**نشریه علوم گیاهان زراعی ایران**
دوره ۴۴، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲ (ص۶۳۴-۶۲۳)

# بررسی کارایی برخی از روش‌های سالم‌سازی سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) و اثر آنها بر عملکرد غده‌چه در گیاهان عاری از ویروس

**ناصر رحیمیان[۱]، احمد معینی[۲*] و مسعود شمس‌بخش[۳]**
۱، ۲ و۳، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
( تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۱ - تاریخ تصویب: ۹۲/۸/۱)

## چکیده

**ویروس‌های وای و پیچیدگی برگ سیب‌زمینی از جمله ویروس‌های مخربی هستند که سبب کاهش ۹۰-۱۰ درصدی عملکرد و کیفیت غده‌های سیب‌زمینی می‌شوند. در پژوهش حاضر، کارایی روش‌های کشت مریستم، گرمادرمانی همراه با کشت مریستم و برق‌درمانی همراه با کشت مریستم در گیاهچه‌های دو رقم اگریا و مارفونا آلوده به ویروس وای یا ویروس پیچیدگی برگ سیب‌زمینی بررسی شد. این بررسی برای هر یک از روش‌های حذف ویروس به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد و برای روش‌های حذف ویروس نیز از تجزیهٔ مرکب استفاده شد. میزان حذف ویروس ابتدا با آزمون الایزا و سپس با آرتی. پی‌سی‌آر ارزیابی شد. درصد باززایی گیاه و صفات مهم زراعی، شامل طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر ساقه، تعداد گره، فاصلهٔ میانگره، تعداد غده‌چه، وزن غده‌چه و وزن کل غده‌چه‌ها در گیاهچه‌های عاری از ویروس نیز بررسی شد. درصد باززایی گیاه و حذف ویروس برای اثر متقابل رقم در روش حذف ویروس معنادار شد. بیشترین حد باززایی گیاه (۷۰ درصد) در روش کشت مریستم و بیشترین حد حذف ویروس (۸۸ درصد) توسط روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم حاصل شد. در تحقیق حاضر، برای صفت کارایی حذف ویروس، اثر متقابل سه‌جانبهٔ رقم × ویروس × روش حذف ویروس معنادار شد و بهترین کارایی حذف ویروس (۶۴ درصد). توسط روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم در حذف ویروس وای از رقم مارفونا به‌دست آمد. برای اکثر صفات زراعی نیز اثر متقابل سه‌جانبه معنادار بود. نتایج حاصل از ضرایب همبستگی، تجزیهٔ رگرسیون و تجزیهٔ علیت عملکرد (تعداد غده‌چه در هر گیاه) و صفات مرتبط با آن نشان داد که صفت تعداد گره ساقه، بیشترین تأثیر را بر تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس داشت.**

**واژه‌های کلیدی:** برق‌درمانی، عاری از ویروس، کشت مریستم، گرمادرمانی، PLRV، PVY.

## مقدمه

سیب‌زمینی چهارمین منبع غذایی مهم جهان بعد از گندم، برنج و ذرت، و محصول غذایی باارزشی است که به‌دلیل قدرت تولید زیاد و سازگاری وسیع با شرایط آب‌وهوایی متفاوت، پتانسیل باقی‌ماندن برای نسل‌های آینده را با توجه به افزایش جمعیت جهان دارد. این محصول در ناحیه‌ای از کوه‌های آند در آمریکای جنوبی اهلی شده است و ساکنان این منطقه از هفت‌هزار سال پیش آن را کشت و از غده‌های آن به‌عنوان غذا استفاده می‌کرده‌اند. سیب‌زمینی را می‌توان در سراسر جهان از سطح دریا تا ارتفاع ۴۰۰۰ متری تولید کرد. بهترین شرایط آب‌وهوایی برای تولید سیب‌زمینی، آب‌وهوای معتدل تا کمی سرد است (Anonymous, 2011). سیب‌زمینی گیاهی سرمادوست و حساس به گرما است و رشد خوبی در دمای شبانه‌روزی حدود ۱۸ تا ۲۰ درجهٔ سلسیوس دارد (Tovar *et al*., 1985). این گیاه به‌طور معمول از طریق غیرجنسی و به‌صورت رویشی توسط غده‌های بذری تکثیر می‌شود (Akita & Takayama ,

* نویسنده مسئول: احمد معینی تلفن: ۰۲۶۳۲۲۲۱۴۸۲ E-mail: moieni_a@modares.ac.ir

(1994. گیاه سیب‌زمینی، مستعد آلودگی باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و ویروئیدها است. این عوامل بیماری‌زا در اثر تکثیر رویشی سیب‌زمینی به نسل‌های بعد منتقل می‌شوند و می‌توانند عملکرد و کیفیت بازارپسندی محصول را به‌طور مؤثری تحت تأثیر قرار دهند ( Tovar *et al*., 1985). کنترل خسارت عوامل بیماری‌زا به‌کمک روش‌های شیمیایی بسیار مشکل است ( De Bokx & Van der Want, 1987). در دهه‌های اخیر، بیش از هزار گونه ویروس گیاهی شناسایی شده است (Hull, 2002). در شرایط طبیعی کشت، حدود ۶۰ گونه ویروس، سیب‌زمینی را آلوده می‌کنند که برخی از آنها اهمیت اقتصادی دارند و در هر منطقه، تعدادی از آنها به این محصول خسارت وارد می‌کنند. شدت خسارت ناشی از بیماری‌های ویروسی بر حسب گونه و نژاد ویروس، رقم سیب‌زمینی و شرایط محیطی، ۹۰-۱۰ درصد گزارش شده است (De Bokx & Van der Want, 1987). از میان این ویروس‌ها، بعضی شامل *Potato virus A* (PVA)، *Potato virus X* (PVX)، *Potato leafroll virus* (PLRV)، *Potato virus* S (PVS)، *Potato virus Y* (PVY) در آلوده‌سازی سیب‌زمینی اهمیت بیشتری دارند (Bantarri *et al*., 1993; Siddiqui *et al*.,1996). در این میان PLRV و PVY، از نظر ایجاد خسارت و کاهش عملکرد، از مهم‌ترین ویروس‌های سیب‌زمینی محسوب می‌شوند ( Hooker, 1990 ;Singh *et al*., 1996). تهیهٔ غده‌های بذری سالم و عاری از ویروس، از بهترین و کارامدترین راه‌های کنونی کنترل آلودگی‌های ویروسی در سیب‌زمینی است (Horackova, 1998). اولین بار گیاه کوکب عاری از *Tomato spotted wilt virus* (TSWV) از طریق پیوند مریستم روی ساقهٔ زیرزمینی سالم تولید شد (Holmes, 1948). در تحقیقات دیگری، گیاهان سالمی از طریق کشت مریستم در گل کوکب و سیب‌زمینی آلوده به ویروس تولید شد (Morel & Martin, 1952). چهار رقم سیب‌زمینی آلوده به PLRV، با استفاده از گرمادرمانی به‌مدت ۴۰ روز در دمای ۲ ±۳۷ درجهٔ سانتی‌گراد، سبب حذف ویروس از ۵۱/۹ درصد گیاهچه‌های آلوده به ویروس شد (Awan *et al*., 2007). همچنین با قرار دادن گیاهچه‌های سیب‌زمینی آلوده در دمای ۳۶ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ روز، ۵۰ درصد گیاهان از PLRV و ۶۵ درصد گیاهان از PVY عاری شدند ( Wang *et al*., 2006). اولین بار در سال ۱۹۹۶ به‌منظور حذف PVX در سیب‌زمینی از روش برق‌درمانی و کشت جوانه استفاده شد (Lozoya-Saldana *et al*., 1996). در این روش از گیاهان رشدکرده در گلخانه، ساقه‌هایی با چند جوانه انتخاب شدند و به‌مدت ۱۰ دقیقه در معرض شدت جریان ۱۵ mA قرار گرفتند و سپس جوانه‌های انتهایی آنها در شرایط درون‌شیشه‌ای کشت شدند که سبب شد ۴۱/۶۶ درصد از گیاهان آلوده، عاری از ویروس شوند (Pazhouhandeh *et al*, 2002). به‌منظور برق‌درمانی و حذف ویروس GVA (Grapevine virus A) از انگور، شدت جریان ۳۰ mA به‌مدت ۱۵ دقیقه مؤثر شناخته شد (Bayati *et al*., 2011). همچنین در تحقیقی به‌منظور حذف آلودگی مرکب PLRV و PVY از رقم F9-99 سیب‌زمینی، بیشترین (۶۲/۵ درصد) و کمترین (۲۱/۹ درصد) درصد باززایی گیاه به‌ترتیب در شدت جریان ۱۰ mA به‌مدت ۵ دقیقه و ۱۵ mA به‌مدت ۱۰ دقیقه به‌دست آمد. بیشترین درصد حذف ویروس PLRV (۴۶/۷ درصد) و PVY (۴۰ درصد) نیز در شدت جریان ۱۰ mA به‌مدت ۵ دقیقه مشاهده شد (Shambhu *et al*., 2008). در تحقیق امامی میبدی و همکاران (۲۰۱۱)، از بین شدت جریان‌ها و زمان‌های مختلف، شدت جریان ۳۵ mA به‌مدت ۲۰ دقیقه مؤثرترین تیمار برای حذف آلودگی مرکب سیب‌زمینی به PVY و PVA بود. شدت جریان ۱۵ mA به‌مدت ۱۰ دقیقه برای حذف هرکدام از ویروس‌های PLRV، PVY، PVA و PVS در هرکدام از ارقام اگریا و پیکاسو سیب‌زمینی از لحاظ درصد باززایی گیاه و درصد حذف ویروس مؤثرتر از سایر تیمارهای برق‌درمانی گزارش شده است (Pazhouhandeh, 2002). در حذف ویروس با برق‌درمانی، بیشترین کارایی حذف ویروس در شدت جریان ۱۵ mA به‌مدت ۱۰ دقیقه گزارش شده است (Mahmoud *et al*., 2009).

اطلاع ناقص از ارتباط بین صفات مختلف و انتخاب برای صفات زراعی بدون توجه به دیگر صفات، نتایج روشنی نخواهد داشت. برای برنامه‌ریزی بهتر در زمینهٔ انتخاب، در نظر گرفتن همبستگی‌های صفات ضروری

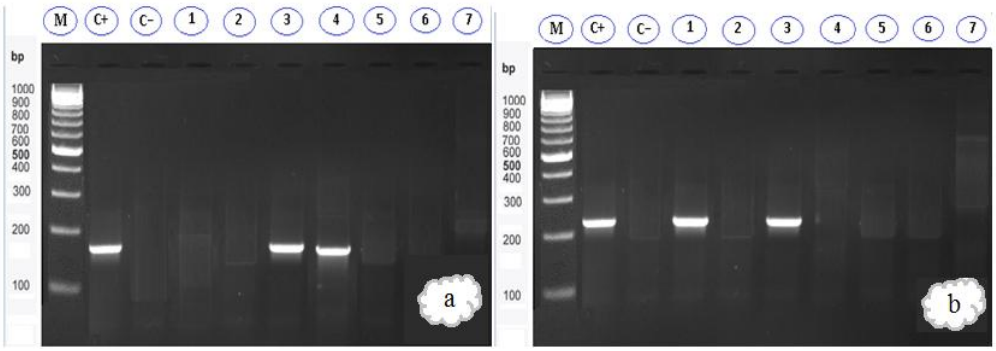
است. ضرایب همبستگی سادهٔ بین صفات برای آگاهی از رابطهٔ بین عملکرد و اجزای آن، یا در مورد روابط میان اجزای عملکرد به‌صورت دوبه‌دو، به‌طور گسترده استفاده شده است (Pandey & Torric, 1973). اگر همبستگی بین صفات مثبت، معنادار و مستقیم باشد، طی برنامهٔ اصلاحی می‌توان همزمان برای هر دو صفت انتخاب را انجام داد (Monasterio & Graham, 2000; Cakmak *et al.*, 2004). تجزیهٔ ضرایب همبستگی بین صفات مختلف با عملکرد، به تصمیم‌گیری در مورد اهمیت نسبی این صفات و ارزش آنها به‌عنوان معیارهای انتخاب کمک می‌کند (Agrama, 1996). از ضرایب همبستگی ساده، اغلب برای مطالعهٔ روابط بین صفات گیاهی با یکدیگر استفاده می‌شود. بسیاری از صفات به‌دلیل ارتباطات دوطرفهٔ مثبت و منفی با صفات دیگر همبستگی دارند. وقتی که صفات زیادی در همبستگی وارد شوند، روابط غیرمستقیم بین آنها پیچیده می‌شود. در چنین مواردی، ضرایب همبستگی ممکن است تحت تأثیر غیرمستقیم واقع شود که در این صورت تعیین روابط واقعی بین صفات دشوار می‌شود. اطلاعات حاصل از ضرایب همبستگی را می‌توان از طریق تفکیک آنها به تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم افزایش داد که برای این منظور تجزیهٔ ضرایب مسیر پیشنهاد شده است (Dewey & Lu, 1954 ; Fraser & Eaton, 1983). هدف از تجزیهٔ علیت (مسیر) آن است که با استفاده از همبستگی بین متغیرها و ایجاد مدل‌های علت و معلول، بتوان تحلیل مناسبی از صفات داشت. این روش ماهیت همبستگی‌های ساده را نشان می‌دهد و شدت تأثیرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل در متغیرهای وابسته را تعیین می‌کند. تجزیهٔ ضرایب مسیر، سهم هر متغیر را در عملکرد به‌طور واضح‌تری بیان کرده و اثر واقعی هر عامل را اندازه‌گیری می‌کند (Dewey & Lu, 1954). با توجه به اهمیت تولید غده‌چهٔ عاری از ویروس به‌عنوان بذر رویشی در گیاه سیب‌زمینی، تحقیق حاضر به‌منظور دستیابی به‌روش کارامدی برای حذف دو ویروس مهم PLRV و PVY از دو رقم مهم سیب‌زمینی شامل اگریا و مارفونا که بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی در کشور را دارند انجام گرفته است. همچنین برای اولین مرتبه، به‌منظور تعیین روابط علّی و معلولی بین صفات زراعی در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از هرکدام از روش‌های حذف ویروس، بررسی‌های تکمیلی شامل ضرایب همبستگی، رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیهٔ ضرایب مسیر صفات تحت مطالعه، بررسی شد.

## مواد و روش‌ها

غده‌های دو رقم اگریا و مارفونای سیب‌زمینی آلوده به PLRV یا PVY، تهیه‌شده از مؤسسهٔ تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال کرج، شامل رقم اگریا آلوده به PLRV، رقم اگریا آلوده به PVY، رقم مارفونا آلوده به ویروس PLRV و رقم مارفونا آلوده به PVY، مواد اولیهٔ این پژوهش را تشکیل داده‌اند. برای اطمینان از آلوده بودن این غده‌ها به ویروس‌های مورد نظر، ابتدا غده‌ها کشت شده و سپس گیاهچه‌های حاصل با آزمون اِلایزا براساس روش معرفی‌شده توسط کلارک و آدامز (۱۹۹۷) بررسی شدند. پس از مثبت بودن نتیجهٔ آزمون (هر رقم فقط آلوده به PLRV یا PVY باشد و به دیگر ویروس‌ها آلوده نباشد)، غده‌های آلوده تکثیر شدند. آنتی‌بادی‌های مورد نیاز برای تحقیق حاضر از شرکت DSMZ آلمان تهیه شدند. به‌منظور تکثیر غده‌های آلوده، ابتدا خواب آنها شکسته شد و سپس در گلدان‌های پلاستیکی (با قطر ۲۰ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر) حاوی مخلوط پیت ماس و پرلیت (با نسبت ۱:۱) در اتاق رشدی با دورهٔ نوری ۱۶ ساعت روشنایی با دمای ۲ ± ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد و ۸ ساعت تاریکی با دمای ۲ ± ۱۸ سانتی‌گراد کشت شدند. پس از ۴-۳ هفته که ارتفاع گیاهان به ۴۰-۳۰ سانتی‌متر رسید، نسبت به تکثیر درون‌شیشه‌ای آنها از طریق کشت قطعات گرهی اقدام شد. مریستم انتهایی با یک جفت پریموردیوم از جوانه‌ها جدا شده و روی پل کاغذی درون محیط کشت MS مایع و فاقد هورمون کشت شد. مریستم‌های کشت‌شده پس از رشد اولیه (رسیدن به‌اندازهٔ ۳-۲ میلی‌متر)، به لوله‌های آزمایش حاوی محیط کشت MS جامد با ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر از دو هورمون IBA و NAA انتقال داده شدند. پس از چهار هفته که ارتفاع گیاهچه‌های درون لولهٔ آزمایش به حدود ۵ سانتی‌متر رسید، برای سازگاری به شرایط برون‌شیشه‌ای، گیاهچه‌ها از لوله‌های

آزمایش خارج شده و ریشه‌های آنها با آب ولرم شست‌وشو داده شد و سپس درون گلدان‌های کوچک حاوی پیت ماس و پرلیت (۱:۱) کشت شده و به‌مدت ۲۵ روز در اتاق رشد کنترل‌شده با ۱۶ ساعت روشنایی در دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم، قبل از کشت مریستم، جوانهٔ انتهایی گیاهچه‌های آلوده به ویروس حذف شدند تا رشد جوانه‌های جانبی تحریک شود. سپس گلدان‌های حاوی این گیاهچه‌های آلوده به ویروس در اتاق مخصوص گرمادرمانی با دورهٔ نوری به‌شدت ۴۵۰۰ لوکس و ۱۶ ساعت روشنایی در دمای ۲۸ درجهٔ سانتی‌گراد و ۸ ساعت تاریکی در دمای ۲۲ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. دمای داخل اتاق به‌صورت تدریجی هر دو روز ۲ درجهٔ سانتی‌گراد افزایش یافت تا به ۲ ± ۳۷ درجه رسید. سپس گیاهچه‌ها به‌مدت ۴۰ روز در دمای ۲ ± ۳۷ درجه نگهداری شدند. برای برق‌درمانی همراه با کشت مریستم، ساقهٔ گیاهچه‌های آلوده به ویروس بعد از حذف برگ‌ها (از وسط دمبرگ) در تانک مخصوص الکتروفورز حاوی محیط کشت 1/2 MS مایع جای داده شده و سپس به‌مدت ۱۰ دقیقه در معرض شدت جریان ۱۵ میلی‌آمپر قرار گرفتند. پس از تیمار برق‌درمانی کشت مریستم آنها انجام گرفت. با تهیهٔ نمونه‌های برگ و ساقه قبل از گلدهی، درصد حذف ویروس از طریق اجرای آزمون‌های تشخیص ویروس (ابتدا با ELISA و سپس توسط RT-PCR) (شکل ۱) ارزیابی شد. برای ردیابی RNA ویروسی از آغازگرهای اختصاصی PLRV و PVY استفاده شد. آغازگرهای اختصاصی ویروس‌ها براساس توالی حفاظت‌شدهٔ ژن پوشش پروتئینی توسط دو و همکاران (Du et al., 2006) طراحی و در شرکت Isogen Life Science (هلند) ساخته شد.




شکل ۱ . تفکیک محصولات PCR در ژل آگارز ۳ درصد همراه با شاهد منفی و مثبت برای نمونه‌های برگی گیاهچه‌های تیمارشده با روش‌های حذف ویروس، شکل a- ویروس Y سیب‌زمینی (PVY) با ۱۶۶ جفت باز و شکل؛ b- ویروس پیچیدگی برگ سیب‌زمینی (PLRV) با ۲۰۸ جفت باز (نشانگر مولکولی با جرم ۱۰۰ جفت باز «GeneRuler$^{TM}$100bp DNA ladder, Fermentas» )

در این پژوهش، صفات درصد باززایی گیاه و کارایی حذف ویروس (کارایی حذف ویروس= درصد حذف ویروس × درصد باززایی گیاهچه‌ها) از تیمارهای مختلف ارزیابی شد. همچنین صفات مهم زراعی شامل طول ساقه، قطر ساقه، وزن تر ساقه، تعداد گره در هر گیاه، تعداد غده‌چه در هر گیاه، وزن غده‌چه در هر گیاه، وزن کل غده‌چه‌ها در هر گیاه و طول میانگره در گیاهان عاری از ویروس بررسی شد. این تحقیق برای هر یک از روش‌های حذف ویروس به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. روش‌های حذف ویروس نیز با تجزیهٔ مرکب ارزیابی شدند.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب صفات تحت مطالعه، حاکی از اختلافات معنادار برخی صفات بین ارقام، گونهٔ ویروس و روش حذف ویروس و تأثیرات متقابل آنها بود (جدول ۱). اثر متقابل رقم در ویروس و رقم در روش حذف ویروس برای صفت درصد باززایی گیاه به‌ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد معنادار بود. با مقایسهٔ

میانگین اثر رقم در روش حذف ویروس برای صفت درصد باززایی گیاه (جدول ۲) مشخص شد که درصد باززایی گیاه بین دو رقم سیب‌زمینی نسبت به روش حذف ویروس استفاده‌شده متفاوت بود و رقم اگریا با استفاده از روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم، بیشترین درصد باززایی (۷۰/۷ درصد) را داشت، درحالی‌که کمترین درصد باززایی گیاه (۵۹/۸ درصد) مربوط به رقم اگریا در روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم بود. مقایسهٔ میانگین اثر رقم در گونهٔ ویروس حذف‌شده برای صفت درصد باززایی گیاه (جدول ۳)، نمایانگر واکنش متفاوت دو رقم سیب‌زمینی برای صفت درصد باززایی گیاه بود، به‌طوری‌که در رقم اگریا، پس از حذف PLRV، و در رقم مارفونا پس از حذف PVY، بیشترین درصد باززایی گیاه مشاهده شد (به‌ترتیب ۶۸/۶ و ۶۷/۲ درصد). مقایسهٔ میانگین اثر رقم در روش حذف ویروس برای صفت درصد حذف ویروس (جدول ۲) نشان داد که بین دو رقم سیب‌زمینی بر حسب روش حذف ویروس استفاده‌شده، تفاوت وجود داشت و بیشترین درصد حذف ویروس در رقم مارفونا (۹۱/۷ درصد) در روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم به‌دست آمد.

جدول ۱. نتایج تجزیهٔ مرکب صفات تحت بررسی برای روش‌های حذف ویروس (کشت مریستم، گرمادرمانی همراه با کشت مریستم و برق‌درمانی همراه با کشت مریستم)

| منابع تغییرات | درجهٔ آزادی | مجموع مربعات | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درصد باززایی گیاه | درصد حذف ویروس | کارایی حذف ویروس | طول ساقه | تعداد گره در هر گیاه | طول میانگره | وزن تر ساقه | قطر ساقه | تعداد غده‌چه در هر گیاه | متوسط وزن غده‌چه در هر گیاه | وزن کل غده‌چه در هر گیاه |
| روش | ۲ | ۰/۰۳۶** | ۰/۵۸۰** | ۰/۲۶۴** | ۱۵۶۴۶/۲۹۵** | ۳۹۱۰/۶۸۵** | ۱/۸۶۲** | ۱۷۱۴۰/۳۵۰** | ۱۰۰/۱۰۳** | ۱۴۶/۴۳۹** | ۵۶۶۶/۴۸۳** | ۶۸۴۲۵۵/۹۸۱** |
| تکرار (روش) | ۶ | ۰/۰۳۴ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۳۲ | ۱۷۹/۷۴۵ | ۳۹/۸۸۱ | ۰/۱۰۴ | ۱۷۶/۹۴۳ | ۰/۶۸۵ | ۱۰/۵۷۱ | ۱۶۵/۹۸۲ | ۱۱۴۴۹/۷۸۶ |
| رقم | ۱ | ۰/۰۰۱ n.s | ۰/۰۰۳ n.s | ۰/۰۰۰ n.s | ۹۸/۴۰۶** | ۴۰/۹۶۰** | ۰/۵۷۸** | ۰/۷۶۹ n.s | ۱/۹۶۵ ** | ۰/۶۵۶ n.s | ۹۲/۹۳۰** | ۷۷۴۷/۲۲۷** |
| ویروس | ۱ | ۰/۰۰۰ n.s | ۰/۰۰۰ n.s | ۰/۰۰۰ n.s | ۱۳۲/۵۵۷** | ۱۲۱/۰۰۰** | ۰/۷۱** | ۲۳۹/۹۴۰** | ۰/۴۴۷ n.s | ۷/۶۳۶** | ۲۴۴/۵۰۵** | ۶۳/۷۰۷ n.s |
| رقم × ویروس | ۱ | ۰/۰۱۱* | ۰/۰۰۳ n.s | ۰/۰۰۳ n.s | ۶/۸۳۰ n.s | ۱۸۲/۲۵۰** | ۰/۱۲۳** | ۱۵۱/۸۶۵** | ۰/۰۵۸ n.s | ۵/۰۰۳** | ۱۳۰/۲۶۴** | ۱۵۱۹/۸۳۰* |
| رقم × روش | ۲ | ۰/۰۲۲** | ۰/۰۳۱* | ۰/۰۰۱ n.s | ۴۶۳/۸۷۶** | ۶۱/۳۵۵** | ۰/۱۴۹** | ۳۳۳/۹۸۰** | ۱/۷۶۹** | ۵/۲۴۲* | ۷۵/۶۸۸* | ۱۷۱۱/۲۰۰ n.s |
| ویروس× روش | ۲ | ۰/۰۱۲ n.s | ۰/۰۰۶ n.s | ۰/۰۱۷* | ۵۷۱/۴۱۰** | ۲۴۸/۰۱۵** | ۰/۲۴۱** | ۶۷۸/۳۳۸** | ۱/۵۱۴* | ۱۶/۰۸۵** | ۲۱/۲۸۴ n.s | ۹۴۵۸/۷۲۲** |
| رقم × روش× ویروس | ۲ | ۰/۰۱۱ n.s | ۰/۰۰۳ n.s | ۰/۰۱۵* | ۱۴۰/۱۹۷** | ۳۶۹/۴۶۵** | ۲/۰۶۸** | ۸۲/۶۹۶* | ۰/۱۹۹ n.s | ۱۵/۳۱۶** | ۱۸۹۷/۸۲۰** | ۶۳۳۹۱/۸۳۳** |
| خطا آزمایشی | ۱۸ | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۲۸ | ۱۴۸/۹۹۳ | ۴۷/۰۳۴ | ۰/۰۴۵ | ۱۵۰/۵۰۴ | ۲/۶۴۹ | ۸/۵۸۴ | ۱۴۹/۷۹۷ | ۵۷۶۶/۴۷۲ |
| CV% | | ۶/۳۲ | ۷/۴۱ | ۸/۵۰ | ۲/۹۳ | ۴/۱۳ | ۱/۸۳ | ۳/۰۶ | ۵/۴۳ | ۹/۷۶ | ۱۰/۲۹ | ۸/۲۹ |

n.s، * و ** به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ غیرمعناداری، و معنادار بودن در سطح احتمال ۵ و۱درصد هستند.

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین اثر رقم در روش حذف ویروس برای صفات درصد باززایی گیاه، درصد حذف ویروس و قطر ساقه

| روش حذف ویروس | رقم | میانگین صفت | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | درصد باززایی گیاه | | درصد حذف ویروس | | قطر ساقه (mm) | |
| کشت مریستم | اگریا | ۶۹/۷ | ab | ۵۶/۵ | d | ۸/۴ | b |
| | مافونا | ۶۹/۷ | ab | ۵۹/۳ | d | ۹/۳ | a |
| گرمادرمانی همراه با کشت مریستم | اگریا | ۷۰/۷ | a | ۸۳/۳ | b | ۷/۲ | c |
| | مارفونا | ۶۳/۰ | bc | ۹۱/۷ | a | ۷/۹ | b |
| برق‌درمانی همراه با کشت مریستم | اگریا | ۵۹/۸ | c | ۶۷/۳ | c | ۴/۹ | d |
| | مارفونا | ۶۴/۲ | abc | ۶۱/۵ | cd | ۴/۷ | d |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد | | ۵/۰۳۴ | | ۶/۲۶۴ | | ۰/۴۶۵ | |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۱ درصد | | ۶/۸۹۶ | | ۸/۵۸۲ | | ۰/۶۳۷ | |

در هر ستون میانگین‌هایی که یک حرف مشترک دارند، با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند (آزمون LSD) (α= ٪۱) و (α= ٪۵)

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین اثر رقم در ویروس برای صفت درصد باززایی گیاه

| رقم | ویروس | درصد باززایی گیاه |
|---|---|---|
| اگریا | PLRV | ۶۸/۶ a |
| | PVY | ۶۴/۹ ab |
| مارفونا | PLRV | ۶۴/۰ b |
| | PVY | ۶۷/۲ ab |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد | | ۴/۱۱ |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۱ درصد | | ۵/۶۳۱ |

میانگین‌هایی که یک حرف مشترک دارند، با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند (آزمون LSD) (۵ درصد =α)

اثر متقابل سه‌جانبهٔ رقم × روش× ویروس در صفات طول ساقه، تعداد گره، طول میانگره، تعداد غده‌چه، وزن غده‌چه و وزن کل غده‌چه‌ها در سطح احتمال ۱ درصد، و در صفات وزن تر ساقه و کارایی حذف ویروس در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود. معنادار بودن اثر متقابل سه‌جانبهٔ این صفات بیانگر واکنش متفاوت دو رقم سیب‌زمینی نسبت به روش حذف و گونهٔ ویروس حذف‌شده بود. به‌منظور درک بهتر اثر متقابل بین رقم، ویروس و روش حذف ویروس استفاده‌شده، نتایج مقایسهٔ میانگین اثر بین رقم و ویروس به‌تفکیک برای هر یک از روش‌های حذف ویروس در جدول ۴ ارائه شده است. بیشترین کارایی حذف ویروس PLRV برای ارقام مارفونا و اگریا به‌ترتیب ۵۲ و ۵۹ درصد در روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم به‌دست آمد. همچنین بیشترین کارایی حذف ویروس PVY برای ارقام مارفونا و اگریا به‌ترتیب ۶۴ و ۵۸ درصد در روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم حاصل شد. در گیاهچه‌های عاری از ویروس، بیشترین طول ساقه در رقم مارفونا آلوده به PVY که با کشت مریستم عاری‌سازی شده بود، به‌دست آمد، درحالی‌که بیشترین تعداد گره، تعداد غده‌چه و همچنین وزن تر ساقه در رقم اگریا آلوده به PVY که با کشت مریستم عاری‌سازی شده بودند حاصل شد. بیشترین متوسط وزن غده‌چه نیز در رقم اگریا آلوده به PLRV با استفاده از

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین صفات تحت مطالعه برای اثر متقابل سه‌گانهٔ رقم × ویروس × روش حذف ویروس

| روش حذف ویروس | رقم | ویروس | صفات تحت مطالعه: کارایی حذف ویروس | طول ساقه (cm) | تعداد گره | طول میانگره (cm) | وزن تر ساقه (gr) | تعداد غده‌چه | وزن غده‌چه (gr) | وزن کل غده‌چه (gr) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کشت مریستم | اگریا | PLRV | ۴۱ cd | ۱۱۸ bc | ۴۲ c | ۳/۰ b | ۱۰۹/۲۶ d | ۷/۰ c | ۵۸/۵۷ a | ۴۱۰/۳۷ b |
| | اگریا | PVY | ۳۹ d | ۱۲۴ b | ۶۶ a | ۱/۹ g | ۱۳۲/۳۱ a | ۱۲/۱ a | ۲۷/۸۰ d | ۳۳۴/۶۷ c |
| | مارفونا | PLRV | ۴۶ bc | ۱۱۷ c | ۵۱ b | ۲/۳ f | ۱۱۶/۸۱ c | ۹/۶ b | ۳۴/۱۰ cd | ۳۲۵/۴۰ cd |
| | مارفونا | PVY | ۳۸ d | ۱۳۲ a | ۴۹ b | ۲/۸ c | ۱۲۳/۹۳ b | ۹/۸ b | ۵۰/۷۰ b | ۴۹۴/۱۰ a |
| گرمادرمانی همراه با کشت مریستم | اگریا | PLRV | ۵۹ a | ۸۷ f | ۳۶ d | ۲/۵ ef | ۸۶/۵۳ f | ۶/۱ cd | ۲۳/۴۰ f | ۱۴۴/۵۰ g |
| | اگریا | PVY | ۵۸ ab | ۱۰۰ e | ۴۰ cd | ۲/۶ de | ۹۶/۸۰ e | ۷/۲ c | ۳۰/۵۱ de | ۲۱۸/۷۳ ef |
| | مارفونا | PLRV | ۵۲ b | ۱۰۳ de | ۳۹ cd | ۲/۷ cd | ۹۸/۴۱ e | ۷/۰ c | ۳۸/۳۷ c | ۲۶۴/۲۰ de |
| | مارفونا | PVY | ۶۴ a | ۱۰۸ d | ۴۰ c | ۲/۸ cd | ۱۰۱/۰۷ e | ۷/۲ c | ۲۴/۶۹ ef | ۱۷۷/۷۰ fg |
| برق‌درمانی همراه با کشت مریستم | اگریا | PLRV | ۴۰ cd | ۷۷ g | ۳۰ e | ۲/۷ cd | ۷۳/۳۲ g | ۶/۰ cd | ۱۰/۸۹ g | ۶۴/۰۷ h |
| | اگریا | PVY | ۳۹ d | ۷۲ g | ۲۷ ef | ۳/۰ b | ۶۷/۸۱ h | ۴/۷ d | ۷/۴۶ g | ۳۴/۵۳ h |
| | مارفونا | PLRV | ۳۸ d | ۷۴ g | ۲۵ f | ۳/۵ a | ۶۷/۰۸ h | ۴/۰ d | ۱۸/۶۸ f | ۷۵/۳۷ h |
| | مارفونا | PVY | ۴۰ cd | ۶۴ h | ۲۴ f | ۳/۰ b | ۶۰/۴۷ i | ۴/۱ d | ۱۱/۴۲ g | ۴۳/۱۳ h |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد | | | ۶/۷۶۶ | ۴/۹۳۵ | ۲/۷۷۳ | ۰/۰۸۶ | ۴/۹۶۰ | ۱/۱۸۵ | ۴/۹۴۸ | ۳۰/۷۰۳ |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۱ درصد | | | ۹/۲۶۹ | ۶/۷۶۲ | ۳/۷۹۹ | ۰/۱۱۷ | ۶/۷۹۶ | ۱/۶۲۳ | ۶/۷۸۰ | ۴۲/۰۶۶ |

در هر ستون میانگین‌هایی که یک حرف مشترک دارند، با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند (آزمون LSD) (۱٪ =α) و (۵٪ =α)

روش کشت مریستم حاصل آمد. بیشترین وزن کل غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس رقم مارفونا که از طریق کشت مریستم عاری از PVY شده بودند، و بیشترین طول میانگره در رقم مارفونا آلوده به PLRV

که با روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم عاری‌سازی شده بودند، مشاهده شد. با توجه به معنادار شدن اثر متقابل ویروس در روش حذف ویروس برای صفت قطر ساقه، مقایسهٔ میانگین این اثر متقابل برای صفت قطر ساقه (جدول ۵) نشان می‌دهد که در گیاهچه‌هایی که با استفاده از روش کشت مریستم، PVY از آنها حذف شد، قطر ساقهٔ بیشتری حاصل شده است. در برنامهٔ تولید غده‌چهٔ سیب‌زمینی به‌عنوان بذر رویشی، تولید تعداد بیشتر گیاهچه‌های عاری از ویروس و تکثیر سریع آنها هدف اصلی محسوب می‌شود. در نسل‌های اولیهٔ گیاهچه‌های عاری از ویروس، هرچه تعداد غده‌چهٔ تولیدی در هر گیاهچه بیشتر باشد، گیاه عاری از ویروس بیشتری تولیـــد خواهد شـد (شاطریان و نیامنش، ۱۳۸۴).

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین صفت قطر ساقه برای اثر متقابل ویروس در روش حذف ویروس

| روش حذف ویروس | ویروس | قطر ساقه (mm) |
|---|---|---|
| کشت مریستم | PLRV | ۸/۶ a |
| | PVY | ۹/۰ a |
| گرمادرمانی همراه با کشت مریستم | PLRV | ۷/۲ c |
| | PVY | ۷/۹ b |
| برق‌درمانی همراه با کشت مریستم | PLRV | ۵/۰ d |
| | PVY | ۴/۷ d |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۵ درصد | | ۰/۴۶۵ |
| مقدار LSD در سطح احتمال ۱ درصد | | ۰/۶۳۷ |

میانگین‌هایی که یک حرف مشترک دارند، با یکدیگر تفاوت معناداری ندارند (آزمون LSD) (α= ٪۵)

ماتریس ضرایب همبستگی بین صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از کشت مریستم (جدول ۶)، بیانگر همبستگی مثبت و معنادار صفات تعداد گره و وزن تر ساقه و همبستگی منفی و معنادار صفات طول میانگره و متوسط وزن غده‌چه با تعداد غده‌چه است. به‌منظور شناسایی تأثیرات نسبی تعداد غده‌چه به‌عنوان متغیر وابسته و برآورد و گزینش مجموعهٔ مناسبی از متغیرها برای مدل رگرسیونی در هر یک از روش‌های حذف ویروس، از رگرسیون گام‌به‌گام استفاده شد. مدل نهایی برای برآورد تعداد غده‌چه ($x_۶$) در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم با توجه به نتایج رگرسیون گام‌به‌گام (جدول ۷) به‌صورت زیر به‌دست آمد ($Y=X_۶$):

$$Y = -۴/۱۴۸ + ۰/۰۱۹\ X_۲ + ۰/۱۲۵\ X_۴ - ۰/۰۵۳\ X_۷$$

ضریب تبیین مدل رگرسیونی بالا، ۰/۹۱۱ بود که بیانگر توجیه شدن ۹۱/۱ درصد از تغییرات تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم با صفات واردشده به مدل است.

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم

| صفت | | $x_۱$ | $x_۲$ | $x_۳$ | $x_۴$ | $x_۵$ | $x_۶$ | $x_۷$ | $x_۸$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طول ساقه | $x_۱$ | ۱ | | | | | | | |
| تعداد گره | $x_۲$ | ۰/۲۴۰ | ۱ | | | | | | |
| طول میانگره | $x_۳$ | ۰/۰۸۱ | -۰/۹۴۰** | ۱ | | | | | |
| وزن تر ساقه | $x_۴$ | ۰/۶۵۰* | ۰/۸۹۳** | -۰/۷۰۱* | ۱ | | | | |
| قطر ساقه | $x_۵$ | ۰/۴۸۵ | -۰/۰۸۴ | ۰/۱۵۸ | ۰/۱۸۲ | ۱ | | | |
| تعداد غده‌چه | $x_۶$ | ۰/۳۸۹ | ۰/۹۲۵** | -۰/۸۳۰** | ۰/۹۰۸** | ۰/۱۵۴ | ۱ | | |
| متوسط وزن غده‌چه | $x_۷$ | ۰/۰۲۶ | -۰/۸۷۵** | ۰/۹۴۰** | -۰/۶۷۹* | ۰/۰۲۱ | -۰/۸۳۲** | ۱ | |
| وزن کل غده‌چه | $x_۸$ | ۰/۵۰۸ | -۰/۵۱۱ | ۰/۷۰۰* | -۰/۱۶۳ | ۰/۴۵۰ | -۰/۳۱۲ | ۰/۷۵۸** | ۱ |

** و * به‌ترتیب معنادار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۷. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام برای گزینش صفات توجیه‌کنندهٔ تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم

| صفات مستقل | عرض از مبدأ | ضرایب رگرسیون برای صفات | | | ضریب تبیین تجمعی | میانگین مربعات خطا |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $x_2$ | $x_4$ | $x_7$ | | |
| تعداد گره ($x_2$) | -۰/۷۳۶ | ۰/۱۹۹ | - | - | ۰/۸۵۵** | ۰/۶۴۸ |
| وزن تر ساقه ($x_4$) | -۷/۰۶۹ | ۰/۱۲۱ | ۰/۰۸۶ | - | ۰/۸۸۸** | ۰/۵۵۶ |
| متوسط وزن غده‌چه ($x_7$) | -۴/۱۴۸ | ۰/۰۱۹ | ۰/۱۲۵ | -۰/۰۵۳ | ۰/۹۱۱** | ۰/۴۹۸ |

** نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح احتمال ۱درصد است.

نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از کشت مریستم (جدول ۸)، ماهیت همبستگی صفات تعداد گره، وزن تر ساقه و متوسط وزن غده‌چه با تعداد غده‌چه را که در مدل رگرسیونی وارد شده‌اند نشان می‌دهند. اثر مستقیم تعداد گره بر تعداد غده‌چه (۰/۰۹۰) کمتر از تأثیرات غیرمستقیم آن از طریق وزن تر ساقه (۰/۵۲۴) و متوسط وزن غده‌چه (۰/۳۱۱) بر تعداد غده‌چه است. اثر مستقیم وزن تر ساقه بر تعداد غده‌چه (۰/۵۸۷) از تأثیرات غیرمستقیم آن از طریق تعداد گره (۰/۰۸۰) و متوسط وزن غده‌چه (۰/۲۴۱) بر تعداد غده‌چه، بیشتر است. اثر منفی و مستقیم وزن غده‌چه بر تعداد غده‌چه (۰/۳۵۵-)، از اثر غیرمستقیم آن از طریق وزن تر ساقه (۰/۳۹۹-)، کمتر و از اثر غیرمستقیم آن از طریق تعداد گره (۰/۰۷۸-) بر تعداد غده‌چه، بیشتر است. مقدار باقی‌ماندهٔ تجزیهٔ علیت، بیانگر تأثیرگذاری سایر صفات، عوامل و شرایط در حد ۲۹/۷ درصد بر تعداد غده‌چهٔ تولیدی در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از کشت مریستم است. با توجه به نتایج تجزیهٔ علیت یادشده، بیشترین اثر مستقیم بر تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از کشت مریستم را صفت وزن تر ساقه دارد. ازآنجا که اثر غیرمستقیم صفات تعداد گره و متوسط وزن غده‌چه از طریق وزن تر ساقه بر تعداد غده‌چه به‌نسبت زیاد است، می‌توان با در نظر گرفتن و کنترل آنها در برنامه‌های اصلاحی، موجب افزایش تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از کشت مریستم شد. ماتریس ضرایب همبستگی بین صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از برق‌درمانی همراه با کشت مریستم (جدول ۹) بیانگر همبستگی مثبت و معنادار صفات طول ساقه، تعداد گره، قطر ساقه و وزن تر ساقه و همبستگی منفی و معنادار صفت طول میانگره با تعداد غده‌چه است.

جدول ۸. نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم

| صفت | $x_7$ | $x_4$ | $x_2$ | همبستگی صفت با تعداد غده‌چه |
|---|---|---|---|---|
| تعداد گره ($x_2$) | ۰/۳۱۱ | ۰/۵۲۴ | ۰/۰۹۰ | ۰/۹۲۵ |
| وزن تر ساقه ($x_4$) | ۰/۲۴۱ | ۰/۵۸۷ | ۰/۰۸۰ | ۰/۹۰۸ |
| متوسط وزن غده‌چه ($x_7$) | -۰/۳۵۵ | -۰/۳۹۹ | -۰/۰۷۸ | -۰/۸۳۲ |
| باقی‌مانده : | ۰/۲۹۷ | | | |

اعداد روی قطر ماتریس، تأثیرات مستقیم و اعداد خارج از قطر، تأثیرات غیرمستقیم صفات بر تعداد غده‌چه هستند.

برای تعیین سهم صفات مؤثر بر تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام (جدول ۱۰)، مدل نهایی برای برآورد تعداد غده‌چه ($x_6$) به‌صورت زیر به‌دست آمد ($Y=X_6$):

$$Y = ۸/۵۴۷ - ۰/۵۱۵\ X_۲ + ۸/۲۰۳\ X_۵ - ۱۰/۹۶۴\ X_۳$$

مطابق مدل رگرسیونی بالا و همان‌طور که در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود، پس از وارد شدن صفت طول میانگره به مدل رگرسیونی، رابطهٔ تعداد گره با تعداد

غده‌چه منفی می‌شود (۰/۵۱۵-). با در نظر داشتن این موضوع و همچنین با توجه به جدول ۴، چنین استدلال می‌شود که در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم، به‌علت تعداد گره کمتر و طول میانگره بیشتر، در مقایسه با گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از دو روش دیگر حذف ویروس، اثر تعداد گره بر تعداد غده‌چه منفی است. ضریب تبیین مدل رگرسیونی یادشده، ۰/۸۳۹ است که بیانگر توجیه شدن ۸۳/۹ درصد از تغییرات تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم با صفات واردشده به مدل است. نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از برق‌درمانی همراه با کشت مریستم (جدول ۱۱)، بیانگر وجود روابط علت و معلولی بین این صفات است. ماهیت همبستگی ساده صفت تعداد گره، شامل ۱/۱۰۳- سهم اثر مستقیم و منفی بر تعداد غده‌چه است و ۰/۹۳۵ و ۱/۰۰۸ به‌ترتیب سهم اثر غیرمستقیم از طریق قطر ساقه و طول ساقه را نشان می‌دهد. صفت طول ساقه همبستگی مثبت و معناداری با تعداد غده‌چه دارد، و اثر مستقیم آن بر تعداد غده‌چه نیز زیاد است. بنابراین علت مثبت بودن ضریب همبستگی آن، تأثیرات غیرمستقیم این صفت از طریق تعداد گره و قطر ساقه بر تعداد غده‌چه است. یعنی با اینکه افزایش طول ساقه اثر منفی در تعداد غده‌چه دارد، با افزایش طول ساقه بر تعداد گره و قطر ساقه افزوده شده و به‌این‌ترتیب اثر منفی طول ساقه خنثی شده و به اثر مثبت و مؤثری تبدیل می‌شود. مقدار باقی‌ماندهٔ تجزیهٔ علیت، تأثیرگذاری ۴۰ درصد سایر صفات، عوامل و شرایط بر تعداد غده‌چه را نشان می‌دهد.

جدول ۹. ضرایب همبستگی صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم

| صفت | | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طول ساقه | $X_1$ | ۱ | | | | | | | |
| تعداد گره | $X_2$ | ۰/۸۰۱** | ۱ | | | | | | |
| طول میانگره | $X_3$ | -۰/۰۸۷ | -۰/۶۶۳* | ۱ | | | | | |
| وزن تر ساقه | $X_4$ | ۰/۹۷۰** | ۰/۹۲۲** | -۰/۳۲۴ | ۱ | | | | |
| قطر ساقه | $X_5$ | ۰/۹۳۷** | ۰/۶۲۴* | ۰/۱۴۱ | ۰/۸۶۰** | ۱ | | | |
| تعداد غده‌چه | $X_6$ | ۰/۶۴۸* | ۰/۸۴۰** | -۰/۵۷۷* | ۰/۷۶۱** | ۰/۵۹۳* | ۱ | | |
| متوسط وزن غده‌چه | $X_7$ | ۰/۰۹۴ | -۰/۳۶۰ | ۰/۷۱۴** | -۰/۰۸۶ | ۰/۲۳۹ | -۰/۴۵۰ | ۱ | |
| وزن کل غده‌چه | $X_8$ | ۰/۵۸۵* | ۰/۲۴۸ | ۰/۳۱۱ | ۰/۴۷۹** | ۰/۶۶۶* | ۰/۲۲۳ | ۰/۷۵۲** | ۱ |

** و * به‌ترتیب معنادار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۱۰. نتایج رگرسیون گام به‌گام برای گزینش صفات توجیه‌کنندهٔ تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم

| صفات مستقل | عرض از مبدأ | ضرایب رگرسیون برای صفات | | | ضریب تبیین تجمعی | میانگین مربعات خطا |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $X_2$ | $X_5$ | $X_3$ | | |
| تعداد گره ($X_2$) | -۵/۶۹۳ | ۰/۳۹۲ | - | - | ۰/۷۰۵** | ۰/۵۶۳ |
| قطر ساقه ($X_5$) | -۷/۸۱۶ | ۰/۳۵۹ | ۰/۶۲۱ | - | ۰/۷۱۳** | ۰/۶۰۹ |
| طول میانگره ($X_3$) | ۸/۵۴۷ | -۰/۵۱۵ | ۸/۲۰۳ | -۱۰/۹۶۴ | ۰/۸۳۹** | ۰/۳۸۴ |

** نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح احتمال ۱درصد است.

ماتریس ضرایب همبستگی بین صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از گرمادرمانی همراه با کشت مریستم (جدول ۱۲) بیانگر همبستگی مثبت و معنادار صفات طول ساقه، تعداد گره و وزن تر ساقه با تعداد غده‌چه است. سهم صفات مؤثر بر تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام (جدول ۱۳) مشخص شد و مدل نهایی برای برآورد تعداد غده‌چه ($X_6$) به‌صورت زیر به‌دست آمد ($Y=X_6$):

$$Y = -۱/۹۴۸ + ۰/۱۶۸\ X_2 + ۰/۰۲۳\ X_1$$

جدول ۱۱. نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش برق‌درمانی همراه با کشت مریستم

| صفت | $x_3$ | $x_5$ | $x_2$ | همبستگی صفت با تعداد غده‌چه |
|---|---|---|---|---|
| تعداد گره ($x_2$) | ۱/۰۰۸ | ۰/۹۳۵ | -۱/۱۰۳ | ۰/۸۴۰ |
| قطر ساقه ($x_5$) | -۰/۲۱۵ | ۱/۴۹۷ | -۰/۶۸۹ | ۰/۵۹۳ |
| طول میانگره ($x_3$) | -۱/۵۲۰ | ۰/۲۱۱ | ۰/۷۳۲ | -۰/۵۷۷ |
| باقی‌مانده : | ۰/۴۰۲ | | | |

اعداد روی قطر ماتریس، تأثیرات مستقیم و اعداد خارج از قطر تأثیرات غیرمستقیم صفات بر تعداد غده‌چه هستند.

جدول ۱۲. ضرایب همبستگی صفات بررسی‌شده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش‌گرمادرمانی همراه با کشت مریستم

| صفت | | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| طول ساقه | $x_1$ | ۱ | | | | | | | |
| تعداد گره | $x_2$ | ۰/۸۴۸** | ۱ | | | | | | |
| طول میانگره | $x_3$ | ۰/۷۵۹** | ۰/۳۰۰ | ۱ | | | | | |
| وزن تر ساقه | $x_4$ | ۰/۹۸۸** | ۰/۹۱۹** | ۰/۶۵۱* | ۱ | | | | |
| قطر ساقه | $x_5$ | ۰/۶۴۶* | ۰/۵۵۰ | ۰/۵۰۶ | ۰/۶۳۳* | ۱ | | | |
| تعداد غده‌چه | $x_6$ | ۰/۷۷۳** | ۰/۸۱۵** | ۰/۳۸۷ | ۰/۸۰۴** | ۰/۴۹۴ | ۱ | | |
| متوسط وزن غده‌چه | $x_7$ | ۰/۳۴۶ | ۰/۲۱۳ | ۰/۳۸۹ | ۰/۳۲۹ | ۰/۲۸۳ | ۰/۰۸۷ | ۱ | |
| وزن کل غده‌چه | $x_8$ | ۰/۵۷۲ | ۰/۴۹۰ | ۰/۴۴۹ | ۰/۵۷۴ | ۰/۴۱۳ | ۰/۴۳۰ | ۰/۹۳۲** | ۱ |

** و * به‌ترتیب معنادار بودن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد را نشان می‌دهند.

براساس مدل بالا، افزایش تعداد گره و طول ساقه موجب افزایش تعداد غده‌چه به‌صورت مستقیم می‌شود. ضریب تبیین این مدل، ۶۸/۸ درصد تغییرات تعداد غده‌چه را توسط تعداد گره و طول ساقه توجیه می‌کند.

نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از گرمادرمانی همراه با کشت مریستم (جدول ۱۴)، اثر مستقیم تعداد گره بر تعداد غده‌چه را ۰/۵۶۷ و اثر غیرمستقیم آن از طریق طول ساقه را ۰/۲۴۸ نشان می‌دهد. با توجه به اینکه اثر غیرمستقیم طول ساقه از طریق تعداد گره بر تعداد غده‌چه بیشتر از اثر مستقیم آن است، می‌توان نتیجه گرفت که در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم، بیشترین اثر را تعداد گره بر تعداد غده‌چه می‌گذارد. مقدار باقی‌ماندهٔ این تجزیه، گویای اثرگذاری سایر صفات، عوامل و شرایط بر تعداد غده‌چه در حد ۵۵/۹ درصد است.

جدول ۱۳. نتایج رگرسیون گام‌به‌گام برای گزینش صفات توجیه‌کنندهٔ تعداد غده‌چه در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم

| صفات مستقل | عرض از مبدأ | ضرایب رگرسیون برای صفات | | ضریب تبیین تجمعی | میانگین مربعات خطا |
|---|---|---|---|---|---|
| | | $x_2$ | $x_1$ | | |
| تعداد گره ($x_2$) | -۲/۵۰۳ | ۰/۲۴۲ | - | ۰/۶۶۴** | ۰/۱۸۰ |
| طول ساقه ($x_1$) | -۱/۹۴۸ | ۰/۱۶۸ | ۰/۰۲۳ | ۰/۶۸۸** | ۰/۱۸۶ |

** نشان‌دهندهٔ معناداری در سطح احتمال ۱ درصد است.

جدول ۱۴. نتایج تجزیهٔ علیت صفات واردشده به مدل رگرسیونی برای گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم

| صفت | $x_1$ | $x_2$ | همبستگی صفت با تعداد غده‌چه |
|---|---|---|---|
| تعداد گره ($x_2$) | ۰/۲۴۸ | ۰/۵۶۷ | ۰/۸۱۵ |
| طول ساقه ($x_1$) | ۰/۲۹۲ | ۰/۴۸۱ | ۰/۷۷۳ |
| باقی‌مانده : | ۰/۵۵۹ | | |

اعداد روی قطر ماتریس، تأثیرات مستقیم، و اعداد خارج از قطر تأثیرات غیرمستقیم صفات بر تعداد غده‌چه هستند.

**نتیجه‌گیری کلی**

به‌طور کلی، براساس نتایج این تحقیق، در گیاهچه‌های سیب‌زمینی هر دو رقم اگریا و مارفونا، روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم برای حذف PLRV و PVY، به‌طور معناداری نتایج بهتری نشان داد. به‌عبارتی، روش گرمادرمانی همراه با کشت مریستم از نظر کارایی حذف ویروس در مقایسه با دو روش دیگر بسیار مؤثر بود. از طرف دیگر، تعداد غده‌چهٔ تولیدشده در گیاهچه‌های عاری از ویروس حاصل از روش کشت مریستم در مقایسه با دو روش دیگر بیشتر بود. همچنین مشخص شد صفت تعداد گره در هر ساقه، علاوه بر وارد شدن در هر سه مدل رگرسیونی، در تجزیهٔ ضرایب مسیر نیز صفت مؤثری برای تعداد غده‌چه در هر گیاه شناخته شد. ازاین‌رو می‌توان با لحاظ این صفت و بهینه‌سازی عوامل مؤثر بر آن، تولید غده‌چه در گیاه سیب‌زمینی را بهبود بخشید.

## سپاسگزاری

بدین‌وسیله از سرکار خانم دکتر زهرا موحدی و جناب آقای مهندس عبدالباسط عزیزی که در اجرای این تحقیق یاریگرمان بودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## REFERENCES


1. Akita, M. & Takayama, S. (1994). Induction and development of potato tubers in a jar fermentor. *Plant Cell Tissue and Organ Culture*, 36, 177-182.
2. Agrama, H. A. S. (1996). Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. *Plant Breeding*. 115, 343-346.
3. Awan, A. R., Mughal, S. M., Iftikhar, Y. & Khan, H. Z. (2007). *In vitro* elimination of potato leaf roll polerovirus from potato varieties. *European Journal of Scientific Research*. 18(1), 155-164.
4. Bantarri, E. E., Ellis, P. J. & Khurana, S. M. P. (1993*).* Management of diseases caused by viruses and virus like pathogens. *Potato Health Management*. Aps Press in Saint Paul, 127-133.
5. Bayati, Sh., Shams-Bakhsh, M. & Moieni, A. (2011). Elimination of grapevine virus A (GVA) by cryotherapy and electrotherapy. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 13, 443-450.
6. Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, E., Braun, H.J.Cakmak, I., Torun, A., Millet, E., Feldman, M., Fahima, T., Korol, A., Nevo, H., Braun, H.J. & Ozkan, H. (2004). *Triticum dicoccoides*: an important genetic resource for increasing zinc and iron concentration in modern cultivated wheat. *Soil Science and Plant Nutrition*. 50, 1047-1054.
7. Clark, M. F. & Adams, A. N. (1977). Characteristics of the microplate method of enzyme linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. *Journal of General Virology*, 34, 475-483.
8. De Bokx, J. A. & Van der Want, J. P. H. (1987). Viruses of potatoes and seed potato production. *Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation* (Pudoc), 1987, pp. 1-259.
9. Dewey, D. R. & Lu, K. H. (1954). A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. *Agronomy Journ*al, 51, 515-517.
10. Du, Z., Chen, J. & Hiruki, C. (2006). Optimization and application of a multiplex RT-PCR system for simulta-neous detection of five potato virus using 18S rRNA as an internal control. *Plant Disease*, 90, 185–189.
11. Emami Meybodi, D., Mozafari, J., Babaeiyan, N. & Rahimian, H. (2011). Application of electrotherapy for the elimination of potato potyviruses. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 13, 921-927.
12. Food and Agriculture Organization. (2011). Docrep: Sustainable potato production. Retrieved January 19, 2011, from http://www.fao.org. Last accessed .
13. Fraser J., Eaton G.W. (1983). Applications of yield component analysis to crop research. *Field Crop Abstracts*, 36, 787–796.
14. Holmes, F.L. (1948). Resistance to spotted wilt. *Phytopathology*, 38, 467–473.
15. Hooker, W. J. (1990). Compendium of potato disease. *American Phytopathological Society Saint Paul Minnesota*. 125.
16. Horackova, V. (1998). Potato virus S eradication by chemotherapy *in vitro* using ribavirin. *Rostlinna Vyroba*, 44, 539-544.
17. Hull, R. (2002). *Mathew's Plant Virology* (4th ed.). Australian: Academic Press.
18. Lozoya-Saldana, H., Abello, F. & Garcia, G. (1996). Electrotherapy and shoot-tip culture eliminate PVX in potatoes. *American Potato Journal*, 73, 149-154.
19. Mahmoud, Y. M., Hosseny, M. H. & Abdel-Ghaf, M. H. (2009) Evaluation of some therapies to eliminate potato Y potyvirus from potato plants. *International Journal of Virology*, 5, 64–76.

20. Monasterio, I. & Graham, R. D. (2000). Breeding for trace minerals in wheat. *Food and Nutrition Bulletin*, 21, 392-396.
21. Morel, G. & Martin, C. (1952). Guerison de dahlias atteints d'ume maladie a virus. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 235, 1324-1325.
22. Morel, G. & Martin, C. (1952). Guerison de dahlias atteints d'une maladie a virus. Compte Rendu Hebdomadaire des Séances de l'Academie des Sciences Paris, 235, 1324-1325.
23. Pandey, G.P. & Torric, J. H. (1973). Path coefficient analysis of seed yield components in soybeans. *Crop Science*, 13, 505-507.
24. Pazhouhandeh, M. (2002). *Strategies for establishment of in vitro genebank for virus-free potato germplasm.* M.Sc.Tthesis, Tarbiat Modarres University -Tehran, IRAN. Supervisor: Dr. Mozaffari.
25. Pazhouhandeh, M., Mozafari, J. & Alizadeh, A. (2002.) Electrotherapy a new technique for virus eradication from plants. In: *Proceedings of the 15th Iranian Plant Protection Congress*. Razi University of Kermanshah, Iran, pp: 189-190.
26. Shambhu, P. D., Hak Tae, L. & Buddhi, P. S. (2008). Electrotherapy and chemotherapy for eliminating double-infected potato virus (PLRV and PVY) from *in vitro* plantlets of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 49, 52-57.
27. Siddiqui, S. U., Chaudharay, M. F. & Anwar, R. (1996). *In vitro* preservation of potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm. *Pakistan Journal of Botany*, 28, 37-40.
28. Singh, R. P., Kurz, J. & Boiteau, G. (1996). Detection of stylet-borne and circulative potato viruses in aphids by duplex reverse transcription polymerase chain reaction. *Journal of Virological Methods*, 59, 189-196.
29. Tovar, P., R. Estrada, L. Schilde-Rentschler. & J. H. Dodds. (1985). Induction of *in vitro* potato tubers. *CIP Circular*, 13,1-4.
30. Wang, Q., Liu, Y., Xie, Y. & You M. (2006). Cryotherapy of potato shoot tips for efficient elimination of *potato leafroll virus* (PLRV) and *potato virus Y* (PVY). *Potato Research*, 49, 119–129.