ارزیابی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی حاصل از پرتوتابی با اشعه گاما تحت تنش محدودیت آبی

داود حسن‌پناه[1]، رسول اصغری زکریا[2]*

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۰/۱۲

۱-پژوهشگر پسا دکتری گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران و عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، استان اردبیل، مغان

۲-عضو هیات علمی گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

*مسئول مکاتبه: Email: r-asghari@uma.ac.ir

چکیده

این پژوهش به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی از طریق پرتوتابی با اشعه گاما در ارقام سیب‌زمینی برای تحمل به تنش محدودیت آبی در شرایط درون‌شیشه‌ای در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی هسته‌ای کرج و آزمایشگاه شرکت فناوری زرع‌گستر آرتا در طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام شد. از هر کدام از ارقام جلی، اسپیریت، بانبا، میلوا و آگریا به تعداد ۳۰۰۰ گیاهچه تکثیر و با اشعه گاما در دز ۲۵ گری مورد پرتوتابی قرار گرفتند. پس از بررسی تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ زنده ماندند. آزمایش اول به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار اجرا شد که در آن فاکتور اول ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ و فاکتور دوم چهار غلظت پلی‌اتیلن‌گلیکول شامل صفر، ۱۵۰، ۲۲۰ و ۲۷۵ گرم در لیتر بودند. پس از بررسی در شرایط نرمال و تنش محدودیت آبی، تعداد ٦٦ ژنوتیپ انتخاب شد. در آزمایش دوم تعداد ٦٦ ژنوتیپ انتخابی به همراه ۵ رقم شاهد جمعا ۷۱ ژنوتیپ براساس طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه کاملا تصادفی در سه تکرار که در آن فاکتور اول ۷۱ ژنوتیپ و فاکتور دوم غلظت‌های پلی‌اتیلن‌گلیکول شامل شاهد (صفر گرم در لیتر) ، ملایم (۱۵۰ گرم در لیتر)، شدید (۲۲۰ گرم در لیتر) و خیلی شدید (۲۷۵ گرم در لیتر) از لحاظ صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در هر گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر مورد بررسی قرار گرفتند. ژنوتیپ Esprit-G8 در شرایط نرمال و تنش ملایم و ژنوتیپ Milva-G3 در شرایط تنش شدید دارای بیشترین وزن میکروتیوبر در گیاهچه بودند. در شرایط نرمال ژنوتیپ Esprit-G8؛ در شرایط تنش ملایم و شدید ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9 و Esprit-G8 از بیشترین تعداد برگ، گره و میکروتیوبر در گیاهچه برخوردار بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محدودیت آبی انتخاب شدند.

واژه های کلیدی: پلی‌اتیلن‌گلیکول، تنش کم‌آبی، تنوع ژنتیکی، سیب زمینی، میکروتیوبر

Evaluation of Radiated Potato Genotypes with Gamma Rays in water Deficit Stress

David Hassanpanah[1], Rasool Asghari Zakaria[2]*

Accepted: October 4, 2017 Received: January 2, 2018

1-Postdoctoral Research Associate, Dept. of Agronomy and Nutrition, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, and Faculty member of Agronomy and Garden Research, Agricultural and Natural Resources Research Center, Ardabil, Moghan, Iran.
2-Dept of Agronomy and Reproduction, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardebil, Iran.
* Corresponding Author Email: r-asghari@uma.ac.ir

Abstract

This research was conducted in order to induction of genetic diversity through radiation with gamma rays in potato cultivars for tolerance to deficit water stress under *in vitro* condition in Karaj Nuclear Agricultural Research Institute and Laboratory of Zar-Gostar-Arta Technology Company, during 2016 and 2017. From each cultivar of Jeli, Esprit, Banba, Milva and Agria, 3000 plantlets reproduced and were irradiated with 25 Gary of gamma rays. After evaluation, 2517 genotypes were survived. The first experiment was factorial based on completely randomized design with three replications. The first factor was potato genotypes and the second factor consisted of four concentrations of poly-ethylene-glycol including 0, 150, 220 and 275 $g.l^{-1}$. After evaluation under normal and water deficit stress, 66 genotypes were selected. In second experiment 66 selected genotypes and 5 cultivars as control totally 71 genotypes were conducted based on factorial design based on completely randomized design with three replications. The first factor was 71 potato genotypes and the second factor consisted of four concentrations of poly-ethylene-glycol including normal (0 $g.l^{-1}$), mild (150 $g.l^{-1}$), severe (220 $g.l^{-1}$) and very severe (275 $g.l^{-1}$) and were investigated in terms of plant height, leaf number per plantlet, root number per plantlet, node number per plantlet, internode length, micro-tuber number and weight per plantlet and micro-tuber average weight. The Esprit-G8 genotype under normal and mild condition and Milva-G3 genotype under severe condition had the highest micro-tuber weight per plantlet. In normal condition, Esprit-G8 genotype and under mild and severe conditions, Milva-G1, Milva-G3, Banba-G5, Banba-G6, Banba-G7, Banba-G9 and Esprit-G8 genotypes had the highest in terms of leaf, node and micro-tuber number per plantlet and were selected as tolerant genotypes to deficit water stress.

Keywords: Genetic Diversity, Microtuber, Potato, Poly-Ethylene-Glycol (PEG), Water Deficit Stress

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از مهمترین محصولات زراعی دنیا بوده و از نظر اهمیت غذایی، مقام چهارم را بعد از گندم، برنج و ذرت دارد (فابیریو و همکاران ۲۰۰۱). براساس آخرین آمار جهانی، سیب‌زمینی با تولید ۳۷۶/۵ میلیون تن، در ۹۲ درصد از کشورهای جهان کشت می‌شود. ایران با ۵/۶ میلیون تن تولید در رتبه سیزدهم جهان و در آسیا بعد از چین و هند در رتبه سوم بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ها قرار دارد (فائو ۲۰۱۵). در سال ۱۳۹٤، سطح برداشت سیب‌زمینی کشور حدود ۱٦۰ هزار هکتار، میزان تولید ۵/۱٤ میلیون تن و متوسط عملکرد غده ۳۲/۱۹۱ تن در هکتار بود (بی‌نام، ۲۰۱۷). تکنیک‌های اصلاحی مرسوم وقت‌گیر بوده و زحمت زیادی می‌طلبند، بنابراین توسعه تکنیک‌های غربال سریع برای کوتاه کردن زمان در برنامه‌های اصلاحی خیلی مهم می‌باشد (گوپال و ایوما ۲۰۰۷). تنش کم‌آبی در سیب‌زمینی باعث کاهش عملکرد غده می‌شود (شوک و فیبیرت ۲۰۰۲؛ ایرنا و ماورومیکال ۲۰۰٦؛ اسکیتنهلما و همکاران ۲۰۰٦؛ حسن‌پناه ۲۰۰۹؛ بدارو و همکارا ۲۰۱۳). برای مطالعه سطوح تنش آبی، بافت‌های گیاهی را در معرض عوامل اسمزی قرار می‌دهند (مانی ۱۹۸۹). بوسیس و همکاران (۱۹۹۸)، لی و همکاران (۲۰۰۵)، گوپال و همکاران (۲۰۰۵)، گوپال و اواما (۲۰۰۷)، اواما (۲۰۰۷)، حسن‌پناه (۲۰۰۹)، بیلتر و همکاران (۲۰۱۳) و آژیلی و همکاران (۲۰۱۵) از پلی‌اتیلن‌گلیکول در شرایط درون‌شیشه‌ای در گیاهچه‌های سیب‌زمینی برای انتخاب گیاهان متحمل به تنش خشکی استفاده نموده‌اند. گوپال و همکاران (۲۰۰۸)، گوپال و اواما (۲۰۰۷) و موسی‌پور گرجی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند کشت درون شیشه‌ای ارقام سیب‌زمینی تحت شرایط نرمال و محدودیت آبی روشی مناسب برای غربال‌گری ژنوتیپ-ها می‌باشد. تورنکس و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند طول گیاهچه در سیب‌زمینی با افزایش غلظت پلی‌اتیلن-گلیکول کاهش می‌یابد. استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول در محیط کشت MS[1]، پتانسیل آب محیط کشت را از طریق افزایش اسموزیته کاهش می‌دهد و از رشد ساقه و ریشه گیاهچه‌ها جلوگیری می‌نماید. آژیلی و همکاران (۲۰۱۳) بیان داشتند ژنوتیپ‌هایی که در سطوح مختلف تنش از سطح برگ، طول ساقه، رشد ریشه و ساقه بالاتر و تولید ماده خشک بیشتری برخوردار بودند، توانایی تحمل شرایط تنش خشکی شدید را دارند. سوهارجو (۲۰۰٤) رقم کنبک را به عنوان رقم متحمل و رقم سوپریر را به عنوان رقم حساس به تنش خشکی انتخاب نمود. حسن‌پناه (۲۰۰۹) رقم کایزر، حسن‌پناه (۲۰۱۰) ارقام کایزر و کنبک و آندریا و همکاران (۲۰۱٤) ارقام کروناستد و چریستین را در شرایط درون شیشه‌ای تحت تیمار پلی‌اتیلن‌گلیکول به عنوان ارقام متحمل به تنش خشکی انتخاب کردند.

اصلاح به کمک جهش در گیاهان زراعی ابزار موثری برای اصلاح کنندگان نبات بخصوص در محصول‌هایی که پایه ژنتیکی محدودی دارند، می‌باشد (۲۰۱۰). مطالعات نشان داده پرتوتابی با اشعه گاما در افزایش میزان نشاسته (شین و همکاران ۲۰۱۱)، میزان قند محلول، میزان کربوهیدرات‌ها و مقاومت به بیماری-ها (وانگ و همکاران ۲۰۰۷)، صفات رنگ پوست و گوشت (حسن‌پناه و همکاران ۲۰۱۵)، مقاومت به بیماری فیتوفترا (گوسال و همکاران ۲۰۰۱) و افزایش تحمل به شوری (شاراباش ۲۰۰۱؛ سیف‌الرشید و همکاران ۲۰۰۱) و گرما (گوسال و همکاران ۲۰۰۱) در سیب-زمینی موثر بوده است. سیف‌الرشید و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی گیاه سیب‌زمینی در دزهای ۵، ۲۰، ٤۰ و ٦۰ گری اشعه گاما در شرایط درون‌شیشه‌ای برای تحمل به شوری نتیجه گرفتند که دز بیشتر از ۲۰ گری برای گیاهچه‌های سیب‌زمینی کشنده می‌باشد. گوسال و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی گیاهچه‌های ارقام سیب‌زمینی کوفری‌جیوتی و کوفری‌چاندارامو‌خی در

[1]. Murashige and Skoog (MS)

شرایط درون‌شیشه‌ای با دزهای ۲۰ و ٤۰ گری اشعه گاما برای تحمل به بیماری فیتوفترا، نتیجه گرفتند دز ٤۰ گری موجب افزایش درصد مقاومت به بیماری فیتوفترا به میزان ۳٦ درصد در رقم کوفری‌جیوتی و ٤۲ درصد در رقم کوفری‌چاندارامو‌خی می‌شود. شاراباش (۲۰۰۱) با بررسی دزهای مختلف اشعه گاما به منظور ایجاد تنوع برای تحمل به شوری در گیاهچه‌های رقم دیامانت در شرایط درون‌شیشه‌ای، نتیجه گرفت تعداد میکروتیوبر در دز ۲۰ گری بیشتر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود. وی گزارش کرد استفاده از پرتوتابی در محیط درون‌شیشه‌ای باعث افزایش تنوع ژنتیکی برای تحمل به شوری در گیاه سیب‌زمینی می‌شود. شین و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تاثیر دزهای مختلف اشعه گاما بر میزان نشاسته و قند آمیلوز سیب‌زمینی شیرین گزارش کردند در دز ۵۰ گری بیشترین میزان نشاسته و قند آمیلوز تولید شد. حسن‌پناه و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی از طریق پرتوتابی برای تغییر رنگ گوشت غده سیب‌زمینی ارقام کایزر و دراگا، در طی سه سال آزمایش از ٦۰۰۰ گیاهچه پرتوتابی شده ارقام کایزر و دراگا، پس از بررسی صفات کمی و رنگ گوشت غده، تعداد ١٤ ژنوتیپ را انتخاب کردند.

با توجه به محدودیت آبی در کشور و اهمیت اصلاح برای تحمل تنش محدودیت آبی، در این تحقیق ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی پس از القای جهش توسط اشعه گاما برای تحمل تنش محدودیت آبی در شرایط درون شیشه‌ای مورد گزینش قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی از طریق پرتوتابی با اشعه گاما در ارقام جلی، اسپیریت، بانبا، میلوا و آگریا و ارزیابی آنها برای تحمل به تنش کم‌آبی در شرایط درون‌شیشه‌ای در پژوهشکده تحقیقات کشاورزی هسته‌ای کرج و آزمایشگاه شرکت فناوری زرع‌گستر آرتا در طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹٦ انجام شد. ارقام جلی، اسپیریت، بانبا، میلوا و آگریا هر کدام به تعداد ۳۰۰۰ گیاهچه تکثیر شدند. ریزنمونه‌های با دو برگ در حال رشد و دو گره تهیه گردید. تعداد ۵۰ نمونه در هر پتری‌دیش محتوی آب دو بار تقطیر شده استریل قرار و با پارافیلم مهر و موم شدند و ریزنمونه‌ها برای پرتوتابی آماده گردید. پرتوتابی با اشعه گاما با دستگاه گاماسل دو بازوی روسی با کبالت ٦۰ به مدت ٤ دقیقه با ۱۱ هزارم گری در ثانیه در دز ۲۵ گری انجام شد. ریزنمونه‌های پرتوتابی شده به داخل لوله آزمایش محتوی ۵ میلی‌لیتر محیط کشت MS مایع انتقال داده شدند. بعد از حدود ۲۵-۲۰ روز، گیاهچه‌ها مجددا واکشت شدند. ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به تعداد ۲۵۱۷ گیاهچه در چهار غلظت پلی‌اتیلن‌گلیکول ٦۰۰۰ شامل صفر، ۱۵۰، ۲۲۰ و ۲۷۵ گرم در لیتر براساس طرح آزمایشی فاکتوریل بر پایه کاملا تصادفی در سه تکرار بررسی شدند. فاکتور اول شامل ژنوتیپ‌های سیب-زمینی و فاکتور دوم شامل چهار غلظت ماده پلی‌اتیلن-گلیکول بودند. مقدار پلی‌اتیلن‌گلیکول با استفاده از روش بلوم (۲۰۰٦) در غلظت‌های مورد نظر تهیه گردید. پلی اتلین‌گلیکول با استفاده از روش انتشار[1] به محیط کشت MS اضافه شد (تاجی و همکاران ۲۰۰۲). ابتدا محیط کشت MS جامد با آگار به مقدار ٦ گرم بر لیتر تهیه شد. بعد از این مرحله، محیط کشت MS مایع با ۳۰ گرم در لیتر ساکارز و بدون هورمون و با پلی‌اتیلن‌گلیکول در غلظت‌های مختلف تهیه و pH محیط کشت بر روی ۵/۸ تنظیم گردید. سپس محیط کشت MS مایع حاوی پلی‌اتلین‌گلیکول بر روی محیط کشت MS جامد، به میزان هم حجم اضافه شد. پس از ٢٤ ساعت مولکول-های پلی‌اتلین‌گلیکول به محیط کشت حاوی آگار انتشار یافته و بنابراین پتانسیل آب محیط را کاهش داده و غلظت آن در هر دو محیط جامد و مایع به حالت تعادل -

[1]. Diffusion-based method

رسید. پس از گذشت ۲٤ ساعت، محیط کشت مایع رویی دور ریخته و محیط کشت جامد حاوی ماده پلی‌اتلین گلیکول آماده استفاده شد (تاجی و همکاران ۲۰۰۲؛ حسن‌پناه ۲۰۰۹). چهار میلی‌لیتر از محیط کشت MS را در لوله‌های آزمایشی ۲۰ سانتی‌متری ریخته و با پنبه مسدود شدند. جهت ضدعفونی محیط کشت از اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ دقیقه در ۱/۵ بار استفاده گردید. گیاهچه‌ها به مدت ۲۵-۲۰ روز در اتاق رشد در دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس، ۱٦ ساعت روشنایی و ۵۰۰۰-٤۰۰۰ لوکس شدت نور نگهداری شدند. صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها و تعداد گره در گیاهچه اندازه‌گیری شدند. در ادامه برای تولید میکروتیوبر سیب‌زمینی، به محیط کشت MS جامد، مقدار ۱۰ میلی‌گرم در لیتر بنزیل آمینوپورین (BAP) و ساکارز ۸ درصد (گوسال و همکاران ۲۰۰۱)، تیامین ۰/٤ میلی‌گرم در لیتر، سایکوسل (کلرمکوات کلراید) ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و میواینوزیتول ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر (حسن‌پناه و خدادادی ۲۰۰۹) و پلی‌اتیلن‌گلیکول براساس تیمار مربوطه (بلوم ۲۰۰٦) اضافه گردید. گیاهچه‌های رشد کرده به تعداد ۷۱ ژنوتیپ (شامل ٦٦ ژنوتیپ حاصل از پرتوتابی و ۵ رقم شاهد) به دو قسمت با ٤-۳ گره بدون جوانه انتهایی تقسیم شدند. گیاهچه‌های ژنوتیپ‌ها در شرایط آزمایشگاهی با تناوب نوری ۸ ساعت تاریکی و ۱٦ ساعت روشنایی تا تولید اولین میکروتیوبر و سپس در تاریکی کامل و دمای ۲±۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند (حسن‌پناه و خدادادی ۲۰۰۹). میکروتیوبرها در طی ۸-٦ هفته تولید گردید. در طی اجرای آزمایش و پس از برداشت میکروتیوبر، صفات تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر اندازه‌گیری شدند. تجزیه واریانس پس از نرمال بودن داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی در قالب طرح آماری فاکتوریل بر پایه طرح کاملا تصادفی در سه تکرار انجام شد. با توجه به این که اثرمتقابل تنش کم‌آبی × ژنوتیپ صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر معنی‌دار بودند، برش‌دهی اثرمتقابل صفات انجام شد تا مشخص گردد اختلاف معنی‌دار مربوط به کدام سطح از تنش بوده است. مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت. برای انجام محاسبات آماری، رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزارهای کامپیوتری SAS9.1 و Excel استفاده شد. تجزیه به عامل‌ها با استفاده از روش مؤلفه‌های اصلی و چرخش عامل‌ها به روش وریماکس انجام شد. برای تهیه ماتریس ضرایب عاملی، آن تعداد از عامل‌ها که مقدار ویژه آنها بزرگ‌تر از یک بود، انتخاب گردید. در هر عامل اصلی، ضرایب عاملی بزرگ‌تر از ۰/۵ به عنوان عامل معنی‌دار در نظر گرفته شد (لاولی و ماکسول ۱۹٦۳). معیار KMO[1] که شاخصی برای مقایسه مقادیر ضرایب همبستگی ساده و جزئی بر روی کلیه متغیرهاست، به صورت زیر محاسبه شد:

$$KMO = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij}^2}{\sum_i \sum_{j \neq i} r_{ij}^2 + \sum_i \sum_{j \neq i} a_{ij}^2}$$

(لاولی و ماکسول ۱۹٦۳)

که در آن r_{ij} ضریب همبستگی سادهٔ بین متغیرهای i وj و a_{ij} ضریب همبستگی جزیی بین آنهاست. اگر مجموع ضرایب همبستگی جزیی بین همه زوج متغیرها در مقایسه با مجموع مجذورات ضرایب همبستگی کوچک باشد، اندازه KMO نزدیک به یک خواهد بود. مقادیر کوچک KMO بیانگر آن است که همبستگی بین زوج متغیرها نمی‌تواند توسط متغیرهای دیگر تبیین شود، بنابراین کاربرد تحلیل عاملی متغیرها

[1]. Kaiser Meyer Olkin

ممکن است قابل توجیه نباشد. در صورتی که مقدار KMO کمتر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب نخواهند بود و اگر مقدار آن بین ۰/۵ تا ۰/۶۹ باشد می‌توان با احتیاط بیشتر به تحلیل عاملی پرداخت. اما در صورتی که مقدار آن بزرگ‌تر از ۰/۷ باشد، همبستگی‌های موجود در بین داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب خواهد بود (زارع‌چاهوکی ۲۰۱۰). برای تجزیه به عامل‌ها از نرم‌افزار Minitab 16 استفاده شد.

نتایج و بحث

از تعداد ۱۵۰۰۰ گیاهچه‌های پرتوتابی شده ارقام سیب‌زمینی با اشعه گاما، تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ (۱۶/۷۸ درصد) زنده ماندند. گیاهچه‌های زنده مانده شامل آگریا به تعداد ۵۷۷ ژنوتیپ، میلوا به تعداد ۱۸۰ ژنوتیپ، جلی به تعداد ۶۲۰ ژنوتیپ، بانبا به تعداد ۵۶۰ ژنوتیپ و اسپیریت به تعداد ۵۸۰ ژنوتیپ بودند. از تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ بررسی شده در شرایط نرمال و تنش کم‌آبی (ملایم و شدید)، تعداد ٦٦ ژنوتیپ (۲/۶۰ درصد)، دارای تحمل بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد بودند و براساس صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها و تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر انتخاب شدند. تعداد ٦٦ ژنوتیپ انتخابی شامل آگریا به تعداد ۱۲ ژنوتیپ، میلوا به تعداد ٤ ژنوتیپ، جلی به تعداد ٢٤ ژنوتیپ، بانبا به تعداد ١٤ ژنوتیپ و اسپیریت به تعداد ۱۲ ژنوتیپ بودند (جدول ۱). در غلظت پلی‌اتیلن‌گلیکول ۲۷۵ گرم در لیتر (تنش خیلی شدید)، ژنوتیپی متحمل انتخاب نشد.

جدول ۱- تعداد گیاهچه‌های پرتوتابی شده با اشعه گاما، ژنوتیپ‌های انتخاب شده قبل و بعد از اعمال تنش محدودیت آبی

رقم	گیاهچه‌های پرتوتابی شده با اشعه گاما	ژنوتیپ‌های انتخابی				
		قبل از اعمال تنش	بعد از اعمال تنش			
			صفر گرم در لیتر (نرمال)	۱۵۰ گرم در لیتر (تنش ملایم)	۲۲۰ گرم در لیتر (تنش شدید)	۲۷۵ گرم در لیتر (تنش خیلی شدید)
آگریا	۳۰۰۰	۵۷۷	۱۲	۱۲	۹	–
میلوا	۳۰۰۰	۱۸۰	٤	٤	۳	–
جلی	۳۰۰۰	٦۲۰	۲٤	۲٤	۲٤	–
بانبا	۳۰۰۰	٥٦۰	١٤	١٤	۱۰	–
اسپیریت	۳۰۰۰	٥۸۰	۱۲	۱۲	۱۲	–
جمع	۱۵۰۰۰	۲۵۱۷	٦٦	٦٦	٥۸	–
درصد	–	١٦/۷۸	۲/٦۲	۲/٦۲	۲/۳۰	–

از تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ بررسی شده، تعداد ٦٦ ژنوتیپ (۰/٤٤ درصد) تحمل بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها و ارقام شاهد بودند. مطالعات نشان داده‌اند که پرتوتابی با اشعه گاما در افزایش تحمل به تنش‌های محیطی در سیب‌زمینی موثر بوده است (گوسال و همکاران ۲۰۰۱؛ شاراباش ۲۰۰۱؛ سیف‌الرشید و همکاران ۲۰۰۱). شاراباش (۲۰۰۱) با بررسی دزهای مختلف اشعه گاما (۰، ۲۰ و ۴۰ گری) در گیاهچه‌های رقم دیامانت در شرایط درون‌شیشه‌ای، گیاهچه‌های متحمل به تنش شوری را انتخاب و برای تولید میکروتیوبر به محیط کشت MS مایع حاوی ۲۰۰۰ و ٤۰۰۰ پی‌پی‌ام کلرید سدیم انتقال داد. تعداد میکروتیوبر

در دز ۲۰ گری بیشتر از سایر تیمارهای مورد مطالعه بود. وی گزارش کرد استفاده از پرتوتابی در محیط درون‌شیشه‌ای باعث افزایش تنوع ژنتیکی برای تحمل به شوری در گیاه سیب‌زمینی می‌شود. حسن‌پناه و همکاران (۲۰۱۵) به منظور ایجاد تنوع ژنتیکی از طریق پرتوتابی با دزهای ۲۵ و ۳۰ گری اشعه گاما برای تغییر رنگ گوشت غده سیب‌زمینی ارقام کایزر و دراگا از رنگ سفید و زرد روشن به رنگ زرد در شرایط درون-شیشه‌ای و گلخانه‌ای، تعداد ٤٥ ژنوتیپ با رنگ گوشت غده زرد انتخاب نمودند. آنها گزارش کردند استفاده از پرتوتابی در محیط درون‌شیشه‌ای باعث افزایش تنوع ژنتیکی برای تغییر رنگ گوشت غده از سفید و زرد روشن به زرد در گیاه سیب‌زمینی می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داد بین سطوح تنش کم‌آبی، ژنوتیپ‌ها و اثرمتقابل تنش کم-آبی × ژنوتیپ از لحاظ صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲). با توجه به این که اثرمتقابل تنش کم‌آبی × ژنوتیپ صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر معنی‌دار بودند، برش‌دهی اثرمتقابل صفات انجام شد. نتایج تجزیه واریانس برش-دهی اثر متقابل صفات نشان داد بین صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و وزن متوسط میکروتیوبر در شرایط نرمال، تنش کم‌آبی ملایم و شدید اختلاف معنی-داری وجود دارد (جدول ۲). به همین خاطر مقایسه میانگین ژنوتیپ‌های صفات در سه سطح نرمال، تنش ملایم و تنش شدید به طور جداگانه انجام شدند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات مورد ارزیابی در ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در سطوح مختلف تنش محدودیت آبی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع گیاهچه	تعداد برگ در بوته	تعداد ریشه در گیاهچه	تعداد گره در گیاهچه	فاصله میانگره‌ها	تعداد میکروتیوبر در گیاهچه	وزن میکروتیوبر در گیاهچه	وزن متوسط میکروتیوبر
ژنوتیپ (A)	۷۰	۲۱/۳۱**	۱۸/۵۳**	۲۰/۵۷**	۱۷/۱۸**	٦/٦٨**	٤/٤٥**	۰/۱۱۷**	۰/۰۰۷**
تنش کم‌آبی (B)	۲	۲۹۱/۸۹**	۱۵۹/٤٥**	۲۹۸/۸۵**	۱٤۹/٦٥**	۲۱/٤۹**	۲۹/۹۰**	۰/٤٦٤**	۰/۰۰۵**
A × B	۱٤۰	٤/۰۸**	٦/۱۲**	۱۵/۲۱**	۵/٤۷**	۳/۲۹**	۱/۳۲**	۰/۰۳**	۰/۰۰٤**
خطا	٤۲٦	۰/۱۰۳	۰/۰٦	۰/۰٤	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰٤	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۰۹
ضریب تغییرات (٪)		۳/۷۵	۵/۰۸	۳/٤۳	۷/۲٤	۱۹/۲۹	۷/۹۳	۸/۳۳	۵/٤٤
ژنوتیپ در شرایط نرمال	۷۰	۱۰/۱۸**	۷/۳۹**	۱۵/۷۱**	۷/۰۲**	۲/۷٤**	۱/۸۱**	۰/۰٤**	۰/۰۰۲**
ژنوتیپ در شرایط تنش ملایم	۷۰	۱۰/۱٦**	۱۱/۵۷**	۱۳/۷۸**	۱۰/۱۳**	٦/۱۳**	۲/۱۸**	۰/۰٦**	۰/۰۰٤**
ژنوتیپ در شرایط تنش شدید	۷۰	۱۵/۱۳**	۱۱/۷۹**	۲۱/٤۸**	۱۰/۹۷**	٦/٤۱**	۳/۱۱**	۰/۰۸**	۰/۰۱۰**

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

در شرایط نرمال، ژنوتیپ Esprit-G2، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Milva-G1 و Banba-G9 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ Milva-G1 از بالاترین ارتفاع گیاهچه برخوردار بودند. از لحاظ صفت تعداد برگ در گیاهچه در شرایط نرمال، ژنوتیپ Esprit-G8، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های

Milva-G1، Milva-G3، Banba-G4، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Esprit-G8 و Esprit-G12 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G1، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Banba-G14، Banba-G9، Esprit-G9 و Jeli-G16 دارای بیشترین تعداد بودند. ژنوتیپ‌های Jeli-G18 و Jeli-G24 در شرایط نرمال، ژنوتیپ Jeli-G3 در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Jeli-G15 و Jeli-G17 در شرایط تنش آبی شدید، از بیشترین تعداد ریشه در گیاهچه برخوردار بودند. در شرایط نرمال، ژنوتیپ Esprit-G8، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G4، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Esprit-G8 و Esprit-G12 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G1، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Banba-G14 وEsprit-G9 دارای بیشترین صفت تعداد گره در گیاهچه بودند. از لحاظ صفت فاصله میانگره‌ها در شرایط نرمال، ژنوتیپ Jeli-G21، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Esprit-G9، Jeli-G2، Jeli-G3، Jeli-G6، Jeli-G9، Jeli-G12، Jeli-G13، Jeli-G16 و Jeli-G22 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ‌های Jeli-G3 و Milva-EMS2 دارای بیشترین مقدار بودند. در شرایط نرمال، ژنوتیپ Esprit-G8، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G4، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Esprit-G8 و Esprit-G12 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G1، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9، Banba-G14، Jeli-G18 و Esprit-G9 دارای بیشترین صفت تعداد میکروتیوبر در گیاهچه بودند. از لحاظ صفت وزن میکروتیوبر در گیاهچه در شرایط نرمال، ژنوتیپ‌های Esprit-G8 و Jeli-G18، در شرایط تنش آبی ملایم، ژنوتیپ‌های Banba-G4 و Esprit-G8 و در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ Milva-G3 دارای بیشترین مقدار بودند (با توجه به طولانی بودن جداول مقایسه میانگین آورده نشده است).

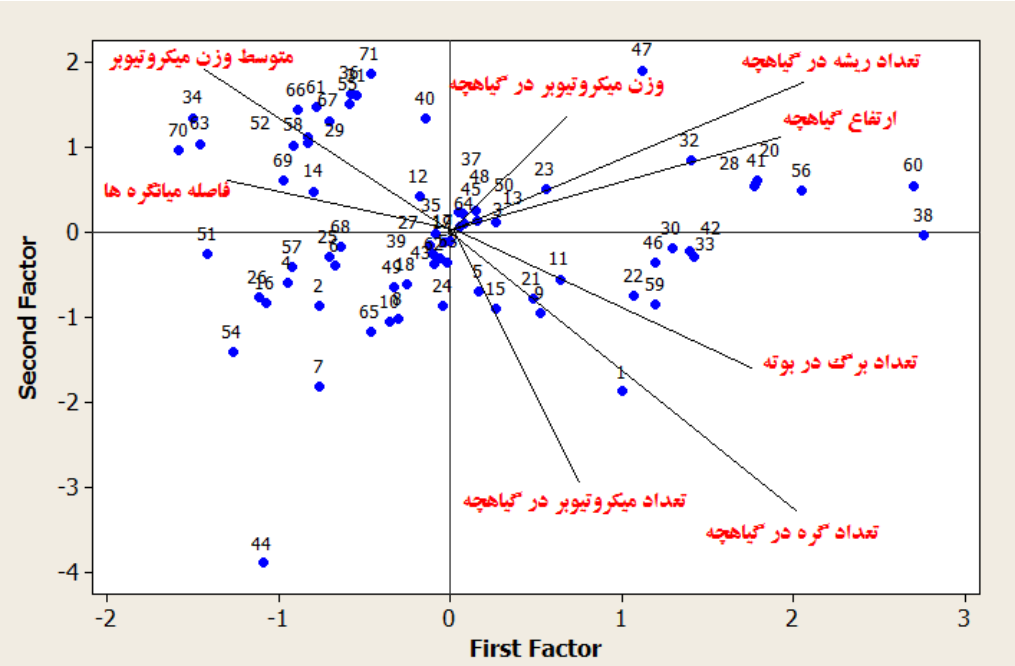
لی و همکاران (۲۰۰۵)، گوپال و همکاران (۲۰۰۵)، گوپال و اواما (۲۰۰۷)، اواما (۲۰۰۷)، حسن‌پناه (۲۰۰۹) و آژیلی و همکاران (۲۰۱۵) از پلی‌اتیلن‌گلیکول در شرایط درون‌شیشه‌ای در گیاهچه‌های سیب‌زمینی برای انتخاب گیاهان متحمل به تنش خشکی استفاده نموده‌اند. سوهارجو (۲۰۰٤) با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول در شرایط درون‌شیشه‌ای در گیاهچه‌های سیب‌زمینی، رقم کنبک را به عنوان رقم متحمل و رقم سوپریر را به عنوان رقم حساس به تنش خشکی انتخاب نمود. گوپال و همکاران (۲۰۰۸)، گوپال و اواما (۲۰۰۷) و موسی‌پور گرجی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند کشت درون شیشه‌ای ارقام سیب‌زمینی تحت شرایط نرمال و محدودیت آبی روشی مناسب برای غربال‌گری ژنوتیپ-ها می‌باشد. حسن‌پناه (۲۰۰۹) گیاهچه‌های چهار رقم آگریا، ساوالان، ساتینا و کایزر را در تحت تیمار با پلی-اتیلن‌گلیکول و هومات پتاسیم بررسی و نتیجه گرفت بالاترین میزان کلروفیل مربوط به رقم کایزر تحت شرایط نرمال همراه با هومات پتاسیم، رقم ساوالان تحت شرایط تنش همراه با هومات پتاسیم و رقم آگریا تحت شرایط نرمال همراه با هومات پتاسیم و تنش بود. براساس میزان کلروفیل ارقام آگریا، کایزر و ساوالان متحمل به کم‌آبی انتخاب شدند. حسن‌پناه (۲۰۱۰) با بررسی میزان تحمل ارقام سیب‌زمینی آگریا، ساوالان، ساتینا، کایزر، کنبک، مارفونا و سانته به تنش کم‌آبی، نتیجه گرفتند بیشترین تعداد، وزن متوسط مینی‌تیوبر و وزن مینی‌تیوبر در بوته در تیمار شاهد و کمترین مقدار آنها در فشار اسمزی ۲- بار بود. ارقام کایزر و ساوالان بیشترین تعداد و وزن مینی‌تیوبر در بوته را در

فشار اسمزی ۱- بار و ارقام کایزر و کنبک بیشترین مقدار این صفات را در فشار اسمزی ۲- بار داشتند. بیلتر و همکاران (۲۰۱۳) در شرایط درون‌شیشه‌ای از پلی‌اتیلن‌گلیکول برای انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی در سیب‌زمینی استفاده نمودند. آندریا و همکاران (۲۰۱٤) با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول ٦۰۰۰ در شرایط درون‌شیشه‌ای سیب‌زمینی رقم کروناستد و چریستین را به عنوان ارقام متحمل و رقم گارید را عنوان رقم حساس به تنش خشکی انتخاب نمودند.

با توجه به مقادیر عامل‌ها و تعداد مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک (لاولی و ماکسول ۱۹٦۳)، در شرایط نرمال تعداد ٤ عامل شناسایی شد. چهار عامل مستقل از هم مجموعاً ۸۷/٤۰ درصد از تغییرات را توجیه کردند. عامل اول با ٤۳/۳ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۳/٤۷، صفات تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت و صفت فاصله میانگره‌ها دارای ضرایب عاملی بزرگ و منفی بودند و به عنوان "عامل میکروتیوبر" انتخاب شدند. عامل دوم با توجیه ۱۷/۱ درصد از تغییرات با مقدار ویژه ۱/۳۷، شامل ضرایب عاملی مثبت و بزرگ برای صفت متوسط وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل یکنواختی میکروتیوبر" در نظر گرفته شد. عامل سوم با ۱٤/٤ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۱۵، صفت ارتفاع گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل ساختار گیاهچه" نامگذاری شد. عامل چهارم با ۱۲/٦ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۰۱، صفت تعداد ریشه در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل ریشه گیاهچه" انتخاب گردید (جدول ۳). مقادیر KMO در این آزمایش **۰/۵۸۲ بود که نشان‌دهنده اعتبار داده‌ها برای استفاده در تجزیه به عامل‌ها می‌باشد. در شرایط نرمال، ژنوتیپ‌های شماره ۳، ۱۳، ۲۱، ۲۳، ۲۸، ۳۲، ۳۸، ۳۸، ٤۰، ٤۵، ٤۸، ۵۰، ۵٦، ٦۰ و ٦٤ در منتهی‌الیه سمت راست و بالای نمودار و در جهت مثبت از لحاظ ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه و وزن میکروتیوبر در گیاهچه، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۵، ۳، ۹، ۱۱، ۱۵، ۲۱، ۲۲، ۳۰، ۳۳، ٤۲ و ٤٦ در منتهی‌الیه سمت راست و پایین نمودار و در جهت مثبت از لحاظ تعداد گره در گیاهچه و تعداد میکروتیوبر در گیاهچه، دارای بالاترین مقدار بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط نرمال انتخاب شدند (شکل ۱).

جدول ۳- ضرایب عامل‌ها در صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط نرمال

صفات	عامل			
	۱	۲	۳	٤
ارتفاع گیاهچه	۰/۱۱٦	-۰/۱۰۰	۰/۹۷٤	-۰/۱۰۲
تعداد برگ در بوته	۰/۸۵۱	-۰/۳۰۰	-۰/۰٦۸	۰/۰٦٦
تعداد ریشه در گیاهچه	۰/۰۷٦	۰/۰۱٤	۰/۰۹٤	۰/۹۹۲
تعداد گره در گیاهچه	۰/۸۳۸	-۰/۲۹۳	-۰/۰۹٤	۰/۰۷٦
فاصله میانگره‌ها	-۰/۵۱۰	۰/۱٦۷	-۰/٤۱۳	-۰/۰۲۹
تعداد میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۸٦۷	-۰/٤٦۰	-۰/۰۷۹	۰/۰٤۲
وزن میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۹۸۰	۰/۰۷۵	-۰/۰۱٦	۰/۰٤٤
متوسط وزن میکروتیوبر	-۰/۲۱۲	۰/۹٦۸	۰/۰۸٤	۰/۰۲۲
درصد واریانس	٤۳/۳	۱۷/۱	۱٤/٤	۱۲/٦
مقادیر ویژه	۳/٤۷	۱/۳۷	۱/۱۵	۱/۰۱



KMO = ۰/۵۸۲**

شکل ۱- موقعیت ژنوتیپ‌ها و صفات مورد مطالعه حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط نرمال

Jeli-G23	٦٥	Jeli-G15	٥٧	Jeli-G7	٤٩	Esprit-G11	٤١	Esprit-G3	٣٣	Banba-G9	٢٥	Banba-G1	١٧	Agria-G9	٩	Agria-G1	١
Jeli-G24	٦٦	Jeli-G16	٥٨	Jeli-G8	٥٠	Esprit-G12	٤٢	Esprit-G4	٣٤	Banba-G10	٢٦	Banba-G2	١٨	Agria-G10	١٠	Agria-G2	٢
Agria	٦٧	Jeli-G17	٥٩	Jeli-G9	٥١	Jeli-G1	٤٣	Esprit-G5	٣٥	Banba-G11	٢٧	Banba-G3	١٩	Agria-G11	١١	Agria-G3	٣
Milva)	٦٨	Jeli-G18	٦٠	Jeli-G10	٥٢	Jeli-G2	٤٤	Esprit-G6	٣٦	Banba-G12	٢٨	Banba-G4	٢٠	Agria-G12	١٢	Agria-G4	٤
Banba	٦٩	Jeli-G19	٦١	Jeli-G11	٥٣	Jeli-G3	٤٥	Esprit-G7	٣٧	Banba-G13	٢٩	Banba-G5	٢١	Milva-G1	١٣	Agria-G5	٥
Esprit	٧٠	Jeli-G20	٦٢	Jeli-G12	٥٤	Jeli-G4	٤٦	Esprit-G8	٣٨	Banba-G14	٣٠	Banba-G6	٢٢	Milva-G2	١٤	Agria-G6	٦
Jeli	٧١	Jeli-G21	٦٣	Jeli-G13	٥٥	Jeli-G5	٤٧	Esprit-G9	٣٩	Esprit-G1	٣١	Banba-G7	٢٣	Milva-G3	١٥	Agria-G7	٧
		Jeli-G22	٦٤	Jeli-G14	٥٦	Jeli-G6	٤٨	Esprit-G10	٤٠	Esprit-G2	٣٢	Banba-G8	٢٤	Milva-G4	١٦	Agria-G8	٨

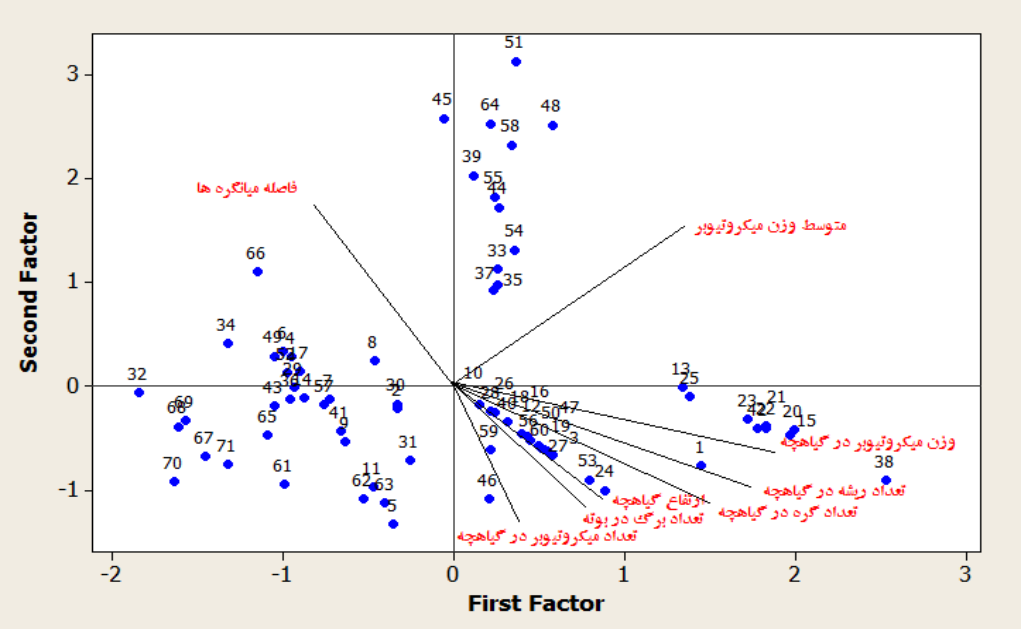
در شرایط تنش آبی ملایم، با توجه به مقادیر عامل‌ها و تعداد مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، تعداد ٥ عامل شناسایی شد. پنج عامل مستقل از هم مجموعاً ٩٩/٣ درصد از تغییرات را توجیه کردند. عامل اول با ٣٦/٤٠ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ٢/٩١، صفات تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بودند و به عنوان "عامل میکروتیوبر" انتخاب شدند. عامل دوم با توجیه ٢٠/١ درصد از تغییرات با مقدار ویژه ١/٦١، شامل ضرایب عاملی مثبت و بزرگ برای صفت فاصله میانگره‌ها و به عنوان "عامل میانگره" نامگذاری گردید. عامل سوم با ١٥/٤ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ١/٢٣، صفت متوسط وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل یکنواختی میکروتیوبر" در نظر گرفته شد. عامل چهارم با ١٤/٠ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ١/١٢، صفت ارتفاع گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و منفی بود و به عنوان "عامل ساختار

گیاهچه" نامگذاری شد. عامل پنجم با ۱۲/۴۰ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۰۷، صفت تعداد ریشه در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل ریشه گیاهچه" انتخاب گردید (جدول ٤). مقادیر KMO در این آزمایش ۰/٦٧٨** بود که نشان‌دهنده اعتبار داده‌ها برای استفاده از تجزیه به عامل‌ها می‌باشد. در شرایط تنش کم‌آبی با فشار اسمزی ۳- بار (تنش ملایم)، ژنوتیپ‌های شماره ۱، ۳، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱٦، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲٤، ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۲۸، ۳۸، ٤۰، ٤۲، ٤٦، ٤۷، ۵۰، ۵۳، ۵٦، ۵۹ و٦۰ در منتهی‌الیه سمت راست و بالای نمودار و در جهت مثبت از لحاظ ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه و تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه، دارای بالاترین مقدار بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش کم‌آبی ملایم انتخاب گردیدند (شکل ۲).

جدول ۴- ضرایب عامل‌ها در صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش آبی ملایم

صفات	عامل				
	۱	۲	۳	٤	۵
ارتفاع گیاهچه	۰/۳٦٦	-۰/۰٦۰	۰/۰۸۳	-۰/۹۱٤	۰/۰۰٦
تعداد برگ در بوته	۰/٦۹۲	-۰/۵۷۳	-۰/۲۳۱	-۰/۲۸۲	۰/۱۵٦
تعداد ریشه در گیاهچه	۰/۱٦۷	-۰/۱۳۲	-۰/۰٦۱	-۰/۱۲٤	۰/٦۰۵
تعداد گره در گیاهچه	۰/۷۲۹	-۰/۵٤٤	-۰/۲٤۳	-۰/۲۷۲	۰/۰٦۵
فاصله میانگره‌ها	-۰/۲۹۱	۰/۸۹٦	۰/۳۰٦	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵
تعداد میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۹۲۰	-۰/۲٤۷	-۰/۰۷٤	-۰/۲۵٤	-۰/۰۰٤
وزن میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۹۰۱	-۰/۱۱۵	۰/۳۳٤	-۰/۲۱٤	-۰/۰٤٤
متوسط وزن میکروتیوبر	۰/۰٤۰	۰/۲۹۸	۰/۹٤۹	-۰/۰٦۵	-۰/۰۰۸
درصد واریانس	۳٦/٤	۲۰/۱	۱۵/٤	۱٤/۰	۱۲/٤
مقادیر ویژه	۲/۹۱	۱/٦۱	۱/۲۳	۱/۲۰	۱/۰۷

KMO = ۰/٦٧٨**



شکل ۲- موقعیت ژنوتیپ‌ها و صفات مورد مطالعه حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش آبی ملایم

در شرایط تنش آبی شدید، با توجه به مقادیر عامل‌ها و تعداد مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک، تعداد ۵ عامل شناسایی شد. پنج عامل مستقل از هم مجموعاً ۹۸/۷ درصد از تغییرات را توجیه کردند. عامل اول با ۳۸/٦ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۳/۰۸، صفات تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بودند و به عنوان "عامل میکروتیوبر" انتخاب شدند. عامل دوم با توجیه ۱۸/٦ درصد از تغییرات با مقدار ویژه ۱/٤۹، شامل ضرایب عاملی منفی و بزرگ برای صفت فاصله میانگره‌ها و به عنوان "عامل میانگره" نامگذاری گردید. عامل سوم با ۱۵/۵۰ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۲۳، صفت متوسط وزن میکروتیوبر در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل یکنواختی میکروتیوبر" در نظر گرفته شد. عامل چهارم با ۱۵/۰ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۲۰، صفت تعداد ریشه در گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بود و به عنوان "عامل ریشه گیاهچه" انتخاب گردید. عامل پنجم با ۱۱/۰ درصد از تغییرات و مقدار ویژه ۱/۰۱، صفت ارتفاع گیاهچه دارای ضرایب عاملی بزرگ و منفی بود و به عنوان "عامل ساختار گیاهچه" نامگذاری شد (جدول ۵). مقادیر KMO در این آزمایش **۰/۷۲۱ بود که نشان‌دهنده اعتبار داده‌ها برای استفاده از تجزیه به عامل‌ها می‌باشد. در شرایط تنش آبی شدید، ژنوتیپ‌های شماره ٤، ٦، ۷، ۱۳، ۱۵، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۵، ۲٦، ۲۷، ۳۰، ۳۵، ۳۸، ۳۹، ٤۰، ۵۳، ۵٦، ۵۷، ۵۹، ٦۰، ٦۲ و ٦۵ در منتهی‌الیه سمت راست و بالای نمودار و در جهت مثبت از لحاظ ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط میکروتیوبر، دارای بالاترین مقدار بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های برتر در شرایط تنش آبی شدید) انتخاب شدند (شکل ۳). در هر سه شرایط (نرمال، ملایم و شدید)، در عامل اول به طور متوسط ٤۰ درصد از تغییرات را صفات تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه و تعداد گره در گیاهچه با ضرایب عاملی بزرگ و مثبت بودند. محققین متعددی در گیاه سیب‌زمینی، از روش تجزیه به عامل‌ها برای تعیین موقعیت صفات و ژنوتیپ‌ها استفاده نموده‌اند (ربیعی و همکاران، ۲۰۰۸؛ خدمتی و همکاران، ۲۰۱۳؛ نیک‌منش و حسن‌پناه، ۲۰۱٤؛ جوینده و همکاران، ۲۰۱٤؛ ذاکرحمیدی و حسن‌پناه، ۲۰۱٤، حسن‌پناه، ۲۰۱٤). ویتیلانین و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی تنوع ژنتیکی صفات در ۳۲ رقم سیب‌زمینی با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گزارش کردند که در مؤلفه اول صفات میزان رنگ و توزیع رنگ‌دانه‌ها در بافت‌ها و در مؤلفه دوم صفات مربوط به اندازه، شکل غده و گل دارای اهمیت بیشتری بودند. ربیعی و همکاران (۲۰۰۸) با انجام تجزیه به عامل‌ها بر روی ارقام سیب‌زمینی، دو عامل مهم که عامل اول سطح برگ و عامل دوم وضعیت ساختاری گیاه تعیین گردید.

جمع بندی کلی

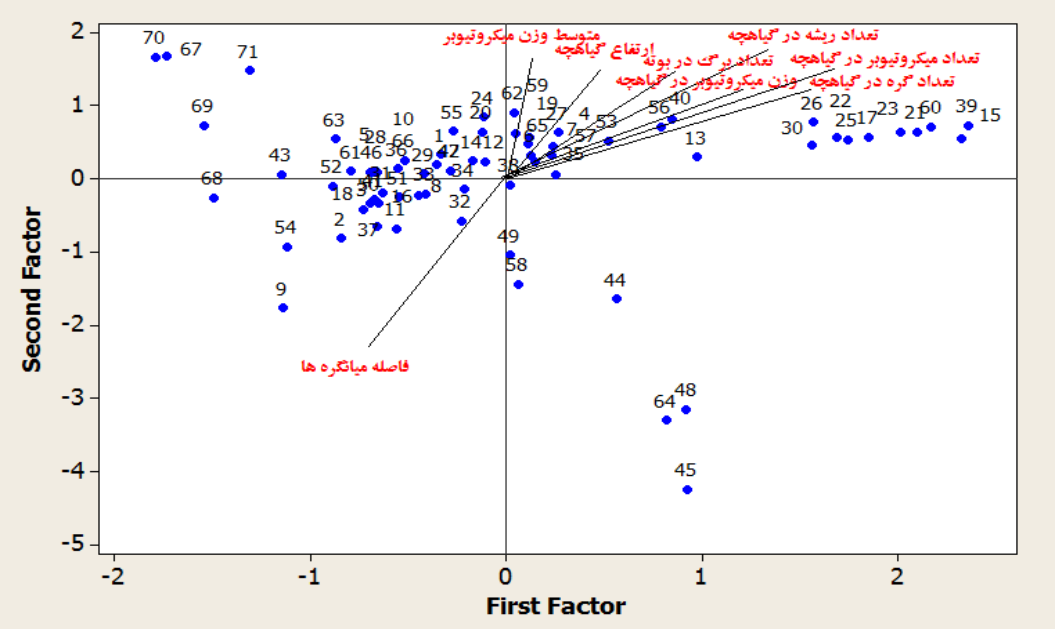
از تعداد ۲۵۱۷ ژنوتیپ سیب‌زمینی پس از بررسی در شرایط نرمال و تنش محدودیت‌آبی، تعداد ٦٦ ژنوتیپ برای بررسی از لحاظ صفات ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، فاصله میانگره‌ها، تعداد و وزن میکروتیوبر در هر گیاهچه و متوسط وزن میکروتیوبر انتخاب شدند. براساس نتایج مقایسه میانگین صفات، در شرایط تنش ملایم و شدید ژنوتیپ‌های Milva-G1، Milva-G3، Banba-G5، Banba-G6، Banba-G7، Banba-G9 و Esprit-G8 از بیشترین تعداد برگ، گره و میکروتیوبر در گیاهچه برخوردار بودند. براساس نتایج تجزیه به عامل‌ها، ژنوتیپ‌های ۱۳ (Milva-G1)، ۱۵ (Milva-G3)، ۱۹ (Banba-G3)، ۲۱

(Banba-G5)، ۲۲ (Banba-G6)، ۲۳ (Banba-G7)، ۲۵ (Banba-G9)، ۲۶ (Banba-G10)، ۲۷ (Banba-G11)، ۳۸ (Esprit-G8)، ۴۰ (Esprit-G10)، ۵۳ (Jeli-G11)، ۵۶ (Jeli-G14)، ۵۹ (Jeli-G17) و ۶۰ (Jeli-G18) در هر دو شرایط تنش ملایم و شدید دارای بیشترین ارتفاع گیاهچه، تعداد برگ در گیاهچه، تعداد گره در گیاهچه، تعداد ریشه در گیاهچه، تعداد و وزن میکروتیوبر در گیاهچه و متوسط میکروتیوبر بودند و به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به تنش محدودیت آبی انتخاب شدند. در ادامه این تحقیق، براساس شیوه‌نامه پژوهشی محصولات زراعی و باغی کشور، پس از تولید مینی-تیوبر (در گلخانه) و تکثیر غده (در مزرعه) ژنوتیپ‌های انتخابی، در آزمایشات مقدماتی، پیشرفته و سازگاری بررسی و در نهایت به عنوان رقم ملی نامگذاری خواهند شد (شیوه‌نامه‌های پژوهشی ۱۳۸۸).

جدول ۵- ضرایب عامل‌ها در صفات مورد مطالعه برای ژنوتیپ‌های مورد بررسی در شرایط تنش آبی شدید

صفات	عامل				
	۱	۲	۳	۴	۵
ارتفاع گیاهچه	۰/۵۳۸	-۰/۰۰۳	۰/۲۳۳	۰/۲۷۳	-۰/۷۶۲
تعداد برگ در بوته	۰/۷۴۱	۰/۴۸۳	-۰/۰۷۱	۰/۳۰۲	-۰/۲۸۲
تعداد ریشه در گیاهچه	۰/۳۶۸	۰/۱۹۶	۰/۰۲۳	۰/۸۸۹	-۰/۱۸۹
تعداد گره در گیاهچه	۰/۷۶۷	۰/۴۸۷	-۰/۰۴۹	۰/۲۹۲	-۰/۲۶۳
فاصله میانگره‌ها	-۰/۲۵۲	-۰/۹۴۴	۰/۱۵۸	-۰/۱۴۳	-۰/۰۱۹
تعداد میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۸۸۹	۰/۱۶۶	۰/۰۶۲	۰/۳۱۵	-۰/۲۵۲
وزن میکروتیوبر در گیاهچه	۰/۸۱۶	۰/۱۹۲	۰/۴۳۶	۰/۲۰۲	-۰/۱۹۶
متوسط وزن میکروتیوبر	۰/۰۸۲	-۰/۱۶۱	۰/۹۷۸	۰/۰۰۴	-۰/۱۰۳
درصد واریانس	۳۸/۶	۱۸/۶	۱۵/۵	۱۵/۰	۱۱/۰
مقادیر ویژه	۳/۰۸	۱/۴۹	۱/۲۳	۱/۲۰	۱/۰۸

KMO = ۰/۶۷۸**



شکل ۳- موقعیت ژنوتیپ‌ها و صفات مورد مطالعه حاصل از تجزیه به عامل‌ها در شرایط تنش کم‌آبی شدید

منابع مورد استفاده

Agili S, Aggrey BN, Ngamau K and Masinde WP. 2015. *In vitro* evaluation of orange-fleshed sweet potato genotypes for drought tolerance using polyethylene glycol. Potato and Sweet Potato in Africa: Transforming the Value Chains for Food and Nutrition Security.

Agili S, Nyende B, Ngamau K and Masinde WP. 2013. *In vitro* evaluation of orange-fleshed sweet potato for drought tolerance using polyethylene glycol. 9th Triennial African Potato Association Conference Naivasha, Kenya.

Ahloowalia BS. 1990. *In vitro* radiation mutagenesis in potato. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, 8: 39-46.

Andreea N, Mihaela C, Nicoleta C and Monica P. 2014. *In vitro* response to drought tolerance for different potato varieties. Analele Universităţii din Oradea, Fascicula Protecţia Mediului, XXIII: 257-262.

Anonymous. 2017. Agricultural Statistics. Ministry of Jihad-e-Agriculture, Tehran, Iran. 174 pp (In Persian).

Badarau CL, Marculescu A and Chiru N. 2013. The effects of new treatments on PVY infected potato plants under drought conditions. Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry & Wood Industry & Agricultural Food Engineering, 655: 99-104.

Bilter AS, Roselyna I and Charloq P. 2013. Growth and proline content of potato *Solanum tuberosum* L. *in vitro* candidate tolerant to drought of origin callus. Proceedings of the 3rd Annual International Conference Syiah Kuala University (AIC Unsyiah) and In Conjunction with the 2nd International Conference on Multidisciplinary Research (ICMR), October 2-4, 2013, Banda Acheh, Indonesia.

Blum, A. 2006. Use of PEG to induce and control plant water deficit in experimental hydroponics culture. Focus on form: Retrieved 2007, from http://www.spectrapor.com

Bussis D, Kauder F and Heineke D. 1998. Acclimation of potato plants to polyethylene glycol-induced water deficit I. Photosynthesis and metabolism. Journal of Experimental Botany, 49(325): 1349-1360.

Faberio C, Martin de Santa Olalla F and De Juan JA. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agricultural Water Management, 48: 255-266.

FAO Statistical Database. 2015. Agriculture statistics. www.http:// URL: faostat, fao.org/faostat.

Gopal J and Iwama K. 2007. *In vitro* screening of potato against water-stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. Plant Cell Reports, 26(5): 693-700.

Gopal J, Chamail A and Sarkar D. 2005. Use of microtubers for slow growth *in vitro* conservation of potato germplasm. Plant Genetic Resources Newsletter, 141: 56-60.

Gopal J, Iwama K and Jitsuyama Y. 2008. Effect of water stress mediated through agar on *in vitro* growth of potato. *In Vitro* Cellular and Developmental Biology Plant, 44: 221-228.

Gosal SS, Das A, Gopal J, Minocha J, Chopra HR and Dhaliwal HS. 2001. *In vitro* induction of variability through radiation for late blight resistance and heat tolerance in potato. Biotechnology Centre, Punjab Agricultural University, Ludhiana, Punjab, India. 7-13.

Hase Y, Okamura M, Takeshita D, Narumi I and Tanaka A. 2010. Efficient induction of flower-color mutants by ion beam irradiation in petunia seedlings treated with high sucrose concentration. Plant Biotechnology, 27: 99-103.

Hassanpanah D, Rahimi M and Vedadi S. 2015. Evaluation of genetic diversity of potato genotypes for some traits irradiated with gamma ray in Caesar cultivar. Journal of Crop Ecophysiology, 2(34): 215-230. (In Persian).

Hassanpanah D. 2009. *In vitro* and *in vivo* screening of potato cultivars plantlets against water stress by polyethylene glycol and potassium humate. Biotechnology, 8(1): 132-137.

Hassanpanah D. 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under *in vitro* and *in vivo* condition. Biotechnology, 92: 164-169.

Hassanpanah D. 2014. Evaluation of genetic diversity in 65 genotypes of potato by using factor and cluster analysis. Journal of Crop Ecophysiology, 8-1(29):83-96. (In Persian).

Hassanpanah D. and M. Khodadadi. 2009. Study the plantlet age effect and planting beds on Agria potato mini-tuber production under *in vivo* condition. Journal of Biological Sciences, 727-3048.

Irna A and Mauromicale G. 2006. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. Agriculture and Water Management, 82: 193-209.

Iwama K. 2007. *In vitro* screening of potato against water-stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. Plant Cell Reports, 26(5): 693.

Jouyandeh Kelashemi I and Hassanpanah D. 2014. Evaluation of genetic diversity for yield and yield component in the hybrids produced from breeding population of HPS×II/67 potato. International Journal of Current Life Sciences, 4(11): 10107-10110.

Khedmati M, Hassanpanah D and Taghizadeh R. 2013. A survey on correlation and path coefficient analysis between yield and yield components cultivars and early advanced average potato clones in spring cultivation of Ardebil region. International Journal of Farming and Allied Sciences, 2(17): 621-625.

Lawley DN and Maxwell AE. 1963. Factor analysis: as a statistical method. Buttterwoths, London.

Li CH, Wang D and Wang GX. 2005. The protective effects of on potato seedling leaves during osmotic stress. Botanical Bulletin- Academia Sinica Taipei Journal, 46: 119-125.

Money NP. 1989. Osmotic pressure of aqueous polyethylene glycols. Relationship between molecular weight and vapor pressure deficit. Journal of Plant Physiology, 91: 766-769.

Mousapour Gorji, A, Matyas K, Dublecz Z, Decsi K, Cernak I, Hoffmann B, Taller J and Polgar Z. 2012. *In vitro* osmotic stress tolerance in potato and identification of major QTLs. American Journal of Potato Research, 89(6): 453-464.

Murashige T and Skoog F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures. Journal of Plant Physiology, 15: 473-497.

Nickmanesh L and Hassanpanah D. 2014. Evaluation of genetic diversity for agronomic traits in 127 potato hybrids with using multivariate statistical methods. Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences, 4(2): 502-507.

Rabiei K, Khodambashim V and Rezaei AM. 2008. Using multivariate statistical methods to identify the potato yield characteristics under drought stress and non-stress conditions. Journal of Scientific and Technological Agriculture and Natural Resources, 12(46): 131-140. (In Persian).

Research Stylesheet. 2009. Horticulture Crops.Seed and plant improvement Institue. 42 pp.

Saif-Ur-Rasheed M, Asad S and Zafar Y. 2001. Use of radiation and *in vitro* techniques for development of salt tolerant mutants in sugarcane and potato. National Institute for Biotechnology and Genetic Engineering Nuclear Institute of Agriculture and Biology Faisalabad, Pakistan. pp 61-75.

Schittenhelma S, Sourell H and Lopmeierc FJ. 2006. Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. European Journal of Agronomy, 24: 193-202.

Sharabash MT. 2001. Radiation induced variation in potato for tolerance to salinity using tissue culture technique. National Center for Research and Radiation Technology, Atomic Energy Authority, Nasr City, Cairo, Egypt. pp 83-87.

Shin JM, Kim BK, Seo SG, Jeon SB, Kim JS, Jun BK, Kang SY, Lee JS, Chung MN and Kim SH. 2011. Mutation breeding of sweet potato by gamma-ray radiation. African Journal of Agricultural Research, 6(6): 1447-1454.

Shock CC and Feibert SH. 2002. Deficit Irrigation on potato. In deficit irrigation practices. FAO, Rome. pp 47-56.

Suharjo UKJ. 2012. The effect of Polyethylene Glycol (PEG) 8000 on the growth of seven potato genotypes and their tuber production *in vitro*. Proceedings Society Indonesia Biodiversity International Conference, 1: 38-42.

Taji A, Kumar P and Lakshmanan P. 2002. *In vitro* plant breeding. Food products. New York. pp 167.

Tourneux C, Devaux A, Camacho MR, Mamani P and Ledent JF. 2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the high lands of Bolivia (I): Morphological parameters, growth and yield. Agronomie, 23: 169-179.

Vasline YA. 2013. An investigation on induced mutations in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Arch, 13(1): 555-557.

Vetelainen M, Gammelgard E and Valkonen JPT. 2005. Diversity of Nordic landrace potatoes (*Solanum tuberosum* L.) revealed by AFLPs and morphological characters. Genetic Resources and Crop Evolution, 52: 999-1010.

Wang H, Xiao L, Tang J and Liu F. 2010. Foliar application of chloral choline chloride improves leaf mineral nutrition, antioxidant enzyme activity, and tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). Scientia Horticulturae, 125: 521-523.

Wang Y, Wang F, Zhai H and Liu Q. 2007. Production of a useful mutant by chronic irradiation in sweet potato. Scientia Horticulturae, 111(2): 173-178.

Zakerhamidi S and Hassanpanah D. 2014. Investigation of genetic diversity for quantitative traits in 166 potato hybrids of produced from Luca and Caesar cultivars crosses. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences, 3(12): 34-37.

Zareh Chahoki MA. 2010. Multivariate analysis methods in SPSS software. University of Tehran. 35 pp.