمیت SCA بیشتر از GCA است. (Gopal 1998). با بررسی ترکیب‌پذیری ۲۲ والد سیب‌زمینی همراه با ۷۲ نتاج حاصل از تلاقی آن‌ها در یک طرح فاکتوریل (۱۸ \times ۴) طی سه نسل به این نتیجه رسیدند که برای بسیاری از صفات مورد مطالعه و در همه نسل‌های مورد بررسی میزان واریانس SCA بیشتر از واریانس GCA است.

Sattar et al. (2007) با مطالعه روی ۲۸ ژنوتیپ سیب‌زمینی، وراثت‌پذیری بالا همراه با بازده ژنتیکی بالا برای صفات تعداد غده در بوته، عملکرد غده در بوته و میانگین وزن غده مشاهده کردند. (Haydar et al. 2009b) با بررسی تنوع ژنتیکی ۳۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی، ضریب تنوع، وراثت‌پذیری و بازده ژنتیکی بالایی برای صفات تعداد برگ در بوته، وزن تر بوته و عملکرد غده در بوته به دست

داده‌اند. ایران با تولید ۴/۷۴ میلیون تن، رده سیزدهم رتبه‌بندی را طی همین سال به خود اختصاص داده است (FAOSTAT, 2015). برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های به‌نژادی در جهت بهبود عملکرد گیاهی، مستلزم آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی، روابط بین صفات، میزان اثر و عمل ژن‌ها روی تظاهر صفات و همچنین میزان وراثت‌پذیری صفات است. انتخاب روش اصلاحی مناسب برای بهره‌برداری از ظرفیت ژنتیکی یک گیاه بستگی به نوع عمل ژن‌های کنترل‌کننده یک صفت و نحوه توارث آن‌ها دارد (Gholinezhad and Darvishzadeh, 2018). برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی به اصلاح‌گران کمک می‌کند تا در مورد برنامه‌های اصلاحی و راهبردهای گزینش ژنوتیپ‌ها تصمیم‌گیری نمایند (De la Vega and Chapman, 2006). ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی (General and Specific Combining ability) از طریق تلاقی‌های دی‌الل (Diallelic mating) (طرح‌های فاکتوریل) و تلاقی‌های تاپ‌کراس و تلاقی‌های لاین \times تستر (Line \times Tester Analysis) که در حقیقت نوعی از تلاقی تاپ‌کراس (Topcross) محسوب می‌شوند، قابل برآورد می‌باشند. تعدادی از محققین از این تلاقی‌ها جهت برآورد ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی استفاده کرده‌اند.

Mondal and Hossain (2006) ترکیب‌پذیری ۱۰ ژنوتیپ سیب‌زمینی را از طریق تلاقی لاین \times تستر (۷ \times ۳) برای صفات عملکرد و اجزای عملکرد و صفات روز تا جوانه‌زنی، ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، محتوای ماده خشک غده و میزان کاهش وزن غده در اثر تنفس مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، میزان واریانس SCA نسبت به واریانس GCA برای همه صفات مورد بررسی بیشتر بود که نشان‌دهنده نقش بیشتر اثرات غیرافزایشی در کنترل صفات مذکور است. (Manivel et al. 2010). ترکیب‌پذیری و میزان هتروزیس را در ۱۴ والد

و کود فسفات آمونیوم ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) مصرف گردید. به منظور مقابله با سوسک کلرادو از سم کنفیدور (۲۵۰ میلی لیتر در هکتار) استفاده گردید. صفات مورد ارزیابی شامل عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، ارتفاع بوته و درصد ماده خشک غده بودند.

اثرات ترکیب پذیری عمومی والدین و خصوصی هیبریدها با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید (Singh and Chaudhary, 2007):

$$gca_{line} = g_i = \frac{X_i}{tr} - \frac{X}{ltr}$$

$$gca_{tester} = g_j = \frac{X_j}{lr} - \frac{X}{ltr}$$

$$sca_{ij} = s_{ij} = \frac{X_{ij}}{r} - \frac{X_i}{tr} - \frac{X_j}{lr} + \frac{X}{ltr}$$

در روابط فوق:

gca_{line} : اثرات ترکیب پذیری عمومی لاین

gca_{tester} : اثرات ترکیب پذیری عمومی تستر

sca_{ij} : اثرات ترکیب پذیری خصوصی هیبرید

X_{ij} : مجموع ارزش حاصل از تلاقی لاین i ام با تستر j ام

X_i : مجموع ارزش هیبریدهای مربوط به لاین i ام

X_j : مجموع ارزش های تستر j ام

X : مجموع کل

جهت آزمون معنی داری اثرات ترکیب پذیری عمومی والدین و خصوصی هیبریدها مقادیر خطای استاندارد (SE) از روابط زیر استفاده گردید (Singh and Chaudhary, 2007):

$$SE(gca)_{line} = SE(g_i) = \sqrt{\frac{MSe}{rt}}$$

$$SE(gca)_{tester} = SE(g_j) = \sqrt{\frac{MSe}{rl}}$$

$$SE(sca) = SE(s_{ij}) = \sqrt{\frac{MSe}{r}}$$

$$SE(g_i - g_j)_{line} = \sqrt{\frac{2MSe}{rt}}$$

آوردند. Barik (2007) وراثت پذیری بالا برای شاخص برداشت، وزن تر ساقه در بوته، عملکرد غده در بوته، وزن خشک غده در بوته، تعداد برگ در بوته، وزن تر غده در بوته، عملکرد کل در کرت، ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه در بوته مشاهده کرد. برای صفت عملکرد غده کل نیز وراثت پذیری و بازده ژنتیکی بالایی مشاهده شد.

با توجه به این که در ایران گزارش های کمی مبنی بر استفاده از روش لاین \times تستر جهت بررسی نحوه کنترل ژنتیکی صفات مختلف زراعی و نیز استفاده از نتایج حاصل جهت گزینش والدین و هیبریدهای برتر در برنامه های اصلاحی مربوط به سیب زمینی وجود دارد، لذا مطالعه حاضر به منظور برآورد ترکیب پذیری عمومی و خصوصی برای والدین و هیبریدهای حاصل از تلاقی آنها، تعیین چگونگی اثر ژن ها در کنترل ژنتیکی صفات مهم زراعی در سیب زمینی انجام شد.

مواد و روش ها

به منظور مطالعه نحوه کنترل ژنتیکی و تعیین عمل ژن در توارث عملکرد غده و برخی صفات در سیب زمینی سه لاین بنام های Satina، Caeser و Buren با دو تستر بنام های Luca و Savalan در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل در سال ۱۳۹۲ تلاقی داده شد. این ارقام جزو ارقام زیرکشت در منطقه هستند. والدین به همراه هیبریدهای حاصل طی سال ۱۳۹۳ در همین ایستگاه کشت و به روش لاین \times تستر مورد تجزیه و ارزیابی قرار گرفتند. آزمایش در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار پیاده گردید. هر کرت آزمایشی شامل سه ردیف ۶ متری با فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی متری و فواصل بین بوته ۲۵ سانتی متری بود. مقادیر مورد نیاز فسفر، نیتروژن و پتاسیم بر اساس آزمون خاک از منابع کودی مربوطه (کود اوره ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار

h^2_N : وراثت پذیری خصوصی

σ_p : انحراف معیار فنوتیپی

نسبت واریانس ترکیب پذیری عمومی به واریانس

ترکیب پذیری خصوصی و ضریب بیکر (Baker, 1978)

از روابط زیر به دست آمد:

$$\frac{\sigma_{gca}^2}{\sigma_{sca}^2} = \frac{2\sigma_{gca}^2}{(2\sigma_{gca}^2 + \sigma_{sca}^2)}$$

جهت برآورد درصد هتروزیس والد برتر

(هتروبلتیوسیس (Heterobeltiosis) (BPH) و هتروزیس

نسبت به میانگین والدین (هتروزیس نسبی) (MPH)

هیبریدها و آزمون معنی داری آن‌ها از روابط زیر

استفاده گردید:

$$MPH = \left(\frac{\bar{F}_1 - MP}{MP} \right) \times 100$$

$$BPH = \left(\frac{\bar{F}_1 - BP}{BP} \right) \times 100$$

\bar{F}_1 : میانگین هیبرید

MP: میانگین والدین

BP: میانگین والد برتر

جهت تجزیه و تحلیل های آماری از نرم افزارهای

SAS و Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول

۱)، بین ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات مورد بررسی

اختلاف معنی داری وجود داشت ($p < 0.01$). معنی دار

بودن اختلاف بین ژنوتیپ‌ها از نظر همه این صفات

در سطوح احتمال یک درصد حاکی از وجود تنوع

ژنتیکی بین ژنوتیپ‌ها بود. تفکیک تنوع بین ژنوتیپ‌ها

به اثر والدین، هیبریدها و والدین در مقابل هیبریدها

نشان داد که بین والدین از نظر صفات تعداد ساقه

اصلی در بوته و ارتفاع بوته اختلاف معنی دار وجود

دارد ($p < 0.01$).

$$SE (g_i - g_j) \text{ tester} = \sqrt{\frac{2MSe}{r}}$$

$$SE (s_{ij} - s_{kl}) = \sqrt{\frac{2MSe}{r}}$$

واریانس های ترکیب پذیری عمومی (σ_{gca}^2)

و خصوصی (σ_{sca}^2) و واریانس های افزایشی (σ_A^2)

و غالبیت (σ_D^2) با فرض ثابت بودن لاین‌ها و

تسترها و ($F=0$) از طریق روابط زیر محاسبه گردید

(Singh and Chaudhary, 2007):

$$\sigma_{gca}^2 = COV_{HS} = \frac{(MS \text{ pooled} - Mse)}{r \left(\frac{1+t}{2} \right)} = \left(\frac{1+F}{4} \right) \sigma_A^2 + \left(\frac{1+F}{36} \right) \sigma_D^2$$

$$\sigma_{sca}^2 = \frac{MS_{St} - MSe}{r} = \left(\frac{1+F}{2} \right)^2 \sigma_D^2$$

$$MS \text{ pooled} = \frac{SS_1 + SS_t}{df_1 + df_t}$$

$$\sigma_D^2, (F = 0) = 4\sigma_{sca}^2$$

$$\sigma_A^2, (F = 0) = 4 \left(\sigma_{gca}^2 - \frac{1}{36} \sigma_D^2 \right)$$

در رابطه فوق SS_1 و SS_t به ترتیب برابر با مجموع

مربعات لاین و تستر و df_1 و df_t به ترتیب برابر با

درجه آزادی لاین و تستر می باشند.

وراثت پذیری عمومی (h^2_B) و خصوصی (h^2_N) در واحد

میانگین تیمار، بازده ژنتیکی (Genetic advance (GA)

(Comstock and Robinson, 1952) و درصد بازده

ژنتیکی از میانگین و نیز درجه غالبیت متوسط (\bar{a}) از

طریق روابط زیر محاسبه شد:

$$h^2_N = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_G^2 + \frac{\sigma_E^2}{r}} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_E^2}{r}}$$

$$h^2_B = \frac{\sigma_B^2}{\sigma_G^2 + \frac{\sigma_E^2}{r}} = \frac{\sigma_A^2 + \sigma_D^2}{\sigma_A^2 + \sigma_D^2 + \frac{\sigma_E^2}{r}}$$

$$\bar{a} = \sqrt{\frac{2 \sigma_D^2}{\sigma_A^2}}$$

$$GA = k \cdot h^2_N \cdot \sigma_p$$

k: دیفرانسیل گزینش (در شدت گزینش ۵ درصد

k معادل ۲/۰۶ است)

اثر متقابل لاین×تستر، بین لاین‌ها از نظر صفات تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته، عملکرد غده و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌داری ($p<0.01$) مشاهده شد (جدول ۱). بین تسترها از نظر صفات عملکرد غده و تعداد غده در بوته، وزن غده در بوته و درصد ماده خشک غده اختلاف معنی‌داری ($p<0.01$) مشاهده شد. اثر متقابل لاین×تستر برای صفات وزن غده در بوته، عملکرد غده، تعداد ساقه اصلی در بوته ($p<0.01$) و برای تعداد غده در بوته ($p<0.05$) اختلاف معنی‌دار شد. وجود چنین اختلاف معنی‌داری می‌تواند حاکی از واکنش متفاوت لاین‌ها در ترکیب با تسترهای مختلف و بیانگر نقش اثرات ژنی غیرافزایشی در کنترل صفات مزبور باشد (جدول ۱).

بین هیبریدها از نظر صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار ($p<0.01$) و برای صفات تعداد ساقه اصلی در بوته و درصد ماده خشک غده اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) مشاهده شد. وجود چنین اختلاف معنی‌داری نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی بین تلاقی‌ها از نظر صفات مربوطه است (جدول ۱). اثر والدین در مقابل هیبریدها برای کلیه صفات مورد مطالعه معنی‌دار شد ($p<0.01$) که این امر نشان‌دهنده وجود تنوع ژنتیکی کافی بین ارقام والدینی و هیبریدهای آن‌ها از نظر همه صفات مورد بررسی است (جدول ۱). همچنین در تجزیه اثر هیبریدها به اجزای خود یعنی لاین‌ها، تسترها و

جدول ۱- تجزیه واریانس صفات مختلف در سیب‌زمینی بر اساس تلاقی لاین × تستر

Table 1. Analysis of variance for different characteristics in potato based on line × tester mating design

درصد ماده خشک غده Tuber dry matter percent	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	ارتفاع بوته Plant height	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	وزن غده در بوته Tuber weight per plant	عملکرد غده Tuber yield	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V
0.18	0.58	23.07	1.53	18525.14	21.07	2	تکرار Replication
3.88**	3.66**	175.52**	44.05**	168670.15**	564.82**	10	ژنوتیپ‌ها Genotypes
1.79	1.07**	202.60**	5.69	11209.93	43.21	4	والدین Parents
4.22*	3.10*	153.00**	48.81**	275440.41**	797.68**	5	هیبریدها Hybrids
10.61**	16.82**	179.81**	173.68**	264659.74**	1486.94**	1	والدین vs هیبریدها Parents vs hybrids
0.73	3.68**	283.92**	70.50**	166693.46**	504.65**	2	لاین Line
13.51**	1.06**	0.11	46.27**	493945.11**	1459.62**	1	تستر Tester
3.06	3.54**	98.53	28.39*	274935.01**	759.74**	2	لاین × تستر Line × Tester
1.06	0.21	15.96	3.21	17153.27	19.59	20	خطا Error

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

*، ** Significant at $p\leq 0.05$ and 0.01 , respectively.

Haydar *et al.*, 2009a; Ortiz and Golmirzaie, 2004; (Ruiz de Galarreta *et al.*, 2006

با توجه به این که در کلیه صفات مورد مطالعه وراثت پذیری خصوصی نسبتاً پایین و وراثت پذیری عمومی بالایی مشاهده شد این امر نیز می تواند نقش مؤثرتر اثرات غیرافزایشی در کنترل صفات مذکور را مورد تأکید قرار دهد (جدول ۳). تعدادی از محققین وراثت پذیری عمومی بالایی را برای عملکرد غده در سیب زمینی گزارش کرده اند (Barik, 2007; Haydar *et al.*, 2009b; Sattar *et al.*, 2007; Ummiyah *et al.*, 2010). درجه غالبیت متوسط برای تمام صفات بیشتر از یک برآورد شد (جدول ۳) که این امر می تواند حاکی از اثر فوق غالبیت و اهمیت بیشتر اثر غیرافزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی این صفات باشد. آگاهی از وراثت پذیری و بازده ژنتیکی در برنامه های اصلاحی بسیار مفید است. وجود وراثت پذیری و بازده ژنتیکی بالا در برنامه های گزینشی بسیار ارزشمند است (Mishra *et al.*, 2006). با توجه به ساختار ژنتیکی ارقام سیب زمینی، آن ها می توانند دارای واریانس ژنتیکی از نوع افزایشی، غالبیت و حتی ایستاتیک باشند. به همین دلیل برآورد وراثت پذیری با استفاده از روش اجزاء واریانس ممکن است در سیب زمینی بسیار قابل اعتمادتر باشد (Yildirim and Ozturk 2014).

بررسی سهم نسبی لاین ها، تسترها و اثر متقابل لاین × تستر نشان داد که سهم لاین × تستر برای صفات وزن غده در بوته و عملکرد غده بیشتر از سهم لاین ها و سهم تسترها است که این امر نشانگر نقش مؤثرتر اثرات ژنی غیرافزایشی در کنترل صفات مذکور دارد. همچنین برای صفات تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته، ارتفاع بوته سهم لاین ها از واریانس کل در رتبه اول و سهم لاین × تستر در رتبه دوم قرار داشت و برای صفت درصد ماده خشک غده سهم تسترها از واریانس کل در رتبه اول و سهم لاین × تستر در رتبه دوم قرار داشت (جدول ۲).

اجزای واریانس ژنتیکی

برآورد اجزای واریانس ژنتیکی روی صفات مورد بررسی در جدول (۳) نشان داده شده است. برآورد کمتر از یک برای نسبت واریانس ترکیب پذیری عمومی به واریانس ترکیب پذیری خصوصی و ضریب بیکر برای تمام صفات مورد مطالعه حاکی از نقش مؤثر اثر غیرافزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی آن ها است. در تحقیقات انجام شده توسط سایر محققین نیز به نقش بیشتر SCA نسبت به GCA اشاره شده است که این امر حاکی از نقش بیشتر اثرات ژنی غیرافزایشی در رابطه با عملکرد غده در سیب زمینی است (Bradshaw and Mackay, 1994; Gopal *et al.*, 2008;)

جدول ۲- سهم نسبی لاین ها، تسترها و لاین × تستر از واریانس کل به درصد

Table 2. Proportional contribution of lines, testers and line×tester of total variance in percent

درصد ماده خشک غده	تعداد ساقه اصلی در بوته	ارتفاع بوته	تعداد غده در بوته	وزن غده در بوته	عملکرد غده	سهم نسبی از واریانس کل
Tuber dry matter	Main stem number	Plant height	Tuber number per plant	Tuber weight per plant	Tuber yield	Proportional contribution to total variance
6.94	47.47	74.23	57.78	24.21	25.31	سهم لاین ها Contribution of lines
64.08	6.85	0.01	18.96	35.87	36.59	سهم تسترها Contribution of testers
28.98	45.68	25.76	23.26	39.92	38.10	سهم لاین × تستر Contribution of line × tester

جدول ۳- برآورد اجزای ژنتیکی صفات مختلف در سیب زمینی

Table 3. Estimates of variance components for different characteristics in potato

درصد ماده خشک غده	تعداد ساقه اصلی در بوته	ارتفاع بوته	تعداد غده در بوته	وزن غده در بوته	عملکرد غده	برآوردها
Tuber dry matter	Main stem number	Plant height	Tuber number per plant	Tuber weight per plant	Tuber yield	Estimates
1.80	0.88	80.22	27.85	99742.95	318.82	واریانس افزایشی (σ^2_A) Additive genetic variance
2.67	4.40	110.09	33.57	343709.00	986.87	واریانس غالبیت (σ^2_D) Dominance genetic variance
0.92	0.98	0.97	0.98	0.98	0.98	وراثت پذیری عمومی (h^2_B) Broad sense heritability
0.37	0.16	0.41	0.45	0.22	0.24	وراثت پذیری خصوصی (h^2_N) Narrow sense heritability
1.72	3.16	1.66	1.55	2.63	2.49	درجه غالبیت متوسط (\bar{a}) Average degree of dominance
0.79	0.31	0.84	0.94	0.40	0.43	$\sigma^2_{gca} / \sigma^2_{sca}$
0.61	0.38	0.63	0.65	0.45	0.46	ضریب بیکر $2\sigma^2_{gca} / (2\sigma^2_{gca} + \sigma^2_{sca})$ Baker coefficient
6.90	16.44	15.07	27.51	26.72	31.02	درصد بازده ژنتیکی Genetic advance (%)

بنابراین، از این لاین می‌توان به‌عنوان یکی از والدین برای بهبود صفات مذکور در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد.

همچنین L2 (Buren) دارای ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و ارتفاع بوته و L3 (Satina) دارای ترکیب‌پذیری منفی و معنی‌دار برای صفات تعداد غده در بوته و تعداد ساقه اصلی در بوته بود. بر اساس نتایج مطالعه حاضر، تستر T1 (Luca) دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌دار برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده و تستر T2 (Savalan) دارای ترکیب‌پذیری عمومی منفی و معنی‌دار برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده بود. بنابراین، از تستر T1 (Luca) می‌توان به‌منظور بهبود صفات مذکور به‌عنوان یکی از والدین در برنامه‌های به‌نژادی استفاده کرد.

بازده ژنتیکی مورد انتظار برای ارتفاع بوته، تعداد ساقه، درصد ماده خشک، تعداد غده در بوته و عملکرد غده به‌ترتیب ۱۵/۰۷، ۱۶/۴۲، ۶/۹، ۴۷/۵۱ و ۳۱/۰۲ درصد میانگین کل به‌دست آمد. این نتایج با یافته‌های (Yildirim and Ozturk (2014)، (Regassa and Basavaraj (2005) و (Tekalign (2009) که بازده ژنتیکی بالایی برای تعداد غده، ارتفاع بوته، عملکرد گیاه و محتوای ماده خشک گزارش کردند، همخوانی دارد. (Sattar *et al.* (2007) برای ارتفاع بوته (۲۷/۴ درصد)، تعداد غده (۴۵/۳ درصد)، وزن غده (۲۱/۱ درصد) و عملکرد گیاه (۶۲/۱۱ درصد) گزارش کردند.

ترکیب‌پذیری عمومی و خصوصی

تجزیه ترکیب‌پذیری عمومی لاین‌ها و تسترها نشان داد که لاین L1 (Caesar) دارای ترکیب‌پذیری عمومی مثبت و معنی‌داری برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و ارتفاع بوته است (جدول ۴).

جدول ۴- برآورد اثرات GCA والدین برای صفات مختلف در سیب زمینی

Table 4. Estimates of GCA effects of the parents for different characteristics in potato

درصد ماده خشک غده	تعداد ساقه اصلی در بوته	ارتفاع بوته (سانتی متر)	تعداد غده در بوته	وزن غده در بوته (گرم)	عملکرد غده (تن در هکتار)	
Tuber dry matter (%)	Main stem number	Plant height (cm)	Tuber number per plant	Tuber weight per plant (g)	Tuber yield (t/ha)	
-0.35	0.88**	5.10**	3.94**	168.06**	9.13**	(Caeser) L1
0.35	-0.25	-7.82**	-1.68*	-165.27**	-9.21**	(Buren) L2
0	-0.63**	2.72	-2.27**	-2.79	0.08	(Satina) L3
1.63	0.20	1.63	0.73	53.47	1.81	SE (gi)
2.31	0.28	2.31	1.03	75.62	2.56	SE (gi-gj)
0.87*	0.24	-0.08	1.60**	165.65**	9.00**	(Luca) T1
-0.87*	-0.24	0.08	-1.60**	-165.65**	-9.00**	(Savalan) T2
0.34	0.16	1.33	0.60	43.66	1.48	SE (gj)
0.48	0.23	1.88	0.84	61.74	2.09	SE (gi-gj)

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

*, ** Significant at $p < 0.05, 0.01$, respectively.

و هتروزیس نسبت به میانگین والدین (هتروزیس نسبی) هیبریدها از نظر عملکرد غده، برخی از صفات زراعی در جدول (۶) منعکس شده است. هیبریدهای (T1 × L3)، (T1 × L1) و (T1 × L2) دارای بیشترین هتروزیس نسبی مثبت و معنی دار برای عملکرد غده بودند. هیبریدهای (T1 × L3)، (T1 × L1) و (T2 × L1) دارای بیشترین هتروزیس مثبت و معنی دار نسبت به والد برتر برای عملکرد غده بودند. هیبریدهای (T1 × L3)، (T1 × L1) و (T2 × L1) دارای بیشترین هتروزیس نسبت به میانگین والدین و بیشترین هتروزیس نسبت به والد برتر مثبت ولی غیرمعنی دار برای وزن غده در بوته بودند. هیبریدهای (T1 × L1)، (T1 × L3) و (T2 × L1) دارای بیشترین هتروزیس نسبت به میانگین والدین و بیشترین هتروزیس نسبت به والد برتر مثبت و معنی دار برای صفت تعداد غده در بوته بودند. هیبریدهای (T1 × L3)، (T1 × L2) و (T1 × L1) دارای بیشترین هتروزیس مثبت و معنی دار برای صفت درصد ماده خشک غده بودند. هیبریدهای (T1 × L1)، (T2 × L1) و (T1 × L3) دارای بیشترین هتروزیس مثبت و معنی دار برای صفت تعداد ساقه اصلی در بوته بودند. هیبرید (T1 × L3)

بررسی ترکیب پذیری خصوصی نتایج حاصل از تلاقی ها نشان داد که از نظر صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته، هیبریدهای (T1 × L3) و (Satina × Luca) و (T2 × L1) و (Caeser × Savalan) دارای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار می باشند. بنابراین از این هیبریدها می توان در برنامه های به نژادی مبتنی بر دورگ گیری به منظور افزایش عملکرد غده استفاده کرد (جدول ۵). هیبرید (T1 × L3) (Satina × Luca) همچنین ترکیب پذیری خصوصی منفی و معنی دار برای صفت ارتفاع بوته داشت. بنابراین جهت کاهش ارتفاع بوته می توان از این هیبرید در برنامه های اصلاحی بهره جست. اطلاع از قابلیت ترکیب والدین برای طراحی یک برنامه اصلاحی و شناسایی والدین بالقوه مهم است. دانستن ساختار ژنتیکی والدین قبل از شروع برنامه اصلاحی برای بهبود صفات مورد نظر ضروری است. آگاهی از ترکیب پذیری والدین در برنامه های دورگ گیری برای تولید هیبریدهای برتر در گیاهان کمک می کند (Sattar et al., 2007).

هتروزیس

برآورد درصد هتروزیس والد برتر (هتروبلتیوسیس)

جدول ۵- برآورد اثرات SCA هیبریدها برای صفات مختلف در سیب زمینی

Table 5. Estimates of SCA effects of the hybrids for different characteristics in potato

درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)	تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number	ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)	تعداد غده در بوته Tuber number per plant	وزن غده در بوته (گرم) Tuber weight per plant (g)	عملکرد غده (تن در هکتار) Tuber yield (t/ha)	هیبریدها Hybrids
-0.12	0.67*	1.60	-2.18*	-176.42*	-9.57**	(Caeser × Luca) (T1×L1)
-0.64	-0.84**	3.01	0.02	-61.72	-2.82	(Buren× Luca) (T1×L2)
0.77	0.17	-4.61*	2.17*	238.14**	12.40**	(Satina × Luca) (T1×L3)
0.12	-0.67*	-1.60	2.18*	176.42*	9.57**	(Caeser × Savalan) (T2×L1)
0.64	0.84**	-3.01	-0.02	61.72	2.82	(Buren × Savalan) (T2×L2)
-0.77	-0.17	4.61*	-2.17*	-238.14**	-12.40**	(Satina × Savalan) (T2×L3)
0.59	0.28	2.31	1.03	75.62	2.56	SE (sij)
0.84	0.40	3.26	1.46	106.94	3.61	SE (sij-skl)

* و ** Significant at p<0.05, 0.01, respectively.

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

جدول ۶- درصد هتروزیس نسبت به میانگین والدین (MPH) و هتروزیس نسبت به والد برتر هیبریدها (BPH) برای صفات مختلف در سیب زمینی

Table 6. Mid parent heterosis (MPH) and better parent heterosis (BPH) of hybrids for different characteristics in potato

درصد ماده خشک غده Tuber dry matter (%)		تعداد ساقه اصلی در بوته Main stem number		ارتفاع بوته (سانتی متر) Plant height (cm)		تعداد غده در بوته Tuber number per plant		وزن غده در بوته (گرم) Tuber weight per plant (g)		عملکرد غده (تن در هکتار) Tuber yield (t/ha)		هیبریدها Hybrids
BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	BPH	MPH	
4.59**	5.91**	116.33**	116.33**	2.56	13.90**	132.82**	142.83**	44.51	46.48	38.37**	47.87**	(Caeser × Luca) (T1×L1)
5.46**	7.97**	-10.92**	5.27**	8.48**	9.95**	78.24**	98.28**	16.98	19.32	13.44**	23.25**	(Buren× Luca) (T1×L2)
10.58**	15.20**	49.33**	49.33**	-7.98*	1.62	55.24**	75.99**	60.82	69.11	66.13**	80.60**	(Satina × Luca) (T1×L3)
-3.77**	-1.95*	55.44**	55.44**	-1.59	9.94**	99.87**	131.11**	27.48	36.58	41.42**	50.83**	(Caeser × Savalan) (T2×L1)
2.01*	5.09**	16.54**	37.73**	-0.14	0.54	0.63	23.14**	-18.75	-13.47	-12.78**	-5.43	(Buren × Savalan) (T2×L2)
-6.35**	-1.84*	22.00**	22.00**	4.93	16.58**	-36.71**	-35.45**	-32.93	-30.68	-25.59**	-19.27**	(Satina × Savalan) (T2×L3)
1.64	1.64	0.78	0.78	6.39	6.39	2.87	2.87	209.60	209.60	7.08	7.08	LSD 5%
2.17	2.17	1.02	1.02	8.41	8.41	3.77	3.77	275.90	275.90	9.32	9.32	LSD 1%

* و ** Significant at p<0.05, 0.01, respectively.

* و ** به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج ترکیب پذیری عمومی لاین ها و تسترها، لاین L1 (Caeser) دارای ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته، تعداد ساقه اصلی در بوته و ارتفاع بوته بود. همچنین تستر T1 (Luca) دارای ترکیب پذیری عمومی مثبت و معنی دار برای صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته، تعداد غده در بوته و درصد ماده خشک غده بود. بنابراین از این لاین و تستر در می توان به عنوان والدین در برنامه های اصلاحی بهره جست. بررسی ترکیب پذیری خصوصی نتایج حاصل از تلاقی ها نشان داد که از نظر صفات عملکرد غده، وزن غده در بوته و تعداد غده در بوته هیبریدهای (Luca × Satina) و (Caeser × Savalan) دارای ترکیب پذیری خصوصی مثبت و معنی دار بودند. نسبت واریانس ترکیب پذیری عمومی به واریانس ترکیب پذیری خصوصی و ضریب بیکر برای تمام صفات مورد مطالعه کمتر از یک بود که این امر حاکی از نقش مؤثرتر اثر غیرافزایشی ژن ها در کنترل ژنتیکی صفات مورد بررسی دارد. وراثت پذیری عمومی بالا و وراثت پذیری خصوصی نسبتاً پایین برای صفات مختلف مشاهده شد. بیشترین میزان هتروزیس برای صفت عملکرد غده متعلق به هیبرید (L3 × T1) (Luca × Satina) بود.

دارای هتروزیس نسبت به والد برتر منفی و معنی دار برای صفت ارتفاع بوته بود. منفی بودن مقدار هتروزیس بیانگر این است که هیبرید به سمت والد واجد مقدار کمتر صفت گرایش دارد که از نظر این صفت یک مزیت محسوب می گردد. این هیبرید همچنین ترکیب پذیری خصوصی منفی و معنی دار برای صفت ارتفاع بوته داشت. بنابراین از هیبرید مذکور می توان جهت کاهش ارتفاع بوته در برنامه های اصلاحی استفاده کرد. Biswas *et al.* (2008) میزان هتروزیس را برای شش ویژگی مهم کمی در سیزده والد و سی وهفت هیبرید سیب زمینی حاصل از تلاقی لاین × تستر مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که میزان هتروزیس بسته به صفت متفاوت بود. بالاترین میانگین هتروزیس متوسط، بهتر و والد برتر در تعداد غده، عملکرد و میانگین وزن غده به دست آمد. همچنین Manivel *et al.* (2010) میزان هتروزیس، نوع و ماهیت عمل ژن را برای صفات ماده خشک غده، عملکرد، تعداد غده و وزن متوسط غده سیب زمینی مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که نتایج حاصل از لحاظ تعداد غده، عملکرد و ماده خشک به مراتب میانگین بالاتری داشتند، ولی برای وزن متوسط غده پایین تر بودند. هر دو عمل افزایشی و غیرافزایشی ژن برای صفات مورد مطالعه اهمیت داشتند.

References

- Baker, R. J. (1978). Issues in diallel analysis. *Crop Science*, 18(4), 533-537.
- Barik, S. B. (2007). *Genetic diversity in potato (Solanum tuberosum L.)*. M. Sc. Thesis (Agriculture), Indira Gandhi Krishi Vishwavidyalaya, Raipur (C.G.).
- Biswas, M. K., Ahmed, B., Abdul Aziz, M. D., Hoque, A., Islam, R., Hossain, M. and Mandal, A. (2008). Combining ability analysis in potato (*Solanum tuberosum*). *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 1(1), 12-25.
- Bradshaw, J. E. and Mackay, G. R. (1994). Breeding strategies for clonally propagated potatoes. In J. E. Bradshaw, G. R. Mackay (Eds.), *Potato genetics*. Wallingford: CAB International.
- Comstock, R. E. and Robinson, H. F. (1952). Estimation of average dominance of genes. In J. W. Gowen (ed.), *Heterosis* (pp. 494-516). Ames, Iowa: Iowa State College Press.

- De la Vega, A. J. and Chapman, S. C. (2006). Multivariate analysis to display interactions between environment and general or specific combining ability in hybrid crops. *Crop Science*, 46(2), 957-967.
- FAOSTAT. (2015). Food and agriculture organization of the united nations statistics. Retrieved from <http://www.faostat.fao.org/site/562/default.aspx/>.
- Gholinezhad, E. and Darvishzadeh, R. (2018). Estimates of variance components and heritability of grain yield and yield components in confectionary sunflower landraces in different levels of irrigation. *Plant Productions*, 41(2), 29-40. [In Farsi]
- Gopal, J. (1998). General combining ability and its repeatability in early generations of potato breeding programmes. *Potato Research*, 41(1), 21-28.
- Gopal, J., Kumar, V. and Luthra, S. K. (2008). Top-cross vs. poly-cross as alternative to test-cross for estimating the general combining ability in potato. *Plant Breeding*, 127(5), 441-445.
- Haydar, A., Alam, M. K., Khokan, E. H., Ara, T. and Khalequzzaman, K. M. (2009a). Combining ability and genetic variability studies in potato. *Journal of Soil and Nature*, 3(2), 1-3.
- Haydar, A., Islam, M. A., Ara, T., Khokan, E. H., and Khalequzzaman, K. M. (2009b). Studies on genetic variability, correlation and path analysis in potato. *International Journal of Sustainable Agricultural Technology*, 5(1), 40-44.
- Manivel, P., Pandey, S. K., Singh, S. V. and Kumar, D. (2010). Heterosis and combining ability for tuber dry matter and yield in potato (*Solanum tuberosum* L.) over two clonal generations under short-day subtropic conditions. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 1(3), 287-296.
- Mishra, A. C., Singh, N. P., Kamal, S. and Kumar, V. (2006). Studies on genetic variability, heritability and genetic advance in potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Plant Sciences Muzaffarnagar*, 1(1), 39-41.
- Mondal, M. A. A. and Hossain, M. M. (2006). Combining ability in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, 35(2), 125-131.
- Ortiz, R. and Golmirzaie, A. M. (2004). Combining ability analysis and correlation between breeding values in true potato seed. *Plant Breeding*, 123(6), 564-567.
- Ozturk, G. and Yildirim, Z. (2014). Heritability estimates of some quantitative traits in potatoes. *Turkish Journal of Field Crops*, 19(2), 262-267.
- Regassa, D. and Basavaraj, N. (2005). Genetic variability studies in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Karnataka Journal of Agricultural Sciences*, 18(1), 87-90.
- Ruiz de Galarreta, J. I., Ezpeleta, B., Pascualena, J., and Ritter, E. (2006). Combining ability and correlations for yield components in early generations of potato breeding. *Plant Breeding*, 125(2), 183-186.
- Sattar, M. A., Sultana, N., Hossain, M.M., Rashid, M. H., and Islam, A. K. M. A. (2007). Genetic variability, correlation and path analysis in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Bangladesh Journal of Plant Breeding and Genetics*, 20(1), 33-38.
- Singh, R. K. and Chaudhary, B. D. (2007). *Biometrical methods in quantitative genetic analysis* (3rd ed.). New Dehli, India: Kalyani Publishers.
- Tekalign, T. (2009). Genetic variability, correlation and heritability in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm. *Tropical Agriculture*, 86(2), 52-59.
- Tofang Sazpoor, R., Roshanfekar, H., Meskarbashee, M. and Bromand Nasab, S. (2015). Effect of irrigation

deficit and cultivation method on some quantitative and qualitative characteristics of potato cultivars. *Plant Productions*, 38(2), 1-12. [In Farsi]

Ummyiah, H. M., Khan, S. H., Wani, K. P., Hussain, K. and Junaif, N. (2010). Genetic variability in potato (*Solanum tuberosum* L.). *The Asian Journal of Horticulture*, 5(1), 61-63.