

«مقاله پژوهشی»

غربال‌گری ژرم‌پلاسم‌های ایرانی سیب‌زمینی جهت مقاومت به ویروس‌های PVX و PVY

زهرا حاجی‌برات^۱، عباس سعیدی^{۱*}، احمد موسی‌پور گرجی^۲، مهرشاد زین‌العابدینی^۳، محمدرضا غفاری^۲، رحیم احمدوند^۲

۱. گروه زیست‌فناوری گیاهی و بیوتکنولوژی، دانشکده علوم و فناوری زیستی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳. گروه زیست‌شناسی سیستم‌ها، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۶)

Screening of Iranian potato germplasm for resistance to PVY and PVX

Zahra Hajibarat¹, Abbas Saidi^{1*}, Ahmad Mosuapour Gorji², Mehrshad Zienalabedini³, Mohammad Reza Ghaffari³ and Rahim Ahmadvand²

1. Department of Plant Sciences and Biotechnology, Faculty of Life Sciences and Biotechnology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

2. Department of Vegetable Research, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

3. Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran, Department of Systems and Synthetic Biology, Karaj, Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Iran.

(Received: Jan. 5, 2021 - Accepted: Jun. 16, 2021)

Abstract

Potato virus Y (PVY) and Potato virus X (PVX) are the most important potato-infecting agent causing yield loss and tuber quality reduction. In this study, an experiment was conducted in Karaj, Iran, to investigate the effects of mentioned viruses on the yield and resistance level of 33 potato genotypes. The experiment was performed based on randomized complete design in factorial format under two levels viruses with three replications. The results revealed that the viral infection had a significant impact on mean yield, seed yield (tuber size 35-55), ware yield (tuber size > 55 mm), and non-marketable yield (tuber size < 35). Based on cluster analysis for PVY, cluster VII was considered maximum resistant genotypes to PVY in terms mean absorption and yield, while cluster VI was identified susceptible genotypes in to PVY. According to cluster analysis of PVX virus, cluster I was considered highest resistant genotypes in terms mean absorption and yield and cluster III were maximum susceptible genotypes to PVX infection. Results of this study showed that genotype G23 with a mean-absorption of 0.01 and 0.032 for PVY and PVX, respectively, and mean yield of 4.1 kg/m² was considered as a highly resistant genotype to both viruses. The concurrent selection of genotypes for high yield and resistant to both viruses (PVX and PVY) can facilitate potato breeding programs.

Keywords: Cluster, ELISA, Genotype, Resistance, Susceptible.

چکیده

ویروس‌های *Potato virus X* و *Potato virus Y* (PVY) از مهم‌ترین عوامل آلوده‌کننده سیب‌زمینی هستند که باعث کاهش عملکرد و کیفیت غده می‌شوند. در این مطالعه، آزمایشی برای بررسی تأثیر ویروس‌های مذکور بر عملکرد غده و سطح مقاومت ۳۳ ژنوتیپ سیب‌زمینی در کرج انجام شد. آزمایش به صورت طرح کاملا تصادفی در قالب فاکتوریل می‌باشد و در دو سطح ویروس در سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که آلودگی ویروسی تأثیر معنی‌داری بر میانگین عملکرد غده، عملکرد بذری (اندازه غده ۳۵-۵۵ میلی‌متر)، عملکرد خوراکی (اندازه غده بزرگتر از ۵۵ میلی‌متر) و عملکرد غیرقابل‌فروش (اندازه غده کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر) دارد. براساس تجزیه خوشه‌ای ویروس PVY، خوشه هفتم بیشترین ژنوتیپ‌های مقاوم به ویروس PVY به لحاظ میانگین جذب نوری و میانگین عملکرد در نظر گرفته‌شد و درحالی‌که خوشه ششم دارای ژنوتیپ‌های حساس به ویروس PVY شناسایی شدند. بر مبنای تجزیه خوشه‌ای ویروس PVX، خوشه اول بیشترین ژنوتیپ‌های مقاوم به لحاظ میانگین عملکرد و جذب نوری در نظر گرفته‌شد و خوشه سوم دارای بیشترین ژنوتیپ‌های حساس به ویروس PVX هستند. نتایج این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ G23 با میانگین جذب نوری ۰/۰۱ و ۰/۰۳۲ و میانگین عملکرد ۴/۱ کیلوگرم بر متر مربع، به ترتیب ژنوتیپ مقاوم به PVY و PVX می‌باشد. انتخاب همزمان ژنوتیپ‌ها با عملکرد بالا و مقاوم در برابر هر دو ویروس به تسریع در برنامه‌های اصلاح سیب‌زمینی کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: الیازا، خوشه، ژنوتیپ، مقاومت، حساسیت.

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) به لحاظ، تولید در جهان سومین رتبه بعد از برنج و گندم را به خود اختصاص داده‌است (Mumia et al., 2017). سیب‌زمینی براساس آمار جهانی، یکی از پرمصرف‌ترین محصولات زراعی می‌باشد و در بیش از ۱۰۰ کشور جهان کشت و کار می‌شود. بیشترین میزان مصرف این محصول در اروپا و آمریکای شمالی بوده و به شکل چشمگیری مصرف این محصول در آسیای غربی و جنوبی در حال افزایش است. با توجه به مصرف روزافزون سیب‌زمینی در سطح جهانی، این محصول به عنوان فاکتور بنیادی در امنیت غذایی میلیون‌ها نفر در نظر گرفته می‌شود. با وجود اینکه در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت و تقاضا برای غذا روبه افزایش بوده، کاهش چشمگیری در عملکرد سیب‌زمینی تحت تأثیر بیماری‌های مختلف مشاهده شده‌است (Schulte-Geldermann et al., 2012). سیب‌زمینی برای مصرف تازه و فرآوری (سیب‌زمینی خوراکی) به صورت رویشی از غده‌های بذری تولید می‌شود. تعداد زیادی از عوامل بیماری‌زا از این طریق از نسلی به نسل دیگر منتقل می‌شود. برای جلوگیری از بیماری‌های ویروسی و کاهش عملکرد، سیب‌زمینی بذری می‌بایست عاری از آلودگی باشد. ویروس‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید سیب‌زمینی محسوب می‌شوند. ویروس‌های سیب‌زمینی اعم از *Potato virus Y* (PVY), *potato virus X* (PVX), *Potato virus S* (PVS), *Potato virus A* (PVA) و *Potato virus M* (PVM) در سال‌های اخیر از اهمیت زیادی در سراسر جهان برخوردار شده‌اند. این ویروس‌ها عامل اصلی کاهش مقدار و کیفیت غده سیب‌زمینی در طول دوره رشد هستند (Abbas et al., 2012). آلودگی همزمان ویروس‌ها با دیگر مانند PVX با PVY و PVA می‌تواند باعث ایجاد علائم شدید در سطح برگ و

غده شود. همچنین از دست‌دادن عملکرد به میزان بالاتری نسبت به آلوده‌سازی هر سه ویروس به تنهایی را باعث شود (Jayashige et al., 1989). میزان خسارت از نظر کیفیت و کمیت غده بسته به نوع ویروس ۱۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد (Hosseini et al., 2011). این میزان خسارت بسته به میزان تولید و نوع ویروس متفاوت می‌باشد ولی به طور میانگین، برای ۱۰ درصد خسارت ویروس حدود ۷ تن در هکتار کاهش عملکرد در مزارع ایران محاسبه شده است. در این صورت ارائه استراتژی‌های پایدار برای مدیریت ویروس‌ها و ناقلین ویروس ضروری تلقی است (John et al., 2013). در گذشته، روش مرسوم برای کنترل ویروس‌های سیب‌زمینی سمپاشی در برابر شته‌ها بوده که انتقال دهنده‌های اصلی ویروس هستند. این روش هزینه‌بر و خسته‌کننده است و همچنین برای اکوسیستم بیولوژیکی ایجاد آلودگی می‌کند (Nyaga, 2008). علاوه بر این، امکان مبارزه شیمیایی با عامل ویروسی وجود ندارد، استفاده از ارقام مقاوم، اقتصادی‌ترین و کم‌خطرترین روش مبارزه و کاهش خسارت می‌باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ارقام سیب‌زمینی از نظر واکنش در برابر ویروس‌ها با یکدیگر تفاوت دارند و بر همین اساس برخی ارقام به عنوان مقاوم یا حساس معرفی شده‌اند. بسیاری از ژن‌های مقاومت به ویروس در گونه‌های وحشی در مجموعه‌های مختلف در سراسر جهان موجود است (Saidi and Safaeizadeh, 2011; Saidi et al., 2020). این مقاومت در ارقام و گونه‌های وحشی بوسیله ژن‌های غالب و بزرگ اثر کنترل می‌شود. ژن‌های *Ry*، مقاومت بسیار بالا به PVY را ایجاد می‌کنند (Ribeiro et al., 2014). این ژن‌ها *Ry^{adg}* در *S. tuberosum ssp. andigena* و ژن *Ry^{sto}* در *S. stoloniferum* و ژن *Ry^{che}* در گونه *S. chacoense* شناسایی شدند (Cockerham 1970, Valkonen et al., 1994,) (Tiwari et al., 2012). هدف برنامه‌های اصلاحی،

بهره‌گیری از منابع مقاومت و ایجاد ارقام تجاری مقاوم است که مستلزم تلاقی وارسته‌های محلی با رقم‌های مناسب است تا وارسته‌ای با مقاومت پایدار در برابر بیماری‌های ویروسی ایجاد شود (Gildemacher, 2011). استفاده از ژن‌های مقاوم از گونه‌های وحشی منجر به افزایش متوسط عملکرد سیب‌زمینی در بیش از ۳۴ درصد در هکتار شده است (Gildemacher, 2011; Safaeizadeh and Saidi, 2011). با کمک روش‌های اصلاحی، ارقام و ژنوتیپ‌های اصلاح‌شده گاهی حاوی چندین نسخه از ژن‌های مقاومت بوده یا در موارد دیگر مقاومت به ویروس‌های مختلف را به همراه دارد. با توجه به خسارت زیاد عملکرد تحت تنش ویروسی PVX و PVY، هر دو گروه از نظر بیولوژیکی و اقتصادی و کشاورزی از اهمیت قابل توجهی نسبت به سایر ویروس‌ها برخوردار می‌باشد (Kopp et al., 2015). اصلاح‌گران می‌بایست والدینی را انتخاب کنند که مقاومت بیشتری در برابر PVX و PVY با بالاترین تعداد آلی غالب را داشته باشند که باعث حداقل کاهش عملکرد در پاسخ به ویروس‌ها داشته باشند (Solomon and Barke, 2001; Saidi and Hajibarat, 2021). بنابراین، والدینی که ژن‌های مقاومی برای هر دو ویروس را دارند دارای بالاترین تعداد ژن‌های غالب تکی (سه یا چهار نسخه) می‌باشند. نتایج مطالعه Andrade و همکاران در سال ۲۰۰۹ نشان داد که ژنوتیپ‌هایی با دوزهای آلی چندتایی از Ry^{ad} مقاومتی قابل ملاحظه در برابر PVY دارند که تأثیر بسزایی در بهبود ژنتیکی سیب‌زمینی ایجاد می‌کنند (Bradshaw and Mackay, 1994; Kneib et al., 2017). اگرچه، برخی از ویروس‌ها می‌توانند علائمی بر روی غده را در ارقام حساس القا کنند، اما برخی از ویروس‌ها علائم خاصی بر روی غده‌ها ندارند. تکنیک الیزا یکی از حساس‌ترین تکنیک‌های سرولوژیکی برای تشخیص ویروس سیب‌زمینی است (Martin-

(Souto, 2020)، که یک رویکرد کاملاً مطمئن، ارزان، سریع و حساس می‌باشد (Wrobel, 2014). پژوهشگران از روش استاندارد ماندن الیزا، برای بررسی آلودگی ویروسی غده‌های سیب‌زمینی استفاده می‌کنند که حداقل پس از ۶ هفته میزان آلودگی تعیین می‌شود (Avrahami-Moyal et al., 2017). تشخیص ویروس با استفاده از این روش براساس شناسایی پادتن‌های خاص (آنتی‌بادی) برای واکنش در شرایط آزمایشگاهی با ذرات ویروس‌ها (آنتی‌ژن) است. با مخلوط کردن آنتی‌بادی‌ها می‌توان همزمان بیش از یک ویروس را تشخیص داد و استراتژی ارزان و آسان است. استفاده از روش الیزا برای تشخیص نمونه‌های آلوده و سپس از بین بردن نمونه آلوده می‌تواند یک روش مطلوب برای به حداقل رساندن منبع تلقیح ویروس در سیب‌زمینی بذری باشد (Salazar, 1996). تا به امروز، تعداد برنامه‌های کمی برای بررسی تأثیر ویروس‌های سیب‌زمینی بر ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی و اثرات آنها بر اندازه غده بذر و کیفیت سیب‌زمینی و شاخص انتخاب میانگین جذبی PVX و PVY انجام شده است. اهداف این تحقیق شامل شناسایی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی مقاوم در پاسخ به PVX و PVY و تعیین ژنوتیپ مقاوم با حداکثر عملکرد در واکنش به آلودگی‌های PVX و PVY و انتخاب والدین مناسب برای برنامه اصلاحی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی

مواد گیاهی شامل ۳۲ ژنوتیپ سیب‌زمینی بود که در مؤسسه تحقیقات و اصلاح نهال و بذر در کرج، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه ۵۵ درجه سانتی‌گراد، طول جغرافیایی ۵۰ درجه ۵۴ درجه شرقی، ارتفاع ۱۳۱۳ متر بالاتر از سطح متوسط دریا در سال ۱۳۹۹ کشت گردید (جدول ۱). در این آزمایش ژنوتیپ‌ها براساس به‌صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب

تست الایزا آلودگی آن‌ها بررسی گردید. این روش برمبنای CIP می‌باشد که رویکردی سختگیرانه‌تر نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. برای تعیین نوع مقاومت ژنوتیپ‌های مقاوم از آزمایش مایه‌زنی پیوند استفاده شد. سایر ژنوتیپ‌ها میزان جذب بالاتری نسبت به حد آلودگی (Cut off) داشتند به عنوان ژنوتیپ حساس تلقی شدند. هم‌چنین کلون‌هایی که در همه تکرارها فاقد علائم آلودگی بودند، جهت تعیین نوع مقاومت ((Extreme (ER, Resistance و (HR, Hypersensitive Resistance)) در آزمایش مایه زنی پیوند استفاده شد. در صورت مشاهده علائم آلودگی حتی در یک گیاهچه از هر ژنوتیپ آزمایشی به عنوان ژنوتیپ حساس تلقی شد. ژنوتیپ‌های مقاوم برای آزمایش بعدی که همان مایه‌زنی پیوندی است مورد استفاده قرار می‌گیرند و ژنوتیپ‌های حساس برای آزمایش پیوند استفاده نمی‌شوند.

برای شناسایی نوع مقاومت در آزمایش مایه‌زنی پیوند از گیاهچه‌دهنده ویروس (پایه یا پیوندک) استفاده می‌شود که گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی رقم حساس روتگرز (Routgers) به هر دو ویروس توسط عصاره آلوده به هریک از ویروس‌های PVX و PVY به طور جداگانه در شرایط گلخانه مایه‌زنی شده و پس از مایه‌زنی توسط تست الایزا از آلودگی گیاهچه‌ها اطمینان حاصل شد. گیاهچه‌های گوجه‌فرنگی آلوده به ویروس در آزمایش به عنوان پایه انتخاب کرده و به صورت شکافی به ژنوتیپ‌ها پیوند زده و محل پیوند توسط پارافیلیم حفظ رطوبت بسته شد. حداکثر سه هفته پس از مایه‌زنی از برگ‌های بالایی نمونه‌برداری انجام شد و تست الایزا برای هر یک از دو ویروس به طور جداگانه بررسی شد.

نتیجه نهایی واکنش هر یک از کلون‌ها را باتوجه به نتایج آلودگی یا عدم آلودگی در آزمایشات مایه‌زنی مکانیکی و پیوند آنالیز می‌شود. با توجه به روش

فاکتوریل با سه تکرار در گلخانه کشت شدند. با استفاده از آنتی‌سرم IgG-PVY چند همسانه‌ای خریداری شده از شرکت بایوربا سوئیس در آزمون الایزا (DAS-ELISA) آلودگی هریک از ژنوتیپ‌ها نسبت به ویروس‌های PVY، PVX، PVA، PVS، PVM و *Potato leafroll virus* (PLRV) بررسی شد. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به ویروس‌های مذکور آلودگی نداشتند، جهت تکثیر از طریق ریزازدیادی انتخاب شدند. به منظور تکثیر اولیه ژنوتیپ‌های عاری از ویروس مورد استفاده در آزمایش، ابتدا با استفاده از الکتروترایی و شیمیوتراپی عمل ویروس‌زدایی انجام شد و سپس گیاهچه‌های حاصل از کشت مریستم با استفاده از تست الایزا مورد بررسی قرار گرفتند. ژنوتیپ‌هایی که نسبت به هریک از ویروس‌های مذکور آلودگی نداشتند جهت تکثیر انتخاب شدند و برای ارزیابی مقاومت در برابر ویروس‌ها استفاده شد.

ارزیابی مقاومت در برابر ویروس‌های PVY و PVX

واکنش ژنوتیپ‌های آزمایشی به ویروس‌های PVY و PVX با استفاده از روش‌های مایه‌زنی مکانیکی و پیوندی در دو آزمایش جداگانه با ۳ تکرار در شرایط گلخانه، بر اساس پروتکل استاندارد مرکز سیب‌زمینی بین‌المللی (CIP) ارزیابی شد (CIP, 2007; Mousapour Gorji et al., 2017). برای مایه‌زنی مکانیکی، ابتدا پودر کربورانوم روی چهار تا شش برگ گیاه سیب‌زمینی پاشیده شده و سپس مایه‌زنی با استفاده از عصاره برگ آلوده تنباکو به PVY و PVX در بافر فسفات (۰/۱ مولار K₂HPO₄، ۰/۰۲۵ مولار KH₂PO₄) انجام شد (Whitworth et al., 2009). پنج دقیقه بعد از مایه‌زنی گیاهان تیمار شده با آب شسته شدند.

چهار هفته پس از مایه‌زنی، از برگچه‌های بالایی محل مایه‌زنی نمونه برداری انجام شد و با انجام

(DAS-ELISA) با روش سنجش ایمنی جاذب مرتبط با آنزیم بر روی صفحات میکروتیتر پلی‌استایرن شناسایی شدند. برای ارزیابی آلودگی ویروسی ژنوتیپ‌ها از تست الایزا (DAS-ELISA) بر اساس روش کلارک و آدامس (Clarck and Adams, 1977) استفاده شد. وجود/عدم وجود ویروس PVX و PVY با استفاده از کیت الایزا طبق دستورالعمل سازنده (Agdia) تأیید شد. خوانش جذب نوری با استفاده از دستگاه الایزا ریدر ELISA در جذب نوری ۴۰۵ نانومتر، با محاسبه مقادیر جذب برای چاهک‌های نمونه بر اساس قرائت چاهک خالی مشخص شد. یک نمونه گیاهی با مقادیر برابر یا نزدیک به شاهد مثبت یا بزرگتر از سه برابر انحراف معیار استاندارد از مقادیر متوسط کنترل منفی، آلوده به ویروس در نظر گرفته شد. برای تنظیم مقدار جذب نوری و محاسبه میانگین مقدار جذب، سه تکرار الایزا انجام شد.

آنالیز داده

در این مطالعه، آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و آزمایش فاکتوریل با ۳۲ ژنوتیپ آزمایشی با ۳ تکرار انجام شد. رقم هرمس (Hermes) به عنوان شاهد حساس و رقم وایت لیدی (White Lady) به عنوان شاهد مقاوم در هر دو آزمایش استفاده شد. روش رتبه‌بندی براساس یک مقیاس از صفر تا ۱۰ (صفر: بوته مرده و ۱۰: گیاه سالم)، میزان علائم و قدرت رویش گیاه صورت گرفت. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹ مورد آنالیز قرار گرفت. تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با استفاده از نزدیک‌ترین همسایه (NJ) بر اساس میانگین عملکرد و میانگین جذب ویروس PVX و PVY با استفاده از نرم افزار SAS نسخه ۹ انجام شد. تأیید تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها با استفاده از نسخه 17 Minitab مورد سنجش قرار گرفت. برای ارزیابی روابط ژنوتیپ/صفات، تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) توسط برنامه آماری

استاندارد CIP در صورت عدم آلودگی همه گیاهچه‌های مورد بررسی در آزمایش مایه زنی مکانیکی و دو آزمایش مایه زنی پیوند، کلون مورد بررسی به عنوان ژنوتیپ مقاوم از نوع مقاومت بسیار بالا (ER) تلقی شد. اما در صورت مشاهده آلودگی در آزمایشات پیوند، کلون بررسی شده فاقد این نوع مقاومت بوده و احتمال وجود مقاومت از نوع فوق حساسیت (HR) وجود دارد (CIP, 2007). نتیجه نهایی واکنش هریک از ژنوتیپ‌ها را با توجه به نتایج آلودگی و عدم آلودگی در آزمایشات مایه‌زنی آنالیز شد. ارزیابی فنوتیپی ژنوتیپ‌ها با استفاده از علائم فنوتیپی مشخص شد. علائم ناشی از این ویروس بسته به نژاد ویروس متفاوت هستند، اما به طور کلی صرف نظر از نوع نژاد، این ویروس باعث ایجاد موزائیک، ابلقی کلروتیک و چین خوردگی شدید (Rugose) در برگ‌ها، کوتولگی، آویزان شدن برگ‌های پایینی خشک شده و لکه‌های نکرور در برگ و مرگ بوته می‌شود. میانگین عملکرد، عملکرد بذری، عملکرد خوراکی، عملکرد غیرقابل فروش هریک از ژنوتیپ‌ها در شرایط گلخانه بررسی شد.



شکل ۱. پیوند شکافی ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به گوجه‌فرنگی رقم روتگرز آلوده به ویروس.

تست سرولوژیکی

ویروس‌ها به روش الایزا ساندویچ دوطرفه الایزا

فنونتیپی ارتباط معنی‌داری وجود داشت. بطوری که ژنوتیپ‌های مقاوم دارای علائم کمتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس دارند که بیانگر حضور کمتر ویروس در ژنوتیپ مقاوم نسبت به حساس می‌باشد. علائم ویروسی گاهی به صورت خفیف، نکروتیک شدن و خشک شدن برگ، مرگ بوته و نداشتن غده باشد. در این مطالعه ژنوتیپ‌های حساس دارای علائمی مانند مرگ بوته تا نداشتن غده و ژنوتیپ‌های مقاوم دارای علائم خفیف مشاهده شدند. در این مطالعه، خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در جدول ۳ خلاصه شده است. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در ژنوتیپ‌های انتخاب شده برای صفات زراعی وجود دارد. آلودگی PVY بر روی برگ‌های سیب‌زمینی تأثیر معنی‌داری بر میانگین جذب، میانگین عملکرد، عملکرد بذری (سیب‌زمینی بین ۳۵-۵۵ میلی‌متر)، عملکرد خوراکی (سیب‌زمینی بزرگتر از ۵۵ میلی‌متر) و عملکرد غیرقابل فروش (سیب‌زمینی کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر) داشته است. میانگین جذب PVY در میان ژنوتیپ‌ها از حداقل ۰/۰۱ (G23) تا حداکثر ۰/۹۹ (Hermes) متفاوت بود. حداقل میانگین جذب PVY برای ژنوتیپ‌های G12، G2، G28، G29، G30، G50 و G5 به میزان ۰/۱۶ در خوشه دوم به دست آمد (جدول ۳). در حالی که، حداکثر میانگین جذب PVY برای ژنوتیپ‌های G5، G32، G31 و G8 در خوشه اول به میزان ۰/۴۵ مشاهده شد. علاوه بر این، تفاوت معنی‌داری در میانگین جذب PVY در میان ژنوتیپ‌های خوشه چهارم مشاهده نشد. ژنوتیپ‌های G17، H1، G60، H16، H6، H8 در خوشه چهارم و خوشه پنجم شامل ژنوتیپ‌های G31، G32، G5 و G8 بود. همچنین، آلودگی PVY تأثیر معنی‌داری بر میانگین عملکرد داشت. بررسی میانگین عملکرد به دست آمده در جدول ۳ نشان می‌دهد که بیشترین میانگین عملکرد مربوط به ژنوتیپ G31 با عملکرد ۴/۹۶ کیلوگرم بر مترمربع، در حالی که کمترین

Minitab 17 انجام شد (Arend, 2010). همبستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه و عملکرد غده تحت شرایط تنش ویروسی و نرمال با استفاده از نرم‌افزار SPSS ver. 24 محاسبه شد.

جدول ۱. مشخصات ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی در این مطالعه.

شماره	ژنوتیپ	پدیگری	شماره	ژنوتیپ	پدیگری
۱	G1	۷۰۰۹/۳	۱۸	G6	۸۷۰۳/۸۰۴
۲	G11	۸۷۰۸/۱۷۷	۱۹	G60	۸۷۰۸/۹۵
۳	G12	۸۷۰۷/۸۷	۲۰	G7	۸۷۰۷/۸۶۱
۴	G15	۸۷۰۸/۱۳۷	۲۱	G8	۸۷۰۲/۸۰۰۴
۵	G17	۸۷۰۲/۵	۲۲	G9	۸۷۰۷/۸۳
۶	G2	۸۷۰۸/۱۳۳	۲۳	H1	۹۰۱۶۷۵
۷	G21	۸۷۰۳/۱	۲۴	H10	۹۰۱۴۷۵
۸	G22	۸۷۰۸/	۲۵	H16	۹۰۲۲۲۷
۹	G23	۸۷۰۸/۱۰۶	۲۶	H18	۹۰۱۶۲۷
۱۰	G28	۸۷۰۷/۱۱۲	۲۷	H5	۹۰۱۳۲۷
۱۱	G29	۸۷۰۷/۲۹	۲۸	H3	۹۰۱۵۷۵
۱۲	G30	۸۷۰۲/۷	۲۹	H6	۹۰۵۷۵
۱۳	G31	۸۷۰۷/۲۶	۳۰	H7	۹۰۲۳۷۵
۱۴	G32	ساتینا	۳۱	H8	۹۰۵۶۷۵
۱۵	G40	۸۷۰۸/۱۰	۳۲	WL	وایت لیدی
۱۶	G5	۸۷۰۷/۵۵	۳۳	Hermes	هرمس
۱۷	G50	۲۱KSG			

نتایج و بحث

ارزیابی آلودگی و خصوصیات زراعی سیب‌زمینی در پاسخ به ویروس PVY

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (ANOVA) رتبه‌بندی فنونتیپی، صفات میانگین عملکردی و جذب PVY و جذب PVX اندازه‌گیری شده برای ارزیابی ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. میزان جذب هریک از ژنوتیپ‌های مایه‌زنی شده نشان داد که جذب در ژنوتیپ‌های مقاوم نسبت به دو برابر میانگین جذب شاهد منفی (گیاه سالم) کمتر بوده و به این ویروس‌ها آلوده نشدند. اما سایر ژنوتیپ‌ها بسته به میزان جذب بیشتری که نسبت به حد آلودگی (Cut off) داشتند. به عنوان ژنوتیپ‌های حساس تعیین شدند. همچنین بین مقاومت و حساسیت به ویروس PVY و PVX و بروز علائم

معنی‌داری برای عملکرد غیرقابل‌فروش در خوشه‌های پنجم و هفتم مشاهده نشد. واکنش هر ژنوتیپ نسبت به تنش ویروس PVY در جدول ۳ آورده شده است.

تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی تحت آلودگی PVY

براساس آنالیز تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها را به هفت گروه مجزا تقسیم‌بندی شدند. اولین خوشه شامل چهار ژنوتیپ G1، G11، G21، G9 بود. شش ژنوتیپ G12، G2، G28، G29، G30، G50 در خوشه دوم و ژنوتیپ‌های G5، G8، G31 و G32 در خوشه سوم و شش ژنوتیپ G17، H1، G60، H16، H6، H8 در خوشه چهارم گروه‌بندی شدند. خوشه‌های پنجم و ششم و هفتم به ترتیب شامل ۲، ۲ و ۸ ژنوتیپ بودند (شکل ۲). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها از ۱/۲۰۳ تا ۴/۴۶۵ کیلوگرم بر مترمربع تحت آلودگی PVY بود. میانگین جذب PVY از ۰/۱۶ تا ۰/۵۹ متغیر بود. خوشه هفتم حاوی ژنوتیپ‌های G15، G22، G23، G40، G6، G7، H10 و WL بود که بیشترین میانگین عملکرد خوراکی و عملکرد بذری را داشتند در حالی که خوشه اول کمترین میانگین عملکرد خوراکی و عملکرد بذری را داشت.

بیشترین و کمترین میانگین جذب PVY به ترتیب مربوط به خوشه اول و سوم با میانگین (۰/۴۵) و (۰/۱۶) بود. ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد ۴ کیلوگرم در متر مربع و جذب کم ۰/۳۴ در برابر PVY در خوشه هفتم قرار گرفتند.

میانگین عملکرد مربوط به ژنوتیپ H5 با عملکرد ۰/۷۰۳ کیلوگرم در مترمربع بود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که خوشه پنجم بیشترین میانگین عملکرد را در بین سایر خوشه‌ها داشت. علاوه بر این، تفاوت معنی‌داری در خوشه یکم و پنجم تحت آلودگی PVY مشاهده نشد. آلودگی PVY تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خوراکی داشته است. بیشترین میزان عملکرد خوراکی در خوشه سوم مشاهده شد که شامل ژنوتیپ‌های G15، G40، G22، G23، G6، H10، G7 و WL است. کمترین میزان خوراکی متعلق به خوشه یک می‌باشد. بیشترین عملکرد خوراکی متعلق به G15 و H10 با میزان ۲/۲۷ کیلوگرم در مترمربع) بود. در حالی که کمترین عملکرد خوراکی متعلق به G11 با مقدار ۰/۲۲ کیلوگرم در مترمربع بود.

علاوه بر این، آلودگی PVY تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بذری و عملکرد غیرقابل‌فروش داشت. بیشترین عملکرد بذری و عملکرد غیرقابل‌فروش مربوط به ژنوتیپ H10 و H18 (۳/۱۹ و ۰/۵۶۵ کیلوگرم در مترمربع) بود. در حالی که کمترین عملکرد بذری و عملکرد غیرقابل‌فروش به G9 و H6 به میزان ۰/۳۱۵ کیلوگرم در متر مربع و ژنوتیپ H6 با میانگین ۰/۰۵ کیلوگرم در مترمربع) تعلق داشت. در بین همه خوشه‌ها، خوشه سوم بیشترین عملکرد بذری و غیرقابل‌فروش را داشت. علاوه بر این، تفاوت معنی‌داری در عملکرد بذری در خوشه دوم و پنجم تحت آلودگی PVY مشاهده نشد. همچنین، تفاوت

جدول ۲. آنالیز ANOVA برای ۳۲ ژنوتیپ سیب‌زمینی با شش صفت در پاسخ به آلودگی ویروس PVY و PVX.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات						
		جذب نوری PVY	جذب نوری PVX	رتبه فنوتیپی	میانگین عملکرد	عملکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد غیرقابل‌فروش
خوشه	۶	۰/۰۵۸**	۰/۱۲۴**	۴/۷۵**	۴/۸۰**	۲/۱۱۶**	۴/۰۶**	۰/۱۱۸**
خطا	۲۶	۰/۰۳۹	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۰۴
کل	۳۲							

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

جدول ۳. میانگین صفات سیب‌زمینی اندازه‌گیری شده تحت تأثیر آلودگی ویروس PVY

ژنوتیپ	میانگین جذب نوری PVY	میانگین عملکرد	عملکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد غیرقابل فروش	میانگین رتبه فنوتیپی	خوشه	واکنش
G1	۰/۵۶ab	۴/۰۶۹a	۰/۳۲d	۰/۴۶c	۰/۰۶c	۱/۰۰۰ef	۱	S
G11	۰/۲۹ab	۳/۹۸۷a	۰/۲۲d	۰/۳۲c	۰/۰۵۴c	۵/۰۰۰bc	۱	S
G21	۰/۳۸ab	۴/۸۴۹a	۰/۴۳۵d	۰/۵۹c	۰/۰۸۵c	۱/۸۳۳ cdef	۱	S
G9	۰/۵۳ab	۴/۵۸۳a	۰/۲۳۵d	۰/۳۱۵c	۰/۰۵۲c	۱/۳۳۳cdef	۱	S
G12	۰/۱۸c	۳/۰۴۸a	۱/۳۶۵d	۱/۸۳۵c	۰/۲۴۵bc	۱/۶۶def	۲	S
G2	۰/۱۴c	۳/۷۲۲a	۱/۲۲d	۱/۷۷c	۰/۲۸۵bc	۱/۸۳۳۳cdef	۲	S
G28	۰/۰۱۱c	۳/۴۰۹a	۱/۱d	۱/۵۲۵c	۰/۲bc	۸/۰۰۰ab	۲	R
G29	۰/۲۶c	۳/۶۸a	۰/۹d	۱/۲۵c	۰/۱۶bc	۱/۳۳۳cdef	۲	S
G30	۰/۲۱c	۳/۷۱۷a	۰/۸۸d	۱/۲۱۵c	۰/۱۸۵bc	۱/۰۰۰ef	۲	S
G50	۰/۱۷c	۲/۶۴۶a	۱/۲۰۵d	۱/۷۱c	۰/۲۲۵bc	۱/۱۶۶def	۲	S
G15	۰/۴۴d	۳/۹۴۲b	۲/۲۷۵bc	۳/۱۵bc	۰/۵۴۵a	۱/۳۳۳cdef	۳	S
G40	۰/۳۲d	۴/۰۴۸b	۲/۲۵bc	۳/۰۶۵bc	۰/۴۸a	۱/۳۳۳cdef	۳	S
G22	۰/۴۹d	۴/۱۳۴b	۱/۹۲bc	۲/۶۵bc	۰/۳۷۵a	۱/۳۳۳cdef	۳	S
G23	۰/۰۱d	۴/۰۹۹b	۲/۰۷۵bc	۲/۸۷۵bc	۰/۵۴۷a	۹/۳۳۳a	۳	R
G6	۰/۸۴d	۳/۸۳۲b	۱/۸۶۵bc	۲/۶۰۵bc	۰/۴۳۵a	۰/۶۶۶f	۳	S
H10	۰/۰۵۷d	۴/۳۱۳b	۲/۲۷۵bc	۳/۱۹bc	۰/۵۴۵a	۱/۱۶۶def	۳	S
G7	۰/۵۳d	۳/۴۶۸b	۱/۸۱۵bc	۲/۵۹۸bc	۰/۳۴۵a	۱/۱۶۶۶def	۳	S
WL	۰/۱۰۵d	۳/۷۹۲b	۱/۸۹c	۲/۰۶۴bc	۰/۴۷۸a	۹/۳۳۳a	۳	R
G17	۰/۰۷۸e	۳/۷۲۳cd	۰/۷۹a	۱/۱۰۵a	۰/۲۰۵b	۱/۱۶۶def	۴	S
H1	۰/۳۴e	۲/۹۵۸cd	۰/۳۲a	۰/۴۶a	۰/۰۶b	۱/۶۶۷cdef	۴	S
G60	۰/۰۴۹e	۲/۴۵۵cd	۰/۶a	۰/۸۷۵a	۰/۱۵۵b	۱/۸۳۳۳cdef	۴	S
H16	۰/۵۴e	۲/۴۴۲cd	۰/۴۳۵a	۰/۵۹a	۰/۰۸۵b	۰/۸۳۳۳ef	۴	S
H6	۰/۰۵e	۲/۱۷cd	۰/۲۳۵a	۰/۳۱۵a	۰/۰۵b	۷/۸۰۰abc	۴	R
H8	۰/۵۹e	۳/۱۰۳cd	۰/۷۹۵a	۱/۱۱a	۰/۱۷۵b	۴/۵۰۰bcde	۴	S
G8	۰/۳۲e	۴/۲۱۷ab	۱/۰۹۵cd	۱/۵۵۳a	۰/۲۰۳a	۴/۸۳۳۳bcd	۵	S
G31	۰/۳۷e	۴/۹۶۳ab	۱/۳۶cd	۱/۸۹۵a	۰/۲۲۵a	۱/۸۳۳cdef	۵	S
G32	۰/۳۹e	۴/۱۷۷ab	۱/۲۴cd	۱/۷۳a	۰/۲۴a	۱/۳۳۳cdef	۵	S
G5	۰/۵۵e	۴/۵۰۱ab	۰/۷۹۵cd	۱/۱۱a	۰/۱۷۵a	۰/۶۶۶f	۵	S
H18	۰/۳۵a	۱/۷۸۵bc	۲/۲۰۵a	۲/۹۷۵b	۰/۵۶۵a	۸/۸۰۰ab	۶	R
H3	۰/۰۸a	۱/۸۳۵bc	۱/۸۶۵a	۲/۶۰۵b	۰/۴۳۵a	۹/۳۳۳a	۶	R
H5	۰/۳۶bc	۰/۷۰۳d	۰/۷۹b	۱/۱۰۵b	۰/۲۰۵a	۰/۸۳۳ef	۷	S
H7	۰/۴۳bc	۱/۷۰۲d	۱/۲۲b	۱/۷۷b	۰/۲۸۵a	۱/۱۶۶def	۷	S
Hermes	۰/۹۹c	۰/۸cd	۰/۹b	۰/۹۸ab	۰/۱۹۸	۱/۱۶۶۷def	۷	S

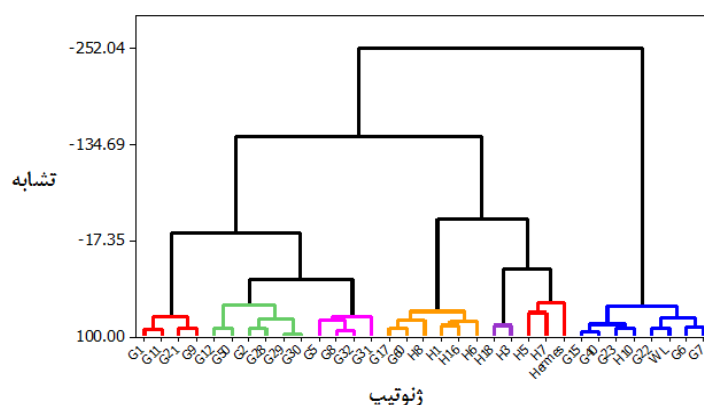
R: مقاوم، S: حساس

با حداقل میانگین جذب (۰/۰۱) و میانگین عملکرد (۴/۰۹ کیلوگرم در مترمربع) بود. همچنین میانگین رتبه فنوتیپی در خوشه ششم بالاترین مقدار است که نشان از ژنوتیپ‌های مقاوم در این خوشه است.

درحالی‌که ژنوتیپ‌هایی با بیشترین میانگین جذب PVY (۰/۵۹) و کمترین میانگین عملکرد (۱/۶۷ کیلوگرم در مترمربع در خوشه ششم قرار گرفتند. (جدول ۴). بنابراین، مقاوم‌ترین ژنوتیپ متعلق به G23

جدول ۴. مشخصات و میانگین عملکردهای ژنوتیپ‌های تحت تنش PVY

خوشه	نام ژنوتیپ‌ها	میانگین رتبه‌بندی					تعداد ژنوتیپ در خوشه
		میانگین جذب نوری PVY	میانگین عملکرد عملکرد	میانگین خوراک‌بندی	میانگین بذر	میانگین غیرقابل فروش	
1	G1, G11, G21, G9	۰/۴۴	۴/۳۷۲	۰/۳۰۳	۰/۴۲۱	۰/۰۶۱	۴
2	G12, G2, G28, G29, G30, G50	۰/۱۶	۳/۳۷	۱/۱۱۲	۱/۵۵۱	۰/۲۱۷	۶
7	G15, G40, G22, G23, G6, H10, G7, WL	۰/۳۴	۳/۹۳۱	۲/۰۴	۲/۷۷۴	۰/۴۶۸	۷
4	G17, H1, G60, H16, H6, H8	۰/۲۷	۲/۶۴۲	۰/۵۲۹	۰/۷۴۳	۰/۱۲۲	۶
3	G8, G31, G32, G5	۰/۴۵	۴/۴۶۵	۱/۱۲۳	۱/۵۷۲	۰/۲۱۱	۴
5	H18, H3	۰/۲۲	۱/۸۱	۲/۰۲۵	۲/۷۹	۰/۵	۲
6	H5, H7, Hermes	۰/۵۹	۱/۰۶۷	۰/۹۷	۱/۲۸۵	۰/۲۲۹	۳



شکل ۲. تجزیه خوشه‌ای ۳۲ ژنوتیپ سیبزمینی براساس صفات مرتبط با عملکرد و جذب با استفاده از PVY به کمک اتصال همسایگی (NJ)

تفاوت معنی‌داری در میانگین عملکرد تحت آلودگی PVX در میان ژنوتیپ‌های خوشه دوم شامل G28, G8, G50, G30, G29, G2, G12, G31, H8, H8, G17, H8 و G5 بوده و خوشه چهارم شامل WL, H18, H3, H10, G6, G22, G7, G40, G15, H3 و H18 G23 مشاهده نشد. بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب مربوط به G31 و H5 به ترتیب با ۴/۸۹ کیلوگرم در مترمربع و ۰/۷۱ کیلوگرم در مترمربع بود. همچنین، آلودگی PVX تأثیر معنی‌داری بر عملکرد خوراکی داشت. جدول ۵ نشان داد که بیشترین عملکرد خوراکی (۲/۶۷ کیلوگرم در مترمربع) مربوط به ژنوتیپ H18 در حالی که کمترین عملکرد خوراکی (۰/۲۵ کیلوگرم در مترمربع) متعلق به G11 است. نتایج ما نشان داد که خوشه چهارم بیشترین عملکرد خوراکی را در بین سایر خوشه‌ها نشان داد. این نتیجه می‌تواند ناشی از افزایش کارایی فتوسنتز

خصوصیات زراعی سیبزمینی تحت آلودگی PVX خصوصیات زراعی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه مایه‌زن شده به PVX در جدول ۵ ارائه شده است. آلودگی PVX روی برگ‌های سیبزمینی تأثیر معنی‌داری بر میانگین جذب، رتبه‌های فنوتیپی، میانگین عملکرد، عملکرد بذر، عملکرد خوراک‌بندی و عملکرد غیرقابل فروش داشت. میانگین جذب PVX در میان ژنوتیپ‌ها G11 به میزان ۰/۰۳۱ در خوشه اول تا حداکثر میزان ۱/۹ ژنوتیپ Hermes در خوشه سوم متفاوت بود. ژنوتیپ‌های دیگر G28 و G23 نیز اختلاف معنی‌داری با ژنوتیپ G11 نشان ندادند. بیشترین میانگین عملکرد برای ژنوتیپ‌های G1, G11, G21 و G9 در خوشه اول به دست آمد (جدول ۵). در حالی که کمترین میزان متوسط عملکرد در خوشه سوم، شامل H1, Hermes, H16, H6, H60, H5 و H7 بود. علاوه بر این،

۰/۲۸ کیلوگرم در مترمربع و ۰/۰۴ کیلوگرم در مترمربع بود. بیشترین میانگین رتبه فنوتیپی به خوشه چهارم و کمترین رتبه نیز به خوشه سوم تعلق یافت. خوشه‌هایی که دارای رتبه فنوتیپی بالاتری هستند میزان زنده ماندن و بقای بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ تحت تنش داشتند. این نتایج گویای آن است که ژنوتیپ متعلق به خوشه چهارم دارای ژنوتیپ‌های مقاوم و خوشه سوم دارای ژنوتیپ حساس به ویروس PVX هستند که با سایر نتایج مطابقت داشت. همچنین واکنش هر ژنوتیپ نسبت به تنش ویروس PVX در جدول ۵ آورده شده است.

و تعدیل اثرات تنش باشد و منجر به افزایش عملکرد خوراکی در گیاه سیب‌زمینی شود. علاوه بر این، تفاوت معنی‌داری در خوشه یک، دوم و سوم تحت آلودگی PVX مشاهده نشد. علاوه بر این، آلودگی PVX تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بذری داشت. حداکثر عملکرد بذری و عملکرد غیرقابل فروش در خوشه چهارم مشاهده شد. بیشترین عملکرد بذری و غیرقابل فروش به ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های G15 و H18 به ترتیب با ۳/۳۱ کیلوگرم در مترمربع و ۰/۶۶۱ کیلوگرم در مترمربع بود. در حالی که کمترین عملکرد بذری و غیرقابل فروش برای ژنوتیپ‌های G11 و H1 به ترتیب

جدول ۵. میانگین صفات سیب‌زمینی اندازه‌گیری شده تحت تأثیر PVX

ژنوتیپ	میانگین جذب نوری PVX	میانگین عملکرد	عملکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد غیرقابل فروش	میانگین رتبه فنوتیپی	واکنش	خوشه
G1	-/۲۱c	۴/۲۵۹c	-/۲b	-/۵b	-/۰۷b	-/۸۳۳ef	S	۱
G11	-/۰۳۱c	۳/۹۷۸c	-/۲۵b	-/۲۸b	-/۱۵b	۸/۰۰۰ab	R	۱
G21	-/۲۱۸c	۴/۷۴۹c	-/۴۳۸b	-/۵۵b	-/۰۸b	۴/۶۵۲bc	S	۱
G9	-/۲۵۱c	۴/۵۹۳c	-/۱۳۵b	-/۳۳b	-/۰۵۱	۱/۲۱۶cd	S	۱
G28	-/۰۳۲c	۳/۳۱۹c	۱/۳b	۱/۵b	-/۱۵b	۸/۰۰۰ab	R	۱
G30	-/۰۳۴c	۳/۸۱۷c	-/۹۶b	۱/۲۱b	-/۱۱b	۱/۳۳۳cd	S	۱
G8	-/۰۳۴c	۴/۲۲۷c	۱/۰۸۵b	۱/۶b	-/۳۲b	۷/۹۱۱ab	R	۱
G5	-/۳۷۹c	۴/۴۲b	-/۸۱۵b	۱/۰۳b	-/۲۲۱b	-/۸۹۹f	S	۱
G12	-/۵c	۳/۱۵b	۱/۲۶۴b	۱/۹۱b	-/۱۹۵b	۱/۳۲۲de	S	۱
G50	-/۲۶c	۲/۵۳b	۱/۱۰۱b	۱/۶۸b	-/۲۶۳b	۲/۲۱۶cdef	S	۱
G31	-/۲۱۳c	۴/۸۹b	۱/۲۱b	۲/۱b	-/۱۴۵b	۱/۸۹۲de	S	۱
G32	-/۶۹a	۴/۰۸۸a	۱/۲۶b	۱/۸۱b	-/۲۵b	۱/۲۱۱def	S	۱
G2	-/۳۴۵c	۳/۶۵b	۱/۰۹b	۱/۶۵b	-/۳۱۲b	۱/۷۹۹ef	S	۱
G29	-/۵۲۷c	۳/۴۸b	-/۷۹b	۱/۱۵b	-/۲۱b	۱/۳۱۱ef	S	۱
H8	-/۰۸۱c	۳/۲۰۳c	-/۶۹۵b	۱/۲۳b	-/۲۷۵b	۸/۸۹۹ab	R	۲
G17	-/۳۹۶c	۲/۶۲b	-/۸۱b	۱/۲b	-/۱۸۶b	۱/۵۵۷f	S	۲
H5	-/۸۲۲a	-/۷۰۳a	۱/۲b	۱/۰۶b	-/۲۱۲b	-/۷۹۹lf	S	۳
H7	-/۸۳۵a	۱/۶۵a	۱/۱۱b	۱/۶۵b	-/۳۱۱b	۱/۲۳۳f	S	۳
H6	-/۹۷a	۲/۰۸a	-/۳۳۱b	-/۳۳b	-/۰۶b	۱/۱۶۶def	S	۲
H16	-/۰۶۴c	۲/۳۴۳c	-/۵۳۵b	-/۴۵b	-/۰۹۵b	-/۷۹۹f	S	۲
G60	-/۰۳۷c	۲/۴۴۵c	-/۶۲b	-/۷۷b	-/۱۴۵b	۱/۷۸۹def	S	۲
H1	-/۵c	۳/۰۴b	-/۲۹b	-/۵۱b	-/۰۴b	۱/۴۵۵def	S	۲
Hermes	۱/۹a	-/۷۸b	-/۵b	-/۳۴b	-/۱۵b	۱/۲۳f	S	۳
G15	-/۱۲۷b	۳/۸۹a	۲/۳۴a	۳/۳۱a	-/۴۵۴a	۱/۲۴۴cd	S	۴
G40	-/۲۹۶b	۴/۱۰۱a	۲/۱۵a	۳/۱۲۵a	-/۴۸a	۱/۲۵۵d	S	۴
G22	-/۲۴۹b	۴/۱۳۹a	۱/۸۸a	۲/۴۵a	-/۳۵a	۱/۴۶۶ef	S	۴
G23	-/۰۳۲b	۴/۲۱a	۲/۲۵۷a	۲/۷۸۹a	-/۴۴۹a	۹/۳۳a	R	۴
G6	-/۳۶۸b	۳/۷۵a	۱/۷۷۷a	۲/۴۹۹a	-/۳۹۴a	-/۸۴۴f	S	۴
G7	-/۲۳۴b	۳/۵۵۲a	۱/۷۲a	۲/۵۸۷a	-/۲۸۹a	۱/۷۸۹d	S	۴
H18	-/۰۶۹b	۱/۶۶۹a	۲/۶۷a	۳/۱۲a	-/۶۶۱a	۱/۸۸۸cd	S	۳
H3	-/۰۶۲b	۱/۹۱a	۱/۹۵a	۲/۷a	-/۵۲۱a	۹/۳۳۳a	R	۳
H10	-/۰۹۵a	۴/۰۲a	۲/۳۱b	۳/۲۱b	-/۶۱۲b	۱/۲۲f	S	۴
WL	-/۰۴۵a	۲/۵۶a	۱/۹۲b	۲/۱۱a	-/۳۷۲b	۸/۹۲۲a	R	۴

R: مقاوم، S: حساس

ارزیابی آلودگی ویروس PVX

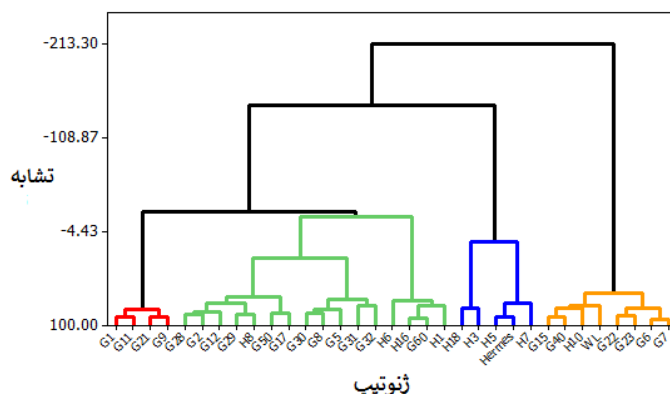
خصوصیات ۳۳ ژنوتیپ سیبزمینی به آلودگی ویروس PVX بررسی شد. طبق آنالیز خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۳). خوشه‌های یک، دو، سه و چهار به ترتیب شامل ۴، ۱۲، ۷ و ۱۰ ژنوتیپ بودند. جدول ۶ نشان می‌دهد که میانگین عملکرد برای ۳۳ ژنوتیپ سیبزمینی تفاوت معنی‌داری داشت. بیشترین میانگین عملکرد در خوشه اول مشاهده شد. در حالی که میانگین عملکرد در خوشه سوم کمترین میزان را در بین خوشه‌ها به خود اختصاص داد.

خوشه اول با حداقل جذب و متوسط عملکرد بالا را به خود در میان دیگر خوشه‌ها اختصاص داد. بیشتر ژنوتیپ‌های این خوشه، بالاترین مقاومت را نسبت به PVX نشان دادند. خوشه سوم با بالاترین میزان جذب نوری (۰/۶۷۵) و کمترین میزان عملکرد (۱/۸۳۷) به عنوان حساس‌ترین خوشه در نظر گرفته

شد. کمترین میانگین عملکرد مربوط به ژنوتیپ H5 در خوشه سوم با عملکرد ۰/۷۰۳ کیلوگرم بر مترمربع در حالی که بیشترین میانگین عملکرد به میزان ۴/۸۹ کیلوگرم بر مترمربع مربوط به ژنوتیپ G31 در خوشه اول بود (جدول ۶). میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها از ۱/۸۳۷ تا ۴/۳۹ کیلوگرم در مترمربع و میانگین جذب PVX از ۰/۱۷۷ تا ۰/۶۷۵ تحت آلودگی PVX متغیر بود. ژنوتیپ G11 با میزان ۰/۰۳۱ کمترین میزان جذب و ژنوتیپ Hermes بیشترین میزان جذب (۱/۵) را در میان ژنوتیپ‌ها داشتند. مقاوم‌ترین ژنوتیپ G23 با حداقل میانگین جذب (۰/۰۳۲)، رتبه فنوتیپی ۹/۳۳ و بیشترین میانگین عملکرد (۴/۲۱ کیلوگرم بر متر مربع) بود (جدول ۵). البته ژنوتیپ دیگر اعم از G8 را می‌توان به عنوان ژنوتیپ مقاوم به PVX به لحاظ حداقل میزان جذب نوری و عملکرد بالا معرفی نمود.

جدول ۶. مشخصات و میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها مایه‌زنی شده به PVX

خوشه	نام ژنوتیپ‌ها	میانگین جذب نوری-PVX	میانگین عملکرد عملکرد	عملکرد عمکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد غیرقابل فروش	میانگین رتبه‌بندی فنوتیپی	تعداد ژنوتیپ در خوشه
۱	G1, G11, G21, G9	۰/۱۷۷	۴/۳۹	۰/۲۸	۰/۴۱۵	۰/۰۸۷	۳/۶۷۵	۴
۲	G28, H8, G31, G12, G2, G29, G30, G50, G8, H8, G17, G5	۰/۲۹۱	۳/۶۱	۱/۰۳۲	۱/۵۱	۰/۲۱۹	۳/۱۸۷	۱۲
۳	H1, Hermes, H16, H6, G60, H5, H7	۰/۶۷۵	۱/۸۳۷	۰/۶۵۵	۰/۷۳	۰/۱۴۴	۱/۲۱	۷
۴	WL, H18 H3, G15, G40, G7, G22, G6, H10 G23	۰/۲۴۳	۳/۳۷۹	۲/۰۹۶	۲/۷۹	۰/۴۵۷	۳/۷۳	۱۰



شکل ۳. تجزیه خوشه‌ای ۳۲ ژنوتیپ سیبزمینی براساس صفات مرتبط با عملکرد و جذب با استفاده از PVX کمک اتصال همسایگی (NJ)

کاربرد در بازار فروش دارند. براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های دیگر با استفاده از نشانگر مرتبط با ژن Ry_{sto} به عنوان نشانگر مولکولی در تشخیص ژنوتیپ‌های مقاوم به PVY استفاده کرد. در نتیجه انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به‌عنوان والد با صرفه‌جویی در هزینه آزمایش‌های تعیین مقاومت، کارایی برنامه اصلاحی را افزایش خواهد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی مقاومت هشت گونه وحشی سیب‌زمینی به PVY نشان داد که گونه‌های مورد بررسی دارای ژن‌های مقاوم به HR هستند که منابع مناسبی برای اینتروگرسیون با کولتیوارهای سیب‌زمینی بود و اصلاح مقاومت به ویروس را تسهیل می‌کنند (Grech-Baran *et al.*, 2020). با این وجود بدلیل طبیعت ژن‌های مخصوص جدایه‌ها از این ژن‌های مقاوم می‌تواند به واریانت‌های جدید ویروس غلبه کند (Safaeizadeh *et al.*, 2015). ژن‌های مقاوم فوق حساسیت HR مانند Ny ، Nc و Nz می‌توانند جدایه‌های مختلف PVY را کنترل کنند. اما جدایه دیگر PVY که از نو ترکیبی بین PVY^N و PVY^O ایجاد شده است با استفاده از ژن‌های فوق کنترل نمی‌شوند. مقاومت دیگری مانند مقاومت بسیار بالا در سیب‌زمینی در مواجهه با آلوده‌سازی با ویروس PVY و PVX فعال می‌شود. این نوع از مقاومت باعث محافظت در برابر بیشتر از یک جدایه می‌شود. تلاش‌های زیادی برای معرفی ژن‌های این مقاومت برای محافظت در برابر PVY و PVX انجام شده‌است اما تعداد کمی از کولتیوارها دارای مقاومت به هر دو ویروس شدند. ژن‌های مقاوم به ویروس PVX شامل RX_{adg} ، RX_{tbr} و RX_{aci} هستند در چندین کشور از جمله آمریکا، ایرلند، آرژانتین و انگلیس مورد استفاده قرار گرفتند (Huang *et al.*, 2010). ژن‌های مقاوم به ویروس Y شامل Ry_{sto} در کشورهای مانند مجارستان، لهستان و آلمان برای معرفی در کولتیوارها استفاده شدند (Grech-Baran *et al.*,

از مهم‌ترین ویروس‌های رایج سیب‌زمینی در سراسر جهان PVY و PVX هستند. آلودگی با این عوامل بیماری‌زا باعث از بین رفتن تایید گواهی محصولات می‌شود که کیفیت و عملکرد تولید تجاری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تلاش‌های اصلاح‌گران برای توسعه و بهبود لاین‌های والدینی که از آل‌های مقاومت PVY و PVX منشا گرفته از سیب‌زمینی‌های وحشی در سال‌های اخیر افزایش یافته‌است. ایجاد این نوع مقاومت در برابر ویروس در ارقام باعث مقاومت قابل توجهی در آنها شده‌است. پژوهشی‌های قبلی نشان داد که ویروس‌های سیب‌زمینی اغلب در آلودگی‌های همزمان چند ویروس ایجاد می‌شوند و همیشه از نظر دید قابل تشخیص نیستند (Pourrahim and Farzadfar, 2007). استفاده از ارقام مقاوم در برابر ویروس موثرترین و بادوام‌ترین مقاومت برای به حداقل رساندن کاهش عملکرد مرتبط با ویروس‌ها تلقی می‌شود. اصلاح‌گران از ژنوتیپ‌های برای تلاقی استفاده می‌کنند که مقاومت در برابر چندین عامل ویروس را داشته‌باشد (Solomon-Blackburn, 2001). توسعه ارقام سیب‌زمینی با مقاومت بالا در برابر PVY و PVX با روش‌های مرسوم اصلاحی امکان‌پذیر است. ارقام بهبود یافته می‌توانند سهم مهمی در اصلاح ارقام محلی در برنامه‌های تحقیقاتی ملی سیب‌زمینی داشته‌باشند (Onditi 2008; John *et al.*, 2013). نتایج به‌دست‌آمده از میانگین جذب نوری در این مطالعه نشان داد که ژنوتیپ G23 به عنوان یکی از ژنوتیپ‌های مقاوم در برابر هر دو ویروس (PVY و PVX) می‌باشد. ژنوتیپ G23 ضمن داشتن صفت مقاومت به PVY و PVX از نظر صفت میانگین عملکرد، عملکرد بذری، خوراکی و غیرقابل فروش قابل توجه بود. ژنوتیپ‌های G15 و H18 از دیگر ژنوتیپ‌های مقاوم و با عملکرد نسبتاً بالا در این پژوهش است. ژنوتیپ‌های شناسایی شده با عملکرد و کیفیت قابل قبول، پتانسیل بالایی برای

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میانگین جذب PVY و PVX با کاهش عملکرد غده رابطه منفی دارد. مطالعات قبلی نشان داده‌است که بین علائم PVY و کاهش عملکرد سیبزمینی رابطه معکوس وجود دارد (Hane and Hamm, 1999; Nolte *et al.*, 2004). براساس نتایج الایزا، میزان PVY در سال‌های ۲۰۱۱-۱۲ نسبت به سال قبل به ترتیب ۹٪، ۱۰٪، ۱۷٪ و ۲۲٪ در مزارع سیبزمینی سهیوال، اسلام آباد، فیصل آباد و راولپندی افزایش یافت (Abbas *et al.*, 2014). تشخیص PVY اساساً براساس علائم متمایز potyvirus (نکروز بالا، نکروز ویروسی و موزاییک شدید روی برگ سیبزمینی) مشاهده و به دنبال آن DAS-ELISA انجام شد. یافته‌های ما با نتایج به‌دست آمده از سایر محققین Mahfouz (2003) و Nasr El-Din (2007) مطابقت داشت که این تکنیک روشی مطلوب برای تشخیص سریع ویروس‌ها می‌باشد. واکنش ۳۲ ژنوتیپ به آلودگی PVX و PVY باعث کاهش عملکرد گیاه در مقایسه با شاهد شد. براساس یک مطالعه، والدین دارای چندین نسخه ژن غالب برای PVY و PVX به عنوان دهنده در هر بلوک تلاقی سیبزمینی مناسب‌تر بودند (John *et al.*, 2013). در برنامه‌های ملی اصلاحی، اصلاح‌گران والدین را انتخاب می‌کنند که از ژن‌های مقاومت به ویروس چندین نسخه داشته باشند که با استفاده از روش‌های سرولوژیکی و مولکولی به ترتیب مانند الایزا و RT-PCR شناسایی انجام گیرد (LP and Verma, 2017). با گذشت سال‌ها، ژن‌هایی که مقاومت شدیدی (ایمنی) در برابر تمام جدایه‌های PVX و PVY ایجاد می‌کنند، در ارقام سیبزمینی پیدا شده و به کمک روش‌های اصلاحی این ژن‌ها به ژنوتیپ‌های دیگر منتقل می‌شوند (Ross, 1986).

آنالیز همبستگی

آنالیز همبستگی بین عملکرد و صفات مرتبط با آن

(2019). بدین منظور، شناسایی ویروس‌های سیبزمینی گام مهمی برای محافظت از تولید سیبزمینی بوده و تحقیقات زیادی را در زمینه خصوصیات بسیاری از ژن‌های مقاومت در برابر ویروس آغاز کرده‌است (Houngue *et al.*, 2019). اما انتخاب ارقام مقاوم در برابر ویروس یکی از استراتژی‌های مهم قبل از شناسایی جدایه‌های ویروس است (Rahman *et al.*, 2010). برای شناسایی همزمان آلودگی ویروس، نیاز به یک روش سریع، راحت و قابل اعتماد دارد. الایزا یکی از موثرترین اقدامات برای تشخیص همزمان آلودگی‌های ویروسی متعدد است. الایزا به‌طور موفقیت‌آمیزی برای مشخص کردن جدایه‌های PVY، PVX، PVA، PVM و PVS از بافت سیبزمینی آلوده استفاده شده‌است (Chaubey *et al.*, 2014). براساس پژوهش دیگر آلودگی همزمان PVY و PLRV باعث کاهش عملکرد شدید از نظر کاهش اندازه غده و کیفیت نامطلوب سیبزمینی نسبت به آلودگی منفرد PVY یا PLRV در چین شده است (Wang *et al.*, 2011). مطالعه دیگر نشان داد که آلودگی همزمان PVX، PVA و PVS باعث از دست‌دادن عملکرد تا ۴۰٪ در سیبزمینی می‌شود (Hameed *et al.*, 2014). در توتون و تنباکو، آلودگی چندتایی با PVY و PVX به طور قابل ملاحظه‌ای با افزایش بیماری‌زایی مرتبط بود (Balogun *et al.*, 2020a; Saidi *et al.*, 2002). بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، از الایزا می‌توان برای تشخیص ارقام مقاوم و حساس سریع به چندین ویروس به‌صورت همزمان استفاده نمود و به عنوان یک روش مکمل برای اصلاح سنتی در گیاه تتراپلوئیدی مثل سیبزمینی می‌تواند پیشنهاد شود. از آنجایی که سیبزمینی به‌صورت غیرجنسی تکثیر می‌شود در بیشتر برنامه‌های اصلاحی برای ارزیابی مقاومت غده‌ها نسبت به بیماری‌ها از روش الایزا استفاده می‌شود (Ahmadvand and Hassanabadi, 2009).

ویروس حساس بودند (Ahmadvand and Hassanabadi, 2009).

تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)

توزیع ژنوتیپ‌ها و صفات عملکرد خوراکی، عملکرد بذری، میانگین عملکرد، عملکرد غیرقابل‌فروش، میانگین جذب PVY و PVX در شکل ۴ نشان داده شده است. این روش برای شناسایی ژنوتیپ‌هایی با میانگین عملکرد بالا و مقاومت قابل توجه در برابر آلودگی و PVX تجزیه و تحلیل PCA تغییرات کلی پاسخ ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی به آلودگی PVY و PVX را توضیح داد. طبق نتایج PCA، ژنوتیپ‌های G6، G7، G15، G22، G23 و G40 دارای بیشترین میانگین عملکرد و حداقل میانگین جذب بودند. در حالی که حداقل میانگین عملکرد و حداکثر جذب متوسط PVX و PVY مربوط به H5 و H7 بود. شش ژنوتیپ دارای بالاترین مقاومت در برابر PVY، PVX با عملکرد بالا هستند. بنابراین، این ژنوتیپ‌ها را می‌توان به عنوان بهترین ژنوتیپ برای برنامه‌های اصلاحی با صفات مطلوب از جمله عملکرد بالا و مقاومت چند برابر در نظر گرفت (شکل ۴، جدول ۸).

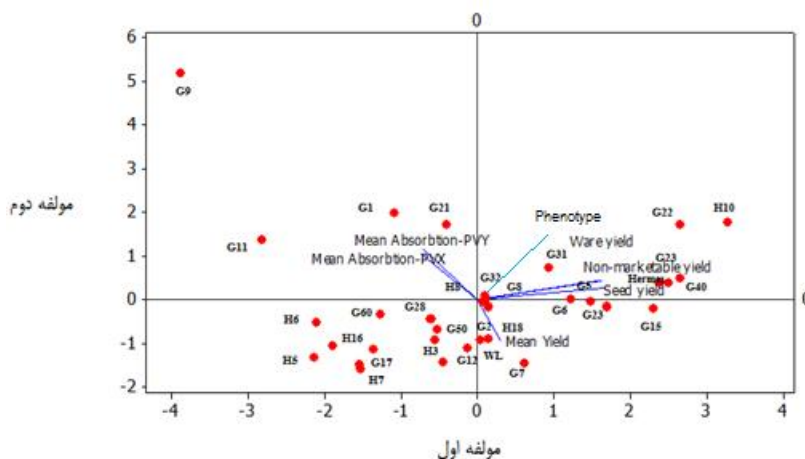
نشان داد که عملکرد غیرقابل‌فروش با عملکرد خوراکی (۰/۹۷۳) و عملکرد بذری (۰/۹۷۳) دارای همبستگی مثبت معنی‌داری است در حالی که ارتباط منفی با میانگین عملکرد (۰/۰۰۹-) و میانگین جذب PVY با میزان -۰/۰۹ داشت. عملکرد بذری ارتباط مثبت و معنی‌داری با عملکرد خوراکی به میزان (۰/۹۹۹) داشت. در حالی که، یک ارتباط منفی با میانگین جذب PVY به میزان -۰/۰۵۱ و میانگین جذب PVX به میزان -۰/۰۰۱- مشاهده شد (جدول ۷). ارتباط مثبت و معنی‌داری بین رتبه فنوتیپی با جذب نوری در PVY (۰/۰۰۳) و PVX (۰/۰۰۲) وجود دارد. براساس پژوهش‌های احمدوند و همکاران (۲۰۱۸) که با استفاده از آزمون الیزا انجام شد. گیاهچه‌هایی که میزان جذب نوری بالا بود به عنوان ارقام آلوده و حساس تلقی شدند. در حالی که میانگین جذب نوری پایین به عنوان ارقام مقاوم در نظر گرفته می‌شود (Titkanlo et al., 2018). میانگین میزان جذب ژنوتیپ‌های ۱-۳۹۷۰۱۵۱ و ۱۳-۱۹۷۰۱۵ نشان داد که این دو ژنوتیپ سیب‌زمینی نسبت به هر سه ویروس (PVA, PVY و PVX) مقاوم و ژنوتیپ ۲-۳۹۷۰۰۸ به هر سه

جدول ۷. ضریب همبستگی میانگین جذب PVX، میانگین جذب PVY و صفات مرتبط به عملکرد در

سیب‌زمینی.

میانگین جذب نوری - PVX	رتبه فنوتیپی	میانگین جذب نوری - PVY	میانگین عملکرد	عملکرد خوراکی	عملکرد بذری	عملکرد غیرقابل‌فروش
میانگین جذب نوری - PVX	۱					
رتبه فنوتیپی	۰/۰۰۲	۱				
میانگین جذب نوری - PVY	-۰/۱۱۴	۰/۰۰۳	۱			
میانگین عملکرد	-۰/۲۴	-۰/۰۰۶	۰/۲۲۵	۱		
عملکرد خوراکی	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷	-۰/۰۵۳	۰/۰۷	۱	
عملکرد بذری	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۵۱	۰/۰۷	۰/۹۹۹**	۱
عملکرد غیرقابل‌فروش	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۱	-۰/۰۹۳	-۰/۰۰۹	۰/۹۷۳**	۰/۹۷۳**

** همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد.



شکل ۴. نمودار دو بعدی تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای دو مؤلفه اولیه به دست آمده از میانگین عملکرد، میانگین جذب PVY و PVX از ژنوتیپ‌های سیبزمینی.

جدول ۸. مقادیر ویژه و واریانس جمعی برای شش فاکتور اصلی حاصل از آنالیز مؤلفه اصلی (PCA) برای مشخصات زراعی در ژنوتیپ‌های سیبزمینی.

متغیرات	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Eigenvalue	۱/۳۸۶	۱/۰۵۹	۰/۰۸۶	۰/۰۴۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴
Proportion	۵۳/۹	۴۱/۱	۳/۳	۱/۶	.	.
Cumulative	۵۳/۹	۹۵	۹۸/۴	۹۹/۹	۱۰۰	۱۰۰
Mean Absorbtion-PVY	۰/۰۰۱	۰/۰۵۱	۰/۰۸۹	۰/۰۹۹۴	۰/۰۲۲-	۰/۰۰۲
Mean Yield	۰/۲۶۲	۰/۹۶۲	۰/۰۷-	۰/۰۴۳-	۰/۰۱۲-	۰/۰۰۱-
Ware yield	۰/۵۶	۰/۱۵۱-	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹-	۰/۸۱۴
Seed yield	۰/۷۷۵	۰/۲۰۹-	۰/۰۰۳-	۰/۰۱۵	۰/۱۸۱	۰/۵۶۸-
Non-marketable yield	۰/۱۲۹	۰/۰۴۷-	۰/۰۰۶	۰/۰۱۹-	۰/۹۸۳-	۰/۱۲-
Mean Absorbtion-PVX	۰/۰۱۴-	۰/۰۶۵-	۰/۹۹۳-	۰/۰۹۲	۰/۰۰۸-	۰/۰۱
Phenotype	۰/۲۵	۰/۴۴۷	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۰۱۷-	۰/۰۰۷

Mean Absorbtion-PVY: میانگین جذب نوری، Cumulative: مقادیر ویژه تجمعی، Proportion: درصد تبیین، Eigenvalue: مقادیر ویژه، PVY: میانگین عملکرد، Ware yield: عملکرد خوراکی، Seed yield: عملکرد بذری، Non-marketable yield: عملکرد غیرقابل فروش، Mean Absorbtion-PVX: میانگین جذب نوری PVX، Phenotype: فنوتیپی.

ژنوتیپ‌های درون کلاستر سوم بیشترین میانگین جذب نوری را توسط الیزا تعیین شد که به کمک این روش نیز می‌توان ژنوتیپ‌های متحمل و حساس را پیش‌بینی نمود. بر اساس آنالیز داده‌ها، ژنوتیپ‌های درون کلاستر اول در برابر ویروس PVX کمترین میانگین میزان جذب را داشتند در حالی که ژنوتیپ‌های درون کلاستر سوم بیشترین میزان جذب نوری را به خود اختصاص دادند. براساس مطالعه‌ای بر روی سیبزمینی در سال ۱۹۸۵ انجام شد. میزان

تجزیه مؤلفه اصلی نشان داد که برای معرفی ژنوتیپ‌هایی با صفات مطلوب مانند ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا و مقاوم در برابر هر دو ویروس کاربرد مهمی دارد. سرعت بخشیدن به اصلاح ارقام جدید سیبزمینی با استفاده از این صفات توسط اصلاح‌گران امکان‌پذیر است (Hameed et al., 2014). نتایج مطالعه ما نشان داد که ژنوتیپ‌های درون کلاستر دوم در برابر آلودگی PVY کمترین میانگین مقدار جذب را داشتند. درحالی‌که،

مقاومت تکی به هر ویروس PVS، PVA و PVM داشته باشند، از اهمیت بالاتری برخوردار هستند (Solomon and Barker, 2001). یافته‌های ما اطلاعات ارزشمندی را در مورد اثرات ژنوتیپ و عملکرد غده در معرض مایه‌زنی PVY-PVX ارائه داد. این نتایج می‌تواند انتخاب بهتر ژنوتیپ‌های مورد نظر را در برنامه‌های اصلاحی تسهیل کند. نتایج حاصل از بررسی میزان عملکرد و نتایج تکمیلی الیزا می‌تواند ژنوتیپ‌های مقاوم و حساس را برای چندین ویروس همزمان را شناسایی کند.

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر نشان داد که G23 بیشترین میانگین عملکرد و کمترین میانگین جذب نوری را در برابر مایه‌زنی‌های PVX و PVY دارد. انتخاب این ژنوتیپ با مقاومت بالا امکان استفاده از آنها به عنوان والدین را برای تولید نتایج برتر با مقاومت PVY و PVX فراهم می‌کند و آن را به ژنوتیپی مناسب برای برنامه‌های تولید سیب‌زمینی مقاوم در برابر ویروس تبدیل می‌کند. بهره‌برداری از نتایج مطالعه حاضر می‌تواند کمک به انتخاب و شناسایی سایر ژنوتیپ‌هایی که مقاومت نسبی در برابر هر دو ویروس را داشته‌اند را برای اصلاح‌گران فراهم کند.

جذب (غلظت) پایین‌تری در کولتیوارهای مقاوم نسبت به حساس در برگ‌های چندین کولتیوار مشاهده شد که گویای مقاومت بیشتر کولتیوارهای مقاوم نسبت به حساس را نشان می‌دهد (Barker and Harrison, 1985). غلظت پایین‌تر ویروس در گیاهان آلوده‌شده ممکن است شانس انتقال شته از گیاهان آلوده‌شده را کاهش دهد (Barker and Harrison, 1986). نتایج ما نشان می‌دهد که ژنوتیپ G23 به طور قابل توجهی در برابر آلودگی PVY و PVX کمترین میزان جذب نوری داشته‌است. براساس این نتایج می‌توان این ژنوتیپ را به عنوان ژنوتیپ احتمالی مقاوم در برابر هر دو ویروس پیشنهاد داد. این نتایج گویای آن است که این ژنوتیپ دارای ژن‌های مقاومت به هر دو ویروس را داشته باشد. همچنین ارزیابی فنوتیپی ژنوتیپ G23 برای هر دو ویروس نشان داد که از نظر رتبه‌بندی در بین ژنوتیپ‌های مقاوم قرار گرفته و می‌تواند در کنار سایر ژنوتیپ‌ها مانند G28 و H3 معرفی گردد. در این مطالعه ۳ ژنوتیپ G23، G28 و H3 به عنوان ژنوتیپ دارای مقاومت به هر دو ویروس می‌تواند معرفی شوند. همچنین علائم فنوتیپی نیز تایید نتایج به‌دست‌آمده بود. ژنوتیپی برای اصلاح‌گران به عنوان منابع مقاومت مطلوب به نظر می‌رسد که مقاومت به چندین ویروس نسبت به ژنوتیپ‌هایی که

REFERENCES

- Abbas K, Alaie S, Leseman ZC (2012) Design and characterization of a low temperature gradient and large displacement thermal actuators for in situ mechanical testing of nanoscale materials. *J. Micromech. Microeng.* 22:125027.
- Abbas MF, Hameed S, Rauf CA (2014) Presence of new strain of *Potato virus Y* in Pakistan. *Int. J. Agric. Biol.* 16:941-945.
- Ahmadvand R, Hassanabadi H (2009) Evaluation of resistance of potato promising clones to PVX, PVY and PVA in greenhouse. *Seed. Plant. Improve. J.* (4).
- Andrade CM, Pinto CABP, Ribeiro SRRP, Peixoto LS and Vilela XMS (2009) Potato clones with multiple copies of the Ryadg allele conferring resistance to Potato virus Y. *Crop. Breed. Appl. Biotechnol.* 9: 286-292.
- Arend DN (2010) Minitab 17—Statistical Software; State College, PA: Minitab. Inc.
- Avrahami-Moyal L, Tam Y, Brumin M, Prakash S, Leibman D, Pearlsman M, Bornstein M, Sela N, Zeidan M, Dar

- Z, Zig U (2017) Detection of *Potato virus Y* in industrial quantities of seed potatoes by TaqMan Real Time PCR. *Phytoparasitica*. 45:591-598.
- Balogun OS, Xu L, Teraoka T, Hosokawa D (2002) Effects of single and double infections with *Potato virus X* and *Tobacco mosaic virus* on disease development, plant growth, and virus accumulation in tomato. *Fitopatol. Bras.* 27: 241-248.
- Barker H, Harrison BD (1985) Restricted multiplication of Potato leafroll virus in resistant potato genotypes. *Ann. Appl. Biol.* 107:205-212.
- Barker H, Harrison BD (1986) Restricted distribution of potato leafroll virus antigen in resistant potato genotypes and its effect on transmission of the virus by aphids. *Ann. Appl. Biol.* 109:595-604.
- Bradshaw JE, Mackay GR (1994) Breeding strategies for clonally propagated potatoes.
- Chaubey AN, Awasthi LP, Singh SP (2014) Impact of climate on the development of viral diseases in potato. *Research & Review: J. A. S.T.* 3: 17-19.
- Clark MF, Adams AN (1977) Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *J. Gen. Virol.* 34:475-83.
- Cockerham G (1970) Genetical studies on resistance to potato viruses X and Y. *Heredity* 25:309-348.
- Grech-Baran M, Witek K, Jones JD, Hennig J (2019) Coat protein of conserved structure from multiple potyviruses triggers Rysto-mediated immunity. In 2019 IS-MPMI XVIII Congress 15. ISMPMI.
- Grech-Baran M, Witek K, Szajko K, Witek AI, Morgiewicz K, Wasilewicz-Flis I, Jakuczun H, Marczewski W, Jones JD, Hennig J (2020) Extreme resistance to Potato virus Y in potato carrying the Rysto gene is mediated by a TIR-NLR immune receptor. *Plant. Biotechnol. J.* 18:655-67.
- Gildemacher PR, Schulte-Geldermann E, Borus D, Demo P, Kinyae P, Mundia P, Struik PC (2011) Seed potato quality improvement through positive selection by smallholder farmers in Kenya. *Potato. Res.* 54:253-66.
- Hameed A, Iqbal Z, Shaheen Asad SM (2014) Detection of multiple potato viruses in the field suggests synergistic interactions among potato viruses in Pakistan. *Plant. Pathol. J.* 30:407.
- Hane DC, Hamm P B (1999) Effects of seed borne Potato virus Y infection in two potato cultivars expressing mild symptoms. *Plant. Dis.* 83: 43-45.
- Hosseini A, Massumi H, Heydarnejad J, Pour AH, Varsani A (2011) Characterisation of potato virus Y isolates from Iran. *Virus. Genes.* 42:128-140.
- Houngue JA, Zandjanakou-Tachin M, Ngalle HB, Pita JS, Cacaï GH, Ngatat SE, Bell JM, Ahanhanzo C (2019) Evaluation of resistance to cassava mosaic disease in selected African cassava cultivars using combined molecular and greenhouse grafting tools. *Physiol Mol Plant P.* 105:47-53.
- Zhong-dong H, Xue-bin Q, Xiang-yang F, Chao H, Dong-hai Z, Ping L, Dong-mei Q (2010) Effects of alternate partial root-zone subsurface drip irrigation on potato yield and water use efficiency. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao.* 21(1).
- Jayashige U, Chuquillanqui C, Salazar LF (1989) Modified expression of virus resistance in mixed virus infection in potato. *Am. J. Potato. Res.* 66: 137-144.
- Oyoo J, Mbiyu M, Otieno S, Muthoni J, Nyongesa M, Lung'aho C, Shibairo S, Njoroge K, Onditi J (2013) Potato

- virus Y (PVY) and potato virus X (PVX) resistance breeding in Kenya: applicability of conventional approaches.
- Kneib RB, Kneib RB, Pereira AD, Castro CM (2017) Allele dosage of PVY resistance genes in potato clones using molecular markers. *Crop. Breed. Appl. Biot.* 17:306-312.
- Kopp A, Kondrák M, Bánfalvi Z (2015) Molecular mechanisms of resistance to Potato virus X and Y in potato. *Acta. Phytopathol. Entomol. Hung.* 50:151-160.
- Mahfouze SA (2003) Diagnosis of some plant viruses using modern techniques. M. Sc Fac. of agric Ain shams univ 179pp.
- Martin-Souto L, Buldain I, Areitio M, Aparicio-Fernandez L, Antoran A, Bouchara JP, Martin-Gomez MT, Rementeria A, Hernando FL, Ramirez-Garcia A (2020) ELISA test for the serological detection of *Scenedesporium/Lomentospora* in Cystic Fibrosis patients. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* 10.
- Mousapour Gorji A, Ahmadvand R, Taller J, Polgár Z (2017) Genetic multiplex state study of some advanced potato clones conferring Potato virus Y NTN (PVYNTN) extreme resistance. *Crop. Breed. J.* 7:15-22.
- Mumia BI, Muthomi JW, Narla RD, Nyongesa M, Olubayo FM (2017) Effect of seed potato tuber storage methods on occurrence of potato diseases. *Int. J. Res. Agric. Sci.* 4.
- Nasr-El-Din HA, Samuel MM (2007) Lessons learned from using viscoelastic surfactants in well stimulation. *Spe. Prod. Oper* 22:112-120.
- Nolte P, Whitworth JL, Thornton MK, McIntosh CS (2004) Effect of seedborne Potato virus Y on performance of Russet Burbank, Russet Norkotah, and Shepody potato. *Plant. Dis.* 88:248-252.
- Nyaga J N (2008) Management of aphids and aphid transmitted viruses in seed potato (*Solanum tuberosum* L.) production by small scale farmers and their effect on yield in Kenya. MSc. Thesis, University of Nairobi, Kenya. pp 45-96.
- Onditi JO (2008) Screening for resistance to potato virus Y and potato virus X in potato (*Solanum tuberosum* L.). MSc. Thesis, University of Nairobi, Kenya. 1566.
- Pourrahim R, Farzadfar S, Golnaraghi AR, Ahoonmanesh A (2007) Incidence and distribution of important viral pathogens in some Iranian potato fields. *Plant. Dis.* 91:609-615.
- Rahman MS, Akanda AM, Mian IH, Bhuian MK, Karim MR (2010) Growth and yield performance of different generations of seed potato as affected by PVY and PLRV. *Bangladesh J. Agric. Res.* 35: 37-50.
- Ribeiro SRRP, Pinto CABP, Costa SBFG, Menezes M and Figueira AR (2014) Resistance of potato clones to necrotic recombinant strains of potato virus y (pvv). *Ciênc. Agrotec.* 38: 343-351.
- Ross CW (1986) The effect of subsoiling and irrigation on potato production. *Soil. Till. Res.* 7:315-325.
- Safaeizadeh M, Saidi A (2011) First report of Tomato ringspot virus on tomato in Iran. *J. Plant. Pathol.* 93(4, Supplement).
- Safaeizadeh M, Saidi A, Palukaitis P (2015) Molecular characterization of cucumber mosaic virus isolates infecting tomato in Hamedan and Tehran provinces of Iran. *Acta. Virol.* 59:174-178.
- Saidi A, Hajibarat Z, Hajibarat Z (2020a) Transcriptome analysis of *Phytophthora infestans* and *Colletotrichum coccodes* in tomato to reveal resistance mechanisms. *As. Pac. J. Mol. Biol. Biotechnol.* 28: 39-51.

- Saidi A, Hajibarat Z, Hajibarat Z (2020b) Identification of responsive genes and analysis of genes with bacterial-inducible cis-regulatory elements in the promoter regions in *Oryza sativa* L. *Acta. Agric. Slov.* 116: 115-123.
- Saidi A, Hajibarat Z (2021) Approaches for developing molecular markers associated with virus resistances in potato (*Solanum tuberosum*). *J. Plant. Dis. Protect.* 1-14.
- Schulte-Geldermann E, Gildemacher PR, Struik PC (2012) Improving seed health and seed performance by positive selection in three Kenyan potato varieties. *Am. J. Potato. Res.* 89: 429-437.
- Salazar LF (1996) Potato viruses and tier control. International Potato Centre, Lima Peru. pp 6-7.
- Solomon-Blackburn R M, Barker H (2001) A review of host major-gene resistance to potato viruses X, Y, A and V in potato, genes, genetics and mapped locations. *Heredity.* 86: 8-16.
- Titkanlo AR, Nasrolanejad S, Ahmadvand R, Rezai Asl A, Neyshabori FS (2018) Electromagnetic field effects on production of salicylic acid and phenylalanine ammonia lyase in tobacco infected with potato virus x (PVX). *J. Plant. Protect.* (Mashhad). 31:653-661.
- Tiwari JK, Gopal J, Singh JB (2012) Marker-Assisted Selection for virus resistance in potato: Options and challenges. *Potato. J.* 39: 101-117.
- Valkonen JPT (1994) Natural genes and mechanisms for resistance to viruses in cultivated and wild potato species (*Solanum* spp.). *Plant.Breed.* 112:1-16.
- Wang B, Ma Y, Zhang Z, Wu Z, Wu Y, Wang Q, Li M (2011) Potato viruses in China. *Crop Prot.* 30:1117-1123.
- Whitworth JL, Novy R G, Hall DG, Crosslin J.M, Brown, C R (2009) Characterization of broad-spectrum *Potato virus Y* resistance in a *Solanum tuberosum* ssp andigena-derived population and select breeding clones using molecular markers, grafting, and field inoculations. *Am. J. Potato. Res.* 86:286-296.