DOI: 10.22034/ijpp.2024.2021805.456

بیماری‌های گیاهی / جلد ۵۹ / شماره ۴/ سال ۱۴۰۲: ۲۸۲-۲۶۵

CC BY

مقاله پژوهشی

ارزیابی عکس‌العمل پایه‌های هیبرید امیدبخش سیب به *Phytophthora cactorum*

رعنا دستجردی[1*]، داریوش آتشکار[2] و امیرعباس تقی‌زاده[3]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۹ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۴)

چکیده

ارزیابی عکس‌العمل ده ژنوتیپ-پایه امیدبخش سیب (AZop$^{(385)}$, AZ × M9$^{(285)}$, AZ × M27$^{(85)}$, AZop$^{(285)}$, AZ × M9$^{(185)}$,AZop$^{(286)}$, AZop$^{(386)}$, M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$, AZop$^{(486)}$) به پوسیدگی طوقه و ریشه (*Phytophthora cactorum*) در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار انجام شد. مایه‌زنی با قراردادن زادمایه‌ی قارچ در اطراف طوقه‌ی هر نهال صورت گرفت. سه تا هفت ماه پس از مایه‌زنی، عکس‌العمل پایه‌ها براساس درصد پوسیدگی ریشه و طوقه، و درصد حلقه‌برداری طوقه تعیین شد. ژنوتیپ-پایه‌های B9op$^{(87)}$ و AZop$^{(486)}$ با میانگین ۴۱/۳ و ۳۲/۷ درصد پوسیدگی ریشه، بالاترین میزان پوسیدگی را پس از MM106 به خود اختصاص دادند. بیشترین درصد پوسیدگی طوقه، مربوط به MM106 بود، و پس از آن پایه‌های B9op$^{(87)}$ و M9op$^{(387)}$ قرار داشتند. بالاترین درصد حلقه‌برداری طوقه نیز پس از MM106، در پایه‌های M9op$^{(387)}$ و B9op$^{(387)}$ اندازه‌گیری شد. شاخص انتخاب ایده‌آل تعدیل‌یافته (ASIIG) براساس فاصله از مطلوب و ضدمطلوب، هیبرید AZop$^{(385)}$ را با کسب امتیاز ۰/۹۴۸ در رتبه اول و هیبریدهای AZop$^{(285)}$ و Az × M27$^{(85)}$ را در رتبه‌های بعدی از نظر مطلوبیت قرار داد. این هیبریدها جایگاه بهتری را نسبت به M9 کسب نمودند. همچنین ژنوتیپ-پایه‌های M9op$^{(387)}$ و B9op$^{(87)}$ با امتیازات ۰/۳۷۵ و ۰/۳۴۳ پس از پایه MM106، در گروه نامطلوب‌ترین پایه‌ها طبقه‌بندی شدند. دندروگرام حاصل از روش ASIIG، ژنوتیپ-پایه‌های Azop$^{(285)}$, Azop$^{(385)}$, Az × M27$^{(85)}$ را به همراه پایه مقاوم M9 و ژنوتیپ فرضی کاملا مطلوب در یک گروه، و هیبریدهای Azop$^{(386)}$, M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$ و پایه حساس MM106 را در چارک نامطلوب طبقه‌بندی نمود. سایر پایه‌های مورد مطالعه نیز در فاصله‌ای دورتر، به ژنوتیپ فرضی کاملا مطلوب متصل شدند.

واژه‌های کلیدی: پوسیدگی طوقه و ریشه، حلقه‌برداری طوقه، شاخص انتخاب ایده‌آل تعدیل‌یافته، هیبرید امیدبخش

---

* برگرفته از پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۸۰۵۹۹-۰۷۳-۳۳-۷۲-۷ مصوب سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

** مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: raana_dastjerdi@yahoo.com r.dastjerdi@areeo.ac.ir

[1] دانشیار، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج- ایران

[2] استادیار، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج- ایران

[3] محقق، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج- ایران

DOI: 10.22034/ijpp.2024.2021805.456

Research Article
Reaction of apple promising hybrid rootstocks to *Phytophthora cactorum*

Raana Dastjerdi[1*], Darioush Atashkar[2] and Amir Abbas Taghizadeh[3]

(Received: 19.07.2024; Accepted: 15.10.2024)

Abstract

Ten apple promising rootstocks (Azop$^{(385)}$, AZ × M9$^{(285)}$, AZ × M27$^{(85)}$, Azop$^{(285)}$, AZ × M9$^{(185)}$, Azop$^{(286)}$, Azop$^{(386)}$, M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$, Azop$^{(486)}$) were evaluated for resistance to crown and root rot caused by *Phytophthora cactorum* based on a completely randomized design with six replicates. Fungal inoculum was applied around the crown of each rootstock. Three to seven months after inoculation, the response of hybrids to the fungus was assessed based on root rot (%), crown length rotted, and crown girdling. The highest percentage of root rot belonged to MM106 and B9op$^{(87)}$, and AZop$^{(486)}$ (with 41.3 and 32.7%, respectively). Maximum crown rot was measured on MM106 (83.9%), B9op$^{(87)}$ and M9op$^{(387)}$, respectively. The greatest crown circumference girdled incidence was on MM106 followed by M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$. Adjusted Selection Index of Ideal Genotype (ASIIG) was calculated based on ideal and non-ideal distance. The rootstocks of AZop$^{(385)}$, Azop$^{(285)}$, and Az × M27$^{(85)}$ with the index value of 0.948, 0.937 and 0.8884, respectively, had the highest desirability among all rootstocks. These genotypes received a better place compared to M9. The least desirability belonged to MM106, M9op$^{(387)}$ and B9op$^{(87)}$ with the index value of 0.395, 0.375 and 0.343, respectively. The dendrogram generated from ASIIG, classified Azop$^{(285)}$, Azop$^{(385)}$, Az × M27$^{(85)}$ and M9 (as standard resistant rootstock) with the minimum distance to the hypothetical ideal genotype in the same group. Furthermore, Azop$^{(386)}$, M9op$^{(387)}$, B9op$^{(87)}$ with MM106 (as standard susceptible rootstock) were grouped at non-ideal quarter. A larger distance was found between other hybrids and the hypothetical ideal genotype.

Key Words: ASIIG, crown girdling, promising hybrids, crown and root rot

* Extracted from the research project No. 7-72-33-073-980599, approved by Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

**Corresponding author's E-mail address: raana_dastjerdi@yahoo.com r.dastjerdi@areeo.ac.ir

1 Associate Professor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran

2 Assistant Professor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran

3 Researcher, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization, Karaj, Iran

مقدمه

ایران یکی از کشورهای مهم تولیدکننده سیب در دنیا محسوب می‌شود. براساس آمارنامه کشاورزی، سطح زیرکشت سیب در کشور ۲۳۶۶۴۱ هکتار و میزان تولید آن حدود ۴ میلیون تن در سال می‌باشد (Anonymous 2023). پوسیدگی طوقه و ریشه ناشی از گونه‌های مختلف قارچ فیتوفترا، از مهم ترین بیماری‌های خاکزاد درختان سیب در مناطق مختلف سیب‌کاری دنیا است که سبب زوال تدریجی و مرگ درختان در باغ‌ها و مناطق آلوده می‌شود (Grigel *et al*. 2019, Fazio *et al*. 2022, Janick *et al*. 1996). خسارت سنگین به پایه‌های سیب ناشی از قارچ *Phytophthora*، اولین بار در سال ۱۹۲۵ و از کالیفرنیا گزارش شد (Rose & Lindegren 1925). گزارشات منتشرشده در سال ۲۰۱۹، مرگ ۱۵-۱۰ درصد درختان میوه در باغ‌های جمهوری چک را با گونه‌های مختلف قارچ فیتوفترا نشان می‌دهد. میزان مرگ و میر درختان در برخی از مناطق این کشور تا ۵۵ درصد نیز گزارش شده است (Grigel *et al*. 2019). اگرچه گونه‌های مختلفی از این جنس نظیر *P. cryptogea*، *P. cactorum*، *P. cambivora*، *P. megasperma*، *P. drechsleri*، *P. Parasitica*، *P. genapodyides* و چندین گونهٔ ناشناخته‌ی دیگر از فیتوفترا به عنوان عامل پوسیدگی طوقه و ریشه درختان سیب گزارش شده‌اند (Grigel *et al*. 2019, Lattore *et al*. 2001)، اما در بیشتر موارد، *P. cactorum* (Leb. and Cohn.) Schroet. از درختان سیب آلوده جداسازی شده است. گونه‌ی اخیر ضمن آن که بیشترین پراکنش را در باغ‌های سیب دارا می‌باشد، در آزمون‌های بیماریزایی نیز در گروه بیماریزاترین عوامل قارچی درختان سیب طبقه‌بندی شده است (Jeffers & Aldwinckle 1988, Grigel *et al*. 2019, Rashid & Naffaa 2017). در ایران نیز این قارچ اولین بار در سال ۱۳۷۱ توسط ارشاد از طوقه و میوهٔ سیب جداسازی شد (Ershad 1992). براساس مطالعات بنی‌هاشمی (Banihashemi 1995)، *P. cactorum* به عنوان عامل پوسیدگی طوقه و زوال تدریجی درختان سیب در استان فارس گزارش شده است.

آلودگی پایه‌های درختان سیب به قارچ عامل پوسیدگی ریشه و طوقه یکی از مهم‌ترین مشکلاتی است که احداث باغ‌های جدید و تولید پایدار سیب را در مناطق تولید، با محدودیت‌هائی مواجه می‌سازد. حساسیت درختان به خصوص هنگام شروع باردهی به قارچ عامل پوسیدگی طوقه و ریشه، سبب زوال و مرگ تدریجی درختان می‌شود. آلودگی خاک نهالستان‌ها به این قارچ سبب می‌شود تا درختان قبل از استقرار در باغ‌های میوه، آلوده بوده و به این ترتیب عامل بیماری به آسانی از باغ‌های آلوده به سالم منتقل، و بر شدت بیماری افزوده شود. بیماری، مخصوصاً در مناطقی که خاک زهکشی مناسبی ندارد، سبب مرگ درختان کاملاً بزرگ می‌شود. هر چند کنترل شیمیایی بیماری تا حدودی امکان‌پذیر است، لیکن کاربرد سموم شیمیایی ضمن بالابردن هزینه‌های تولید، مشکلات زیست محیطی را نیز در بردارد. پرورش و تولید مواد گیاهی آلوده در نهالستان‌ها، تنش‌های غیرزیستی نظیر خاک‌هایی با زهکشی نامناسب و نیز غرقاب‌نمودن طوقه درختان، عدم رعایت بهداشت زراعی، مدیریت نامناسب باغ و نادیده‌گرفتن مشکل بیماری توسط باغداران و تولیدکنندگان از جمله عوامل موثر در همه‌گیری بیماری در یک منطقه محسوب می‌شوند (Fazio *et al*. 2022, Grigel *et al*. 2019, Sri & Erti 2018). از این‌رو، محققان برای مدیریت موثر بیماری در یک سیستم کنترل تلفیقی، تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه ارزیابی و انتخاب پایه‌های مقاوم در برابر بیماری انجام داده‌اند. روش‌های مختلفی برای بررسی میزان مقاومت درختان میوه در برابر این بیمارگر، توسعه یافته‌اند (Browne & Mircetich 1993, Browne *et al*. 2015, Browne 2017, Jeffers *et al*. 1981, Luberti *et al*. 2021, Matheron & Mircetich 1985, Matheron & Porchas

.1996, Thomidis *et al*. 2002)

در مدیریت تلفیقی آفات و بیماری‌ها، به‌کارگیری پایه‌های مقاوم/متحمل در برابر بیماری جهت احداث باغ‌های جدید از مهم‌ترین استراتژی‌های کنترل محسوب می‌شود. در این میان استفاده از پایه‌های پاکوتاه به دلیل امکان کاربرد آنها در سیستم‌های کاشت متراکم باغ‌های سیب بسیار حائز اهمیت است. برطبق تحقیقات انجام شده در کشور، پایه‌های محلی پاکوتاه از جمله گمی‌آلماسی، آزایش و مربایی با داشتن خصوصیاتی مشابه با پایه‌های رویشی پاکوتاه اصلاح شده خارجی می‌توانند به عنوان پایه‌ی پاکوتاه در تکثیر ارقام داخلی به کار روند. مطالعات گذشته نشان داده است که پایه‌های بومی آزایش و گمی‌الماسی از مقاومت خوبی در برابر پوسیدگی طوقه برخوردار می‌باشند (Dastjerdi & Damyar 2010).

نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که تنوع موجود در ژرم‌پلاسم سیب بالا بوده و همواره درجات متفاوتی از مقاومت به *P. cactorum* در بین آنها مشاهده می‌شود. شناسایی، توارث و استفاده از مقاومت ژنتیکی در برابر قارچ *P. cactorum* در بین سلکسیون‌های جنس مالوس (*Malus* spp.) ارزیابی و مورد تحقیق قرار گرفته است. برای مثال در ارزیابی مقاومت نسبی هجده سلکسیون از سیزده گونه و هیبرید جنس مالوس در برابر سه گونهٔ مختلف از قارچ فیتوفترا (*P. cactorum*، *P. cryptogea*، *P. cambivor*) در کالیفرنیا (Browne *et al*. 1995)، شش سلکسیون بسیار مقاوم به *P. cactorum* معرفی شدند؛ اما فقط *M. halliana*، *M. magdeburgensis* و *M. sargentii* دارای مقاومت به پوسیدگی طوقه و ریشه ناشی از هر سه گونه‌ی قارچ مورد بررسی بودند. تنوع مشابهی نیز در بررسی پایه‌های رویشی سیب به گونه‌های قارچ فیتوفترا مشاهده شد.

بررسی مقاومت سیزده پایه‌ی سیب در برابر سه گونه از قارچ فیتوفترا (شامل *P. cactorum*, *P. cryptogea* و *p. cambivora*) در شرایط کنترل‌شده در منطقه کالیفرنیا، نشان داد که متوسط آلودگی در پایه‌های M9، MARK، Bud9،Bud118 از ۲ تا ۱۱ درصد متفاوت بود. پایه‌های MM106،Ant313 و دانهال‌های سیب *Malus domestica*، ۷۴-۹۶ درصد آلودگی نشان دادند. این دو پایه به عنوان پایه‌های بسیار حساس به بیماری معرفی شدند. قارچ *P. cambivora* تنها ۹ درصد آلودگی را در پایه‌های MARK و Bud118 ایجاد نمود. پایه‌های Bud9، M7 وP18 مقاومت متوسطی به بیماری نشان داده و میانگین آلودگی در سایر پایه‌ها، ۹۸-۴۷ درصد بود. در آزمایشات انجام شده با قارچ *P. cryptogea*، بیشتر پایه‌ها از مقاومت نسبی برخوردار بوده و متوسط پوسیدگی ریشه در آنها ۱۰-۱ درصد برآورد شد. میزان آلودگی در پایه‌های M4، MM111، Ant 313 و P18، ۱۸-۴۲ درصد بود (Browne & Mircetich 1993). آزمایشات این محققین نشان داد که میزان مقاومت پایه‌های مختلف سیب به قارچ فیتوفترا بسته به گونه قارچ و روش ارزیابی متفاوت است.

زوندو و همکاران (Zondo *et al*. 2001) در بررسی مقاومت پایه‌های سیب به جدایه‌های مختلف *P. cactorum* نشان دادند که همه جدایه‌های قارچی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف بر روی پایه‌های سیب بیماریزا بوده، اما شدت بیماری‌زائی آنها متفاوت است. محققین مرکز تحقیقات کشاورزی دانشگاه بریتیش کلمبیای کانادا در ارزیابی مقاومت هفت پایه‌ی سیب به *P. cactorum* برای اولین بار در کرت‌های آزمایشی، نشان دادند که می‌توان مقاومت به *P. cactorum* را با استفاده از مایه‌زنی مصنوعی قارچ در شرایط باغ نیز بررسی نمود. در مطالعه مذکور پایه‌های B9, J9, P2, M9 و M26 کمترین حساسیت را به قارچ عامل پوسیدگی طوقه نشان دادند؛ اما هیچ یک از پایه‌ها کاملاً مقاوم گزارش نشدند (Utkhede *et al*. 2002). در مطالعه‌ای دیگر بر روی پایه‌های سری SJM و SJP84 در کانادا، کمترین حساسیت در پایه SJM189 و بیشترین حساسیت در پایه‌های SJM15 و SJP84-5162 گزارش شد (Carisse & Khanizadeh 2006).

چوی و همکاران (Choi *et al*. 2021) در مطالعات خود، بیشترین طول زخم ناشی از *P. cactorum* را در پایه‌های هیبرید امیدبخش (CG5087,G935, CG4814, G202, G11) مشاهده نمودند؛ در حالی که پایه‌های سری مالینگ (M26, M9) مقاومت مطلوبی را در برابر بیماری نشان دادند. براساس نتایج به‌دست‌آمده در برنامه اصلاح پایه‌های سیب جنوا برای مقاومت به پوسیدگی طوقه، فقط در خانواده *Malus* × G.41 pool 4 *sieversii*، ۴۷ درصد دانهال‌ها زنده باقی ماندند. میانگین مواد گیاهی زنده در سایر خانواده‌ها، ۲۶ درصد برآورد شد (Fazio *et al*. 2022). صادقی گرمارودی و همکاران (Sadeghi Garmaroodi *et al*. 2023) در بررسی ژنوتیپ‌های "به" (*Cydonia oblonga*) برای مقاومت به فیتوفترا با استفاده از روش شاخه‌بریده در شرایط درون شیشه، کمترین میزان نکروز را در ارقام/ژنوتیپ‌های بهتا، خسرو، UNK و بیشترین مقدار نکروز را در ژنوتیپ ASP2 گزارش نمودند.

متأسفانه در ایران تحقیقات اندکی در خصوص میزان مقاومت پایه‌های سیب به پوسیدگی طوقه و ریشه ناشی از قارچ فیتوفترا انجام شده است. دستجردی و دامیار (Dastjerdi & Damyar 2010) در مطالعه‌ای بر روی ۱۱ پایه رویشی سیب، پایه‌ی بومی آزایش را به همراه پایه تجاری M9 در گروه مقاوم، و پایه‌های گمی‌الماسی و مربائی را به ترتیب نیمه‌مقاوم و نیمه‌حساس گزارش نمودند. این محققین، مقاومت خوبی را در پایه‌های روسی CK1 و CK2 مشاهده و گزارش کردند. پایه‌های محلی پاکوتاه ایرانی از جمله گمی‌آلماسی، آزایش و مربایی با داشتن خصوصیاتی مشابه با پایه‌های رویشی پاکوتاه اصلاح شده خارجی می‌توانند به عنوان پایه‌ی پاکوتاه در تکثیر ارقام داخلی به کار روند. ارزیابی هیبریدهای حاصل از تلاقی مربایی و M9 در شرایط درون شیشه، نشان داده است که هیبرید H1 از مقاومت مطلوبی در برابر *P. cactorum* برخوردار می‌باشد (Khatami *et al*. 2014).

برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب از سال ۱۳۸۴ با هدف دستیابی به پایه‌های جدید که مناسب کاشت در مناطق مختلف سیب‌کاری ایران باشند، آغاز شده است (Atashkar 2016, Atashkar *et al*. 2016). در این برنامه، اصلاح‌گران با انجام تلاقی‌های هدفمند بین پایه‌های سیب بومی پاکوتاه (آزایش اصفهان و مربائی مشهد) و پایه‌های رویشی تجاری (M9, M27, B9)، از مجموع ۳۸۲۳ دانهال حاصل از هیبریداسیون و گرده‌افشانی آزاد والدین، تعداد ۳۵ ژنوتیپ امیدبخش با قابلیت تکثیر رویشی آسان (در شرایط خوابانیدن کپه‌ای و قلمه خشبی) که مقاومت مناسبی را در شرایط مزرعه به شته مومی (*Eriosoma lanigerum*) نشان دادند، انتخاب نمودند. تلاش‌ها برای انجام ارزیابی‌های تکمیلی شامل بررسی قدرت پاکوتاه‌کنندگی، و مقاومت در برابر خشکی همچنان ادامه دارد.

این مطالعه، با هدف تکمیل شناسنامه ده ژنوتیپ-پایه‌ی امیدبخش سیب از نظر مقاومت به بیماری پوسیدگی ریشه و طوقه، جهت معرفی رسمی آنها به باغداران و تولیدکنندگان سیب در کشور و استفاده از آنها در احداث باغ‌های جدید انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی مواد گیاهی

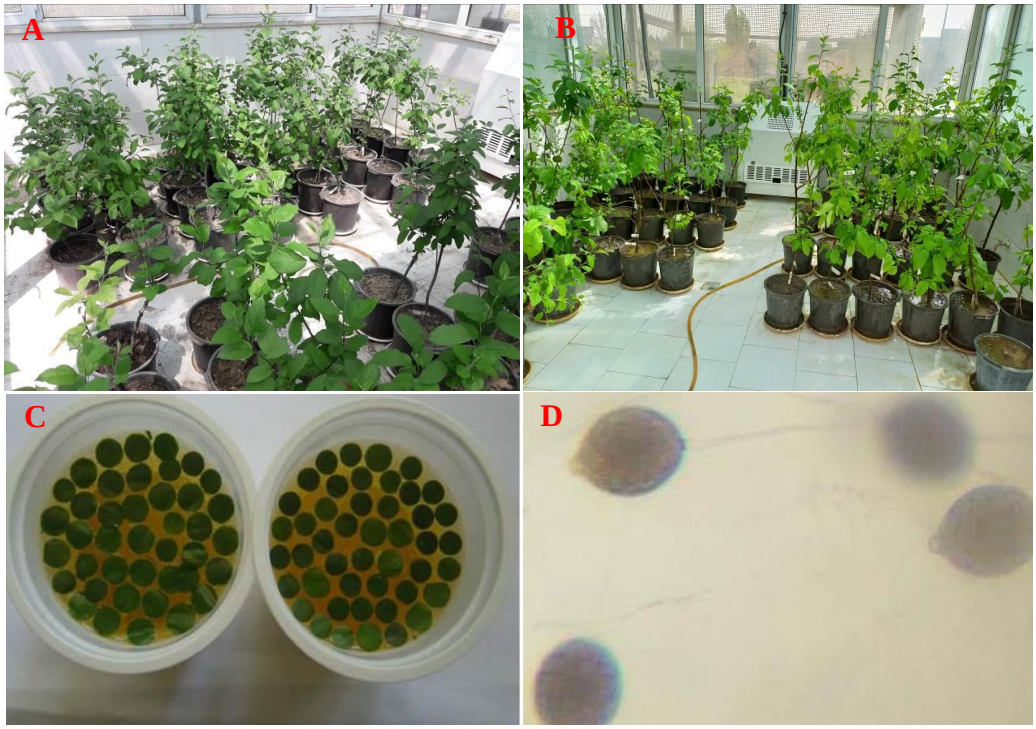
در این مطالعه، عکس‌العمل ۱۰ ژنوتیپ انتخابی از میان نتاج امیدبخش حاصل از تلاقی یا گرده‌افشانی آزاد ژنوتیپ پاکوتاه بومی سیب آزایش اصفهان (به عنوان والد مادری)، و پایه‌های رویشی تجاری سیب (M9, M27, B9) به عنوان والد پدری به بیماری پوسیدگی طوقه ناشی از قارچ *P. cactorum* در شرایط گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. برخی از ویژگی‌های مهم این ژنوتیپ-پایه‌ها در جدول ۱ ذکر شده است (Atashkar 2016, Latifian *et al*. 2023). مواد گیاهی مورد نیاز جهت اجرای پروژه، نهال‌هایی بودند که از طریق رویشی و با استفاده از روش خوابانیدن نواری در ایستگاه

تحقیقات باغبانی کمال شهر کرج تکثیر شدند. این نهال‌ها به گلدان‌های سطلی شماره ۴ (به قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر، حجم گلدان معادل ۴ لیتر) منتقل، و در فضای آزاد نگهداری شدند. نهال‌ها در سال دوم پس از رسیدن به رشد کافی، آماده ارزیابی آزمون‌های مقاومت بودند (شکل ۱-A).

تهیه زادمایه قارچ

جدایه‌ی قارچ *P. cactorum* که در تابستان ۱۳۸۲ از طوقه درختان سیب با پایه MM106 در اطراف شیراز (حومه قلات) جداسازی شده بود، در زمستان ۱۳۹۷ توسط پروفسور ضیاءالدین بنی‌هاشمی استاد بیماری‌شناسی بخش گیاه‌پزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، جهت مطالعات مقاومت در اختیار پروژه قرار گرفت. ارزیابی بیماری‌زائی این جدایه، بر روی میوه سیب در آزمایشگاه و نیز بر روی پایه رویشی MM106 در شرایط گلخانه انجام شد.

تهیه مایه قارچ با استفاده از روش بنی‌هاشمی و مرادی (Banihashemi & Moradi 2004) با اندکی تغییرات انجام گرفت. به این منظور، ۶۰ گرم بذر گندم پس از شستشو و خیساندن در یک فلاسک ۲۵۰ میلی‌لیتری محتوی آب به مدت ۲۴ ساعت، سه بار به صورت یک روز در میان هر بار ۳۰ دقیقه در دمای ۱۲۱°C و فشار ۱/۲ اتمسفر سترون شدند. سپس از حاشیه پرگنه‌ی سه روزه‌ی قارچ، رشدیافته در محیط CMA (Corn Meal Agar)، ۸ دیسک ۱۰-۸ میلی‌متری برداشته و به هر فلاسک اضافه شد. فلاسک‌ها در انکوباتور با حرارت ۲۵°C و ۱۶ ساعت تاریکی قرار گرفتند. پس از ۵-۴ هفته، رشد و تکثیر قارچ بر روی گندم به خوبی انجام و مایه‌ی قارچ، آماده مایه‌زنی بود.



شکل ۱- ژنوتیپ-پایه‌های امیدبخش سیب آماده برای مایه‌زنی با *Phytophthora cactorum* در ۲۰ فروردین ۱۴۰۱ (A)؛ و پس از مایه‌زنی در ۴ اردیبهشت ۱۴۰۱ (B) در گلخانه؛ ردیابی قارچ با استفاده از برگ مرکبات (C)؛ اسپورانژ قارچ (D).

Fig. 1. Apple promising hybrid rootstocks prepared for inoculation with *Phytophthora cactorum* - April 9, 2022 (A); and after inoculation - April 24, 2022 (B) in greenhouse; detection of *Phytophthora cactorum* by citrus leaf discs (C); Fungal sporangium (D).

جدول ۱- نام/تلاقی، والدین، روش به‌نژادی و برخی خصوصیات ده ژنوتیپ-پایه امیدبخش سیب مورد مطالعه برای مقاومت به ***Phytophthora cactorum***

Table 1. Name/cross, parents, breeding method and some characteristics of ten apple promising rootstocks tested for resistance to *Phytophthora cactorum*

Genotype-rootstock[1]	Production year	Parents	Breeding method	Rooting of cuttings (%)	Average of root length in cuttings (cm)	Average number of root in cuttings	Fire blight resistance	Wooly aphid resistance	Drought resistance
Azop(385)	2006	Azayesh Isfahan	Open pollination	30	1.2	0.9	Moderately-resistant	Moderately-susceptible	Moderately-resistant
AZ × M9(285)	2006	Azayesh Isfahan × M9	Hybridization	40	1.7	2.0	Moderately-resistant	Moderately-susceptible	Susceptible
AZ × M27(85)	2006	Azayesh Isfahan × M27	Hybridization	40	2.7	1.1	Moderately-susceptible	Moderately-resistant	Susceptible
Azop(285)	2006	Azayesh Isfahan	Open pollination	30	1.5	1.9	Moderately-resistant	Susceptible	Under study
AZ × M9(185)	2006	Azayesh Isfahan × M9	Hybridization	60	3.5	2.5	Moderately-susceptible	Susceptible	Moderately-resistant
Azop(286)	2007	Azayesh Isfahan	Open pollination	75	2.2	5.3	Moderately-resistant	Susceptible	Under study
Azop(386)	2007	Azayesh Isfahan	Open pollination	75	2.1	3.9	Moderately-resistant	Susceptible	Under study
M9op(387)	2008	M9 vegetative rootstock	Open pollination	75	3.6	5.8	Moderately-susceptible	Resistant	Under study
B9op(87)	2008	B9 vegetative rootstock	Open pollination	70	2.4	3.2	Moderately-susceptible	Moderately-susceptible	Under study
Azop(486)	2007	Azayesh Isfahan	Open pollination	100	2.4	7.7	Moderately-resistant	Moderately-susceptible	Susceptible

۱- دو پایه تجاری M9 و MM106 نیز به عنوان شاهد در آزمایشات استفاده شدند.

Two commercial rootstocks (M9 and MM106) used as control.

بررسی عکس‌العمل ژنوتیپ-پایه‌های سیب به *P. cactorum*

آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار در گلخانه پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری- موسسه تحقیقات علوم باغبانی کرج انجام شد. پایه‌های تجاری MM106 و M9 به ترتیب به عنوان شاهد استاندارد حساس و مقاوم به فیتوفترا، در آزمایش‌ها لحاظ شدند. به منظور مایه‌زنی طوقه در ژنوتیپ-پایه‌های سیب (شکل ۱-B)، در اردیبهشت ماه خاک اطراف هر گیاه تا منطقه ریشه (عمق حدود ۱۰-۸ سانتی‌متر) برداشته شد، و سپس حدود ۱۲۰-۱۴۰ میلی‌گرم مایه قارچ (۴۰ میلی‌لیتر مایه‌ی تلقیح به ازای هر لیتر خاک گلدان) دور طوقه نهال‌ها اضافه شد. مایه‌زنی گلدان‌های شاهد (در هر ژنوتیپ-پایه)، توسط گندم عاری از قارچ انجام شد. پس از مایه‌زنی، گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت در حالت اشباع نگهداری شدند. هفت روز پس از مایه‌زنی و پس از آن هر دو هفته یک‌بار برای تحریک، تولید و آزادسازی زئوسپورهای قارچ، خاک هر گلدان به مدت ۴۸ ساعت تحت آبیاری غرقابی قرار گرفت. زهاب گلدان‌ها پس از آبیاری، جمع‌آوری شده و حضور گونه‌ی فیتوفترا در خاک با استفاده از طعمه برگ مرکبات ردیابی شد (شکل ۱- C و D) (Banihashemi, 1995). در بین مراحل غرقاب‌کردن، گلدان‌ها متناسب با نیاز آنها آبیاری شدند. متوسط درجه حرارت خاک در طی آزمایش در دامنه‌ای از ۲۷/۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

پس از مایه‌زنی، گلدان‌ها روزانه مورد بازدید قرار گرفته و ظهور و پیشرفت بیماری به صورت زردی، پژمردگی، خشکی، و مرگ نهال‌ها یادداشت برداری شد. حدود ۷-۳ ماه پس از مایه‌زنی، نهال‌هائی که علائمی از بیماری و خشکیدگی را نشان دادند، به طور کامل از خاک خارج شده و پس از شستشو، درصد مرگ و میر نهال‌ها، کاهش ارتفاع هر ژنوتیپ در مقایسه با شاهد (مایه‌زنی‌نشده)، و میزان پیشروی بیمارگر روی ریشه و طوقه، اندازه‌گیری شد (Browne & Mircetich 1993, Browne *et al*. 1995, Browne 2017).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها براساس طرح کاملا تصادفی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. برای ارزیابی اختلاف ارتفاع نهال‌های مایه‌زنی شده نسبت به شاهد متناظرآنها، از آزمون t (T- test) استفاده شد. قبل از آنالیز واریانس و جداسازی میانگین‌ها، با هدف تثبیت و یکپارچه‌سازی واریانس داخل میانگین تیمارها، تبدیل داده به روش محاسبه ریشه دوم (√Y) انجام شد. پس از تبدیل داده‌ها، همگنی آنها بر اساس روش کولموگروف-اسمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفت.

جهت تجمیع اثرات منفرد مربوط به هر یک از صفات موثر در برآورد عکس‌العمل ژنوتیپ-پایه‌ها در برابر بیماری و نیز موازنه مناسب بین آنها در جهت دستیابی به هدف اصلی انتخاب، از روش "شاخص انتخاب ایده‌آل تعدیل‌یافته" (Adjusted Selection Index of Ideal Genotype- ASIIG) در نرم‌افزار R3.4.4 ASIIG package و Excel 2016 استفاده شد (Ahmadi *et al*. 2022, Taghizadeh *et al*. 2021). در این روش، نزدیکترین ژنوتیپ به ژنوتیپ مطلوب مطلق (+)، به عنوان بهترین ژنوتیپ معرفی می‌شود. ژنوتیپ مطلوب مطلق، ژنوتیپی فرضی است که بیشترین برآیند از مطلوب‌ترین حالت جمیع صفات را به خود اختصاص داده است. تجزیه کلاستر و گروه‌بندی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های حاصل از ASIIG و به روش Ward انجام شد.

نتایج و بحث

اولین علائم بیماری در هر دو سال انجام آزمایش (۱۴۰۰-۱۴۰۱)، ۳۱-۲۸ روز پس از مایه‌زنی، نخست بر روی ژنوتیپ-پایه‌های Azop[386] و B9op[87]، و سپس بر روی

نهال‌های پایه MM106 به صورت زردی، پژمردگی برگ‌ها و خشک‌شدن سرشاخه‌ها نمایان شد. وقوع مرگ و میر علاوه بر پایه MM106 (با میانگین ۷۵ درصد)، در برخی از نهال‌های مربوط به ژنوتیپ-پایه‌های B9op$^{(87)}$ و Azop$^{(386)}$ (به ترتیب با فراوانی ۵۰ و ۴۱/۷ درصد) نیز مشاهده شد. حدود هفت ماه پس از مایه‌زنی، میزان مرگ و میر در سایر ژنوتیپ-پایه‌ها صفر و نهال‌ها علیرغم آلودگی هم‌چنان زنده باقی ماندند. مطالعات نشان می‌دهد که مقاومت پایه‌های سیب در برابر فیتوفترا به صورت تک‌ژنی کنترل می‌شود، اما شواهدی مبنی بر دخالت ژن‌های اصلاح‌کننده نیز وجود دارد (Cummins & Aldwinckle 1974). براساس مطالعات انجام شده، بیان مقاومت در دانهال‌های سیب بسته به سن و بلوغ گیاه متفاوت است (Browne *et al*. 1995, Zondo *et al*. 2001, Zondo *et al*. 2007). در مرحله ۳-۲ برگی دانهال‌ها، که هنوز بافت ریشه و هیپوکوتیل از نظر مورفولوژیکی نابالغ است، نسبت مرگ و میر می‌تواند به عنوان یک شاخص قوی برای سنجش مقاومت درنظر گرفته شود؛ اما به‌تدریج با افزایش سن و بلوغ نهال، شباهت بافت طوقه و ریشه به گیاه بالغ (که مقاومت آن در برابر بیماری، اغلب دغدغه‌ی به‌نژادگران درختان میوه می‌باشد)، بیشتر شده و ممکن است گونه‌ای که قبلا در مرحله ۳-۲ برگی حساس به بیماری بوده است، در دوره بلوغ (≥ ۷-۹ هفته‌ای) مقاومت خوبی را در برابر بیماری نشان دهد (Browne *et al*. 1995). در پژوهش حاضر، تماس قارچ عامل بیماری با پایه‌های سیب زمانی انجام شد که پایه‌ها تقریبا دو ساله بوده و بافت بیرونی طوقه و ریشه کاملا سخت و لیگنینی شده بود. از این رو، همان‌گونه که انتظار می‌رفت به دلیل شباهت کامل بافت طوقه و ریشه به گیاه بالغ، نرخ بالایی از مرگ و میر در میان ژنوتیپ-پایه‌های مورد آزمایش مشاهده نشد. بنابراین، بیان مقاومت/حساسیت نسبی در ژنوتیپ-پایه‌های مورد مطالعه براساس شاخص مرگ و میر، می‌تواند تا حد زیادی قابل تعمیم به شرایط باغ باشد.

اختلاف ارتفاع هر یک از ژنوتیپ-پایه‌های مایه‌زنی‌شده در مقایسه با شاهد، در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق نتایج به‌دست‌آمده، بیمارگر توانایی کاهش ارتفاع را در همه پایه‌های مورد مطالعه داشته است، هرچند این کاهش در اغلب ژنوتیپ‌ها معنی‌دار نبوده است. بیشترین میزان کاهش ارتفاع معنی‌دار به ترتیب در ژنوتیپ-پایه‌های B9op$^{(87)}$ و Azop$^{(486)}$ و همچنین در پایه MM106 اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- تاثیر مایه‌زنی *Phytophthora cactorum* بر ارتفاع هر یک از ژنوتیپ-پایه‌های امیدبخش سیب و نیز پایه‌های تجاری M9 و MM106، در مقایسه با شاهد

Table 2. Effect of *Phytophthora cactorum* inoculation on height of each of the apple promising rootstocks as well as M9 and MM106, compared to the control

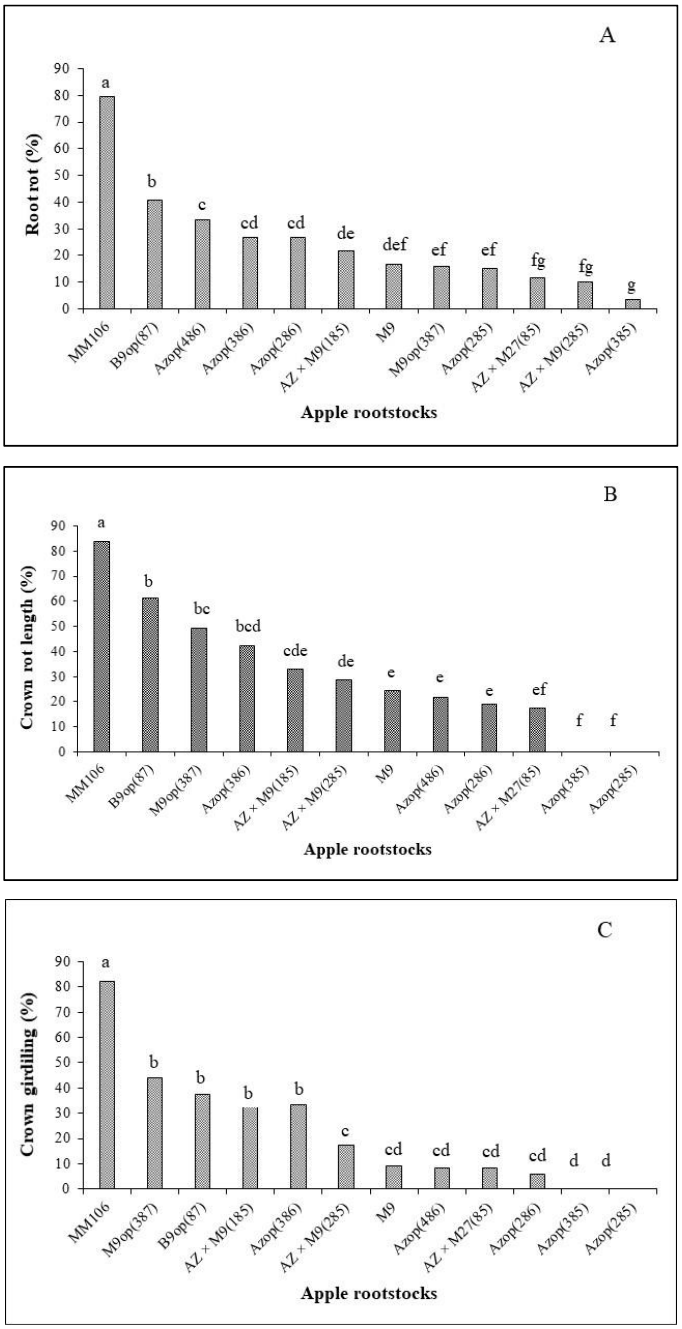
Genotype-rootstock	Height reduction compared to control (cm)	Variance	T- test
Azop$^{(385)}$	-1.08	168.64	ns
AZ × M9$^{(285)}$	-11.92	281.34	ns
AZ × M27$^{(85)}$	-10.67	205.37	ns
Azop$^{(285)}$	-7.67	268.87	ns
AZ × M9$^{(185)}$	-4.92	381.34	ns
Azop$^{(286)}$	-3.83	506.47	ns
Azop$^{(386)}$	-7.83	175.07	ns
M9op$^{(387)}$	-14.58	323.44	ns
B9op$^{(87)}$	-64.00	154.50	**
Azop$^{(486)}$	-16.33	207.77	*
MM106	-39.25	65.08	**
M9	-3.00	91.10	ns

ns غیرمعنی‌دار؛ ** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

ns Not significant, ** and *significant at 1% and 5% probability, respectively.

نتایج آزمایش در دو سال پیاپی مشابه بود. اثر سال و همچنین اثر متقابل سال × پایه برای هیچ‌کدام از صفات مورد ارزیابی، معنی‌دار نشد (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). مقایسه اثر پایه بر صفات اندازه‌گیری‌شده (درصد پوسیدگی ریشه، طول پوسیدگی طوقه و درصد حلقه‌برداری طوقه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. شدت بیماری در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بود. میانگین درصد پوسیدگی ریشه در دامنه‌ای از ۷۶/۸ (در پایه MM106) تا ۳/۴ (در $Azop^{(385)}$) متغیر بود. ژنوتیپ-پایه‌های $B9op^{(87)}$ و $Azop^{(486)}$ به ترتیب با میانگین ۴۱/۳ و ۳۲/۷ درصد پوسیدگی ریشه، بالاترین میزان پوسیدگی را پس از نهال‌های MM106 به خود اختصاص دادند (شکل ۲-A). متوسط کلنی‌زاسیون ریشه توسط قارچ در نهال‌های سیب با پایه M9، به عنوان شاهد استاندارد با مقاومت مطلوب، ۱۷/۵ درصد تعیین شد؛ این درحالی است که پایه‌های $Azop^{(385)}$, Az × $M9^{(285)}$ و Az × $M27^{(85)}$ به ترتیب با دارابودن ۳/۴، ۱۰/۴ و ۱۱/۷ درصد پوسیدگی ریشه، عکس‌العمل بهتری را در مقایسه با پایه M9 در برابر بیماری نشان دادند. ارزیابی گسترش بیماری و پیشرفت طولی زخم بر روی طوقه‌ی نهال‌های مایه‌زنی شده، نشان داد که بیشترین درصد زخم طوقه، مربوط به پایه MM106 بوده (۸۰/۷ درصد)، و پس از آن ژنوتیپ-پایه‌های $B9op^{(87)}$ و $M9op^{(387)}$ (به ترتیب با ۵۹/۵ و ۴۹/۹ درصد) قرار داشتند (شکل ۲-B). بیشترین درصد حلقه‌برداری طوقه پس از MM106 (با میانگین درصد حلقه‌برداری ۷۹/۴)، در ژنوتیپ-پایه‌های $M9op^{(387)}$ و $B9op^{(87)}$ (به ترتیب با ۴۵/۸ و ۳۹/۶ درصد) اندازه‌گیری شد (شکل ۲-C). میزان حلقه‌برداری طوقه و متعاقب آن گسترش بیماری بر روی تنه در ژنوتیپ-پایه‌های $Azop^{(385)}$ و $Azop^{(285)}$ بسیار ناچیز و نزدیک به صفر بود. سه ژنوتیپ-پایه‌ی $Azop^{(286)}$ و Az × $M27^{(85)}$ و $Azop^{(486)}$ نیز نسبت به پایه M9 (با ۹/۲ درصد زخم محیط طوقه) خسارت کمتری را نشان دادند.

با هدف دخالت دادن همزمان کلیه صفات مورد استفاده برای ارزیابی عکس‌العمل ژنوتیپ-پایه‌های سیب در برابر بیمارگر و انتخاب پایه‌ی برتر، از روش شاخص انتخاب ایده‌آل تعدیل‌یافته (ASIIG) استفاده شد. شاخص انتخاب ایده‌آل تعدیل‌یافته براساس فاصله از مطلوب و ضد مطلوب، رتبه‌ی هر یک از ۱۰ ژنوتیپ-پایه‌ی مورد مطالعه را به همراه پایه‌های شاهد (MM106, M9) مشخص نمود (جدول ۳). مطابق نتایج به‌دست‌آمده، ژنوتیپ-پایه‌ی $Azop^{(385)}$ با کسب امتیاز ۰/۹۴۸، از نظر مطلوبیت (تحمل به بیماری) در رتبه اول و ژنوتیپ-پایه‌های $Azop^{(285)}$ و Az × $M27^{(85)}$ به ترتیب با امتیازات ۰/۹۳۷ و ۰/۸۸۴ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. شاخص انتخاب ایده‌آل، جایگاه بهتری را برای پایه‌های مذکور نسبت به پایه M9 مشخص نمود. پایه تجاری M9 با دارا بودن صفات مطلوب نظیر القا زودباردهی و پاکوتاه‌کنندگی، به عنوان پایه‌ای با حساسیت اندک تا متحمل در برابر قارچ فیتوفترا معرفی شده است (Grigel *et al*. 2019, Nakova 2010, Tianna DuPont *et al*. 2019). در این تحقیق نیز ۷ ماه پس از مایه‌زنی، علائم خفیفی از بیماری در نهال‌های M9 مشاهده شد؛ اما، این پایه در مقایسه با سایر هیبریدهای مورد مطالعه با به‌دست‌آوردن ۰/۸۲۹ امتیاز، رتبه چهارم از نظر مطلوبیت کسب نمود (جدول ۳). خاتمی و همکاران (Khatami *et al*. 2014) نیز در بررسی درون‌شیشه‌ای پنج هیبرید سیب به پوسیدگی ریشه فیتوفترایی، میانگین طول زخم نکروز در پایه H1 و Morabbai OP را کمتر از M9 گزارش نمودند. ژنوتیپ-پایه‌های $B9op^{(87)}$ و $M9op^{(387)}$ به ترتیب با امتیازات ۰/۳۴۳ و ۰/۳۷۵ پس از پایه تجاری و حساس MM106 (با امتیاز ۰/۳۹۵)، در گروه نامطلوب‌ترین و ضعیف‌ترین (حساس‌ترین) پایه‌ها طبقه‌بندی شدند. این احتمال وجود دارد که سطوح



شکل ۲- عکس‌العمل ۱۰ ژنوتیپ-پایه امیدبخش سیب در مقایسه با پایه‌های MM106 و M9 در برابر قارچ *Phytophthora cactorum* براساس درصد پوسیدگی ریشه (A)، درصد طول پوسیدگی طوقه (B)، و درصد حلقه‌برداری طوقه (C).

ستون‌هایی با حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن، تفاوت معنی‌دار ندارند.

Fig. 2. Reaction of 10 apple promising rootstocks to *Phytophthora cactorum*, according to percent root rot (A), percent crown rot length (B), and percent crown girdling (C), comparing with MM106 and M9.

The columns with at least one common letter are not significantly different at 5% probibility level by Duncan's Multiple Range test.

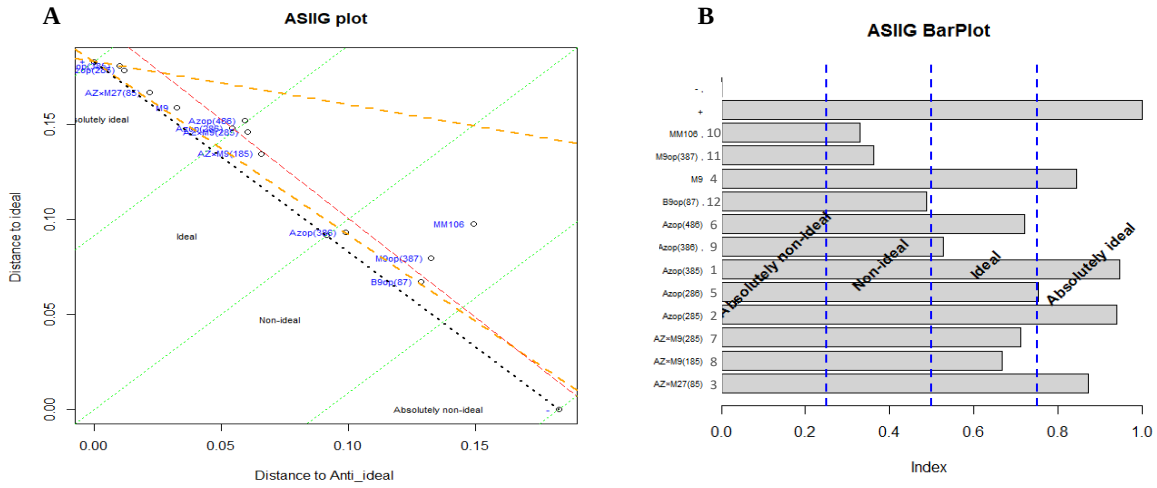
مختلف ایناکولوم قارچ، عکس‌العمل پایه‌ها را در برابر بیمارگر تا حدودی تحت تاثیر قرار دهد؛ این موضوع می‌بایست در مطالعات آینده مورد بررسی قرار گیرد. اما در هر صورت، استفاده از پایه‌های حساس در خاک‌های سنگین با زه‌کشی نامناسب و یا در مناطق آلوده به هیچ‌وجه قابل توصیه نمی‌باشد. در برخی مناطق، استفاده از پایه MM106 به دلیل پررشدی، نیمه‌پاکوتاهی و عملکرد مطلوب مورد توجه باغداران قرار دارد؛ اما درختانی که بر روی پایه MM106 مستقر می‌باشند، به دلیل تاخیر در توقف رشد پائیزه، در برابر سرمای زمستان نیز حساس هستند (Domoto & Cummins 2021). با توجه به نقش سرمای زمستانه در ایجاد زخم و گسترش بیماری پوسیدگی طوقه، استفاده از این پایه در مناطقی با زمستان‌های سرد باید با احتیاط کامل صورت گیرد.

جدول ۳- امتیازات و رتبه کسب‌شده توسط ژنوتیپ-پایه‌های امیدبخش سیب در عکس‌العمل به *Phytophthora cactorum* با استفاده از روش ASIIG

Table 3. Calculated values of ASIIG index by apple promising rootstocks in reaction to *Phytophthora cactorum*

Genotype-rootstock	Non-ideal distance	Ideal distance	ASIIG	Rank
Azop(385)	0.181	0.010	0.948	1
Azop(285)	0.178	0.012	0.937	2
AZ × M27(85)	0.167	0.022	0.884	3
M9	0.159	0.033	0.829	4
Azop(286)	0.148	0.054	0.731	5
Azop(486)	0.152	0.059	0.719	6
AZ × M9(285)	0.146	0.060	0.707	7
AZ × M9(185)	0.135	0.066	0.671	8
Azop(386)	0.093	0.099	0.484	9
MM106	0.098	0.149	0.395	10
M9op(387)	0.080	0.133	0.375	11
B9op(87)	0.067	0.129	0.343	12

پراکنش ژنوتیپ-پایه‌ها از نظر مطلوبیت با کمک فاصله از دو ژنوتیپ فرضی مطلوب و ضدمطلوب و همچنین نمودار ستونی حاصل براساس امتیازات ASIIG در شکل ۳ نمایش داده شده است. به‌این‌ترتیب، ژنوتیپ-پایه‌های مورد مطالعه در چهار گروه (کاملاً مطلوب، مطلوب، نامطلوب و کاملاً نامطلوب) گروه‌بندی شدند. ژنوتیپ‌های Azop(285), Azop(385) و Az × M27(85) به همراه پایه تجاری M9 (شاهد استاندارد مقاوم) و ژنوتیپ فرضی ایده‌آل (+) در گروه "کاملا مطلوب" قرار گرفتند. این در حالی است که براساس جدول ۲، هر سه ژنوتیپ-پایه مذکور از رتبه بهتری در مقایسه با پایه M9 برخوردار بودند. در چارک "مطلوب"، هیبریدهای Azop(486), Azop(285), Az × M9(285) و Azop(386), Azop(286), Az × M9(185) قرار گرفتند. هیبریدهای B9op(87), M9op(387) به همراه شاهد استاندارد حساس (MM106) در کمترین فاصله از ژنوتیپ فرضی ضدایده‌آل (-) در چارک "نامطلوب" گروه‌بندی شدند. هیچ کدام از پایه‌های مورد آزمایش، در گروه "کاملاً نامطلوب" جای نگرفتند.



شکل ۳- پراکنش ژنوتیپ-پایه‌های امیدبخش سیب براساس فاصله از مطلوب و ضد مطلوب (A)؛ تعیین مطلوبیت هیبریدهای آزمایشی براساس شاخص ASIIG (B)

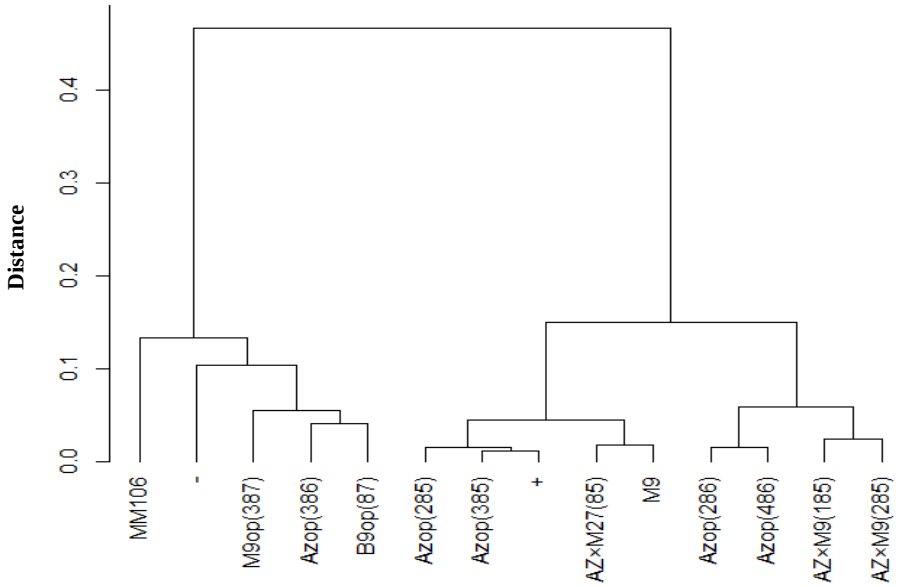
+: ژنوتیپ فرضی کاملا مطلوب؛ و -: ژنوتیپ فرضی کاملا نامطلوب

Fig. 3. Distribution of apple promising rootstocks based on distance of ideal and non-ideal (A); determination of ideality of tested hybrids based on ASIIG index (B)

+: Ideal hypothetical genotype; and –: Non-ideal hypothetical genotype

دندروگرام حاصل از روش ASIIG، ژنوتیپ-پایه‌های مورد مطالعه را در خوشه‌های مجزا طبقه‌بندی نمود (شکل ۴). هیبریدهای $Azop^{(386)}$، $M9op^{(387)}$، $B9op^{(87)}$ و پایه MM106، به همراه ژنوتیپ فرضی با عکس‌العمل نامطلوب (که با علامت - در دندروگرام مشخص شده است)، در یک گروه جای گرفتند. در گروه دوم، ژنوتیپ-پایه‌های $Azop^{(285)}$، $Azop^{(385)}$، $Az \times M27^{(85)}$ و پایه تجاری M9 قرار گرفته و از نظر نزدیکی به ژنوتیپ فرضی با عکس‌العمل مطلوب (که با علامت + در دندروگرام مشخص شده است)، موقعیت بهتری را در مقایسه با سایر پایه‌های مورد مطالعه کسب نمودند. تجزیه کلاستر و خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها، سایر پایه‌ها را در فاصله‌ای دورتر، به ژنوتیپ فرضی کاملا مطلوب متصل نمود.

نقش ساختار ژنتیکی گونه‌های مختلف قارچ فیتوفترا در توسعه بیماری هنوز به درستی روشن نشده است (Sri & Mutia Erti 2018)؛ هرچند در اکثر مناطق سیب‌کاری دنیا و همچنین در کشور ما، گونه‌ی *P. cactorum* بیشترین پراکنش را در باغ‌های سیب به خود اختصاص داده است (Grigel *et al*. 2019, Jeffers & Aldwinckle 1988, Rashid & Naffaa 2017). به نظر می‌رسد در سال‌های اخیر دلایل گسترش بیماری پوسیدگی طوقه در باغ‌های سیب صرف‌نظر از انتقال نهال آلوده از نهالستان‌ها به باغ‌ها، با عوامل دیگری از قبیل تغییرات آب و هوایی، تنش‌های آبی، نادیده گرفتن مشکلات مربوط به پایه‌های حساس (مثل MM106) از سوی پرورش‌دهندگان و استفاده از این پایه‌ها در کاشت باغ‌های جدید، نیز مرتبط باشد. وجود تابستان‌های گرم و خشک و به دنبال آن تنش کم‌آبی، حساسیت درختان را در برابر عوامل بیماریزا افزایش داده است. این موضوع در کنار کاشت پایه‌های حساس مثل MM106 که به دلیل تکثیر آسان، نیمه‌پابلند بودن، و عدم پاجوش‌دهی بسیار مورد توجه باغداران قرار دارند، می‌تواند سبب بروز بیماری در مناطق و زمین‌های مستعد



شکل ۴- فاصله ژنوتیپ-پایه‌های مورد مطالعه براساس دندروگرام حاصل از روش ASIIG

+: ژنوتیپ فرضی کاملا مطلوب؛ و -: ژنوتیپ فرضی کاملا نامطلوب

Fig. 4. Cluster analysis of apple promising hybrid rootstocks based on dendrogram extracted from ASIIG

+: Ideal hypothetical genotype; and -: Non-ideal hypothetical genotype

برای گسترش بیمارگر شود. از این رو، معرفی پایه‌هایی با مقاومت مطلوب که امتیازات لازم برای سایر صفات باغبانی را نیز دارا هستند، باغداران و پرورش‌دهندگان این محصول را برای تولید پایدار آن حمایت خواهد کرد. امروزه محققین و اصلاح‌گران درختان میوه پیشنهاد ایجاد هرمی از ژن‌های مقاومت به بیماری را از منابع مختلف مقاومت (اعم از مقاومت تک‌ژنی و چندژنی) مطرح می‌نمایند. آنها معتقدند نمایش این فرم از مقاومت ژنتیکی، قادر است فرصت جهش بیمارگر در مکان های ژنی متعدد را کاهش دهد. خوشبختانه ژرم‌پلاسم درختان میوه، مخازن ارزشمند تنوع آللی در برابر مقاومت به بیماری می‌باشند که می‌بایست در برنامه‌های اصلاحی درختان میوه مورد اهتمام قرار گیرند. به‌طورکلی، گونه‌های اهلی درختان میوه فاقد ژن‌های اصلی مقاومت (Major genes) بوده و اغلب یا حساس و یا نسبتا مقاوم به بیماری می‌باشند. برای مثال، لوکوس‌های اصلی مقاومت به بیماری، اغلب در گونه های وحشی سیب (*Malus*) شناسایی شده‌اند (Khan & Korban 2022). در کشور ما نیز در دهه‌های گذشته، مجموعه‌های بزرگ ژرم‌پلاسم درختان میوه معتدله به عنوان منابعی که حامل آلل‌های متنوع مقاومت به بیماری هستند، شناسایی و جمع‌آوری شده‌اند؛ و غربال آنها برای توسعه مدیریت طولانی مدت و پایدار بیمارگر براساس مقاومت میزبان همچنان ادامه دارد. در همین راستا، به‌نژادگران پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری در موسسه تحقیقات علوم باغبانی کشور طی حدود ۲۰ سال، تعداد ۳۵ ژنوتیپ-پایه رویشی سیب را گزینش نموده‌اند.

پرواضح است که معرفی پایه‌های امیدبخش سیب، مستلزم تکمیل شناسنامه‌ی آنها از نظر خصوصیات مهم باغبانی و نیز تعیین عکس‌العمل آنها در برابر برخی از مهم‌ترین تنش‌های زنده و غیرزنده است. برخی از ویژگی‌های مهم این پایه‌ها در جدول ۱ ذکر شده است. سایر خصوصیات مهم آنها از قبیل مقاومت به شوری، مقاومت به سرما، القای زودباردهی، قدرت پاکوتاه‌کنندگی، و نیز ارزیابی سازگاری در شرایط اقلیمی کشور، همچنان در دست بررسی و مطالعه می‌باشد.

نظر به اهمیت بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه در باغ‌های سیب، داشتن اطلاعاتی درخصوص میزان مقاومت ژنوتیپ-پایه‌های امیدبخش سیب که حاصل برنامه‌های طولانی مدت اصلاحی در کشور می‌باشند، بسیار حائز اهمیت است. با توجه به مقاومت گزارش‌شده در پایه‌های سیب سری مالینگ (M27 و M9)، پایه تجاری B9 (Domoto & Cummins 2021)، و پایه محلی آزایش (Dastjerdi & Damyar 2010) به بیماری پوسیدگی طوقه، انتظار می‌رفت صفت مقاومت در ژنوتیپ-پایه‌های مورد مطالعه در این تحقیق، تظاهر یابد. براین اساس، ژنوتیپ-پایه‌های $Azop^{(385)}$, $Azop^{(285)}$ (هر دو حاصل گرده‌افشانی آزاد سیب بومی آزایش اصفهان) و پایه امیدبخش Az × $M27^{(85)}$ (نتاج حاصل از تلاقی والد مادری آزایش اصفهان و والد پدری M27) عکس‌العمل مطلوبی را در برابر بیماری نشان دادند. کاهش بروز علائم و به دنبال آن کاهش میزان خسارت این ژنوتیپ-پایه‌ها در برابر بیماری را می‌توان با واژه تحمل توصیف نمود. تحمل در برابر بیماری، نتیجه فعالیت و ویژگی های توارث‌پذیر گیاه میزبان است، که در آن اگرچه ممکن است رشد بیمارگر در گیاه میزبان رخ دهد، اما گیاه به دلایل مختلف از جمله فقدان نواحی جذب بیمارگر و یا دارابودن امکان جبران اثر ترشحات محرک بیمارگر، آسیب کمتری دیده و محصول خوبی را تولید خواهد نمود. به این‌ترتیب، به نظر می‌رسد پایه‌های متحمل به فیتوفترا، پتانسیل ذاتی برای کاشت در مناطق آلوده را دارا می‌باشند. استفاده از این پایه‌ها در مناطقی که خطر بیماری پوسیدگی طوقه، باغ‌های سیب را تهدید می‌کند، می‌تواند در مدیریت بهتر باغ و کاهش خسارت، مفید واقع شود. پایه محلی آزایش، همانند پایه M27 دارای ویژگی پاکوتاه‌کنندگی و القا زودباردهی در درختان پیوندی است. این پایه برخلاف M27 از مقاومت مطلوبی در برابر سرمای زمستان و بیماری آتشک برخوردار است.

ژنوتیپ-پایه‌های $Azop^{(386)}$, $Azop^{(286)}$, $Azop^{(486)}$ و هیبریدهای Az × $M9^{(285)}$ و Az × $M9^{(185)}$ حساسیت متوسطی را در برابر قارچ عامل بیماری نشان دادند. اگرچه دردسترس بودن دستورالعمل‌های تکثیر رویشی و روش‌های بهبود ریشه‌زایی، امکان استفاده از این ژنوتیپ-پایه‌ها را در کشت‌های متراکم و نیمه‌متراکم باغ‌های سیب فراهم نموده و نگرانی تولیدکنندگان این محصول را در زمینه تکثیر غیرجنسی مواد گیاهی و احداث باغ‌های مدرن برطرف می‌سازد، اما کاشت پایه‌های نیمه‌حساس می‌بایست با مطالعه دقیق خصوصیات خاک، آب، شرایط اقلیمی برای بروز سایر آفات و بیماری‌های مهم نظیر شته مومی و آتشک، و همچنین با رعایت دقیق بهداشت باغ صورت گیرد. تحقیقات نشان داده است که حساسیت پایه‌های نیمه‌حساس در شرایط غرقابی و موقعیت‌های طولانی اشباع خاک، افزایش می‌یابد (Carisse & Khanizadeh 2006).

اگرچه کاهش خسارت قارچ فیتوفترا از طریق زهکشی مناسب خاک، ممانعت از غرقاب شدن درختان به‌خصوص در بهار و پائیز، استفاده از آبیاری قطره‌ای، وجین علف‌های هرز، غنی‌سازی خاک با مواد آلی جهت تسریع فعالیت آنتاگونیست‌ها، رعایت بهداشت باغ، و تهیه نهال سالم امکان‌پذیر است؛ اما در یک برنامه مدیریت تلفیقی، کاربرد پایه‌های متحمل و یا نیمه‌حساس در برابر بیماری، همچنان

به عنوان راهکاری اجرایی، مدیریت بیماری را در باغ آسان نموده و نقش موثری را در تولید پایدار محصول ایفا می‌کند.

آینده اصلاح درختان میوه معتدله برای مقاومت به بیماری، بسیار امیدوارکننده است. وجود ژرم‌پلاسم غنی از این درختان در ترکیب با بیوتکنولوژی و ابزارهای توالی‌یابی، بدون‌شک پیشرفت در زمینه اصلاح ارقام و پایه‌های درختان میوه را با تاکید بر مقاومت آنها در برابر یک یا چند تنش زنده و غیرزنده تسریع خواهد نمود (Khan & Korban 2022).

سپاسگزاری

این مقاله، نتایج اجرای پروژه تحقیقاتی به شماره ۹۸۰۵۹۹-۰۷۳-۳۳-۷۲-۷ مصوب سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی می‌باشد. نویسندگان برخود لازم می‌دانند از پروفسور ضیاالدین بنی‌هاشمی، استاد بخش بیماری‌شناسی گیاهی دانشگاه شیراز به خاطر دراختیار قراردادن جدایه‌ی قارچ، و از خانم مهندس مریم دودانگه بالاخانی برای کمک در انجام آزمایش‌های گلخانه‌ای، صمیمانه تشکر نمایند.

References منابع

AHMADI, J., A. A. TAGHIZADEH and D. ATASHKAR. 2022. Evaluation of desirability index in selection of apple cultivars using adjusted selection index of ideal genotypes (ASIIG). Iranian Journal of Horticultural Science 53(3):544-552. DOI: 10.22059/ijhs.2021.315252.1885 (In Persian with English summary).

ANONYMOUS. 2023, Agricultural Statistics, Vol 3: Horticultural Products. Ministry of Jahad Agriculture, Vice President of Planning and Economics, Center for Statistics, Information and Communication Technology. 401 Pp. (In Persian with English summary).

ATASHKAR, D. 2016. Study of rooting ability in progeny of some apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 17(3):273-284. DOI: 20.1001.1.16807154.1395.17.3.2.2 (In Persian).

ATASHKAR, D., M. PIRKHEZRI and A. A. TAGHIZADEH. 2016. Production and primary evaluation of apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. Iranian Journal of Horticultural Science 47(2):329-335. DOI: 10.22059/ijhs.2016.58534 (In Persian with English summary).

BANIHASHEMI, Z. 1995. Identification of *phytophthora* species associated with pistachio gummosis in southern Iran. Acta Horticulturae 419:349-353. DOI: 10.17660/ActaHortic.1995.419.58

BANIHASHEMI, Z., and M. MORADI. 2004. The frequency of isolation of *Phytophthora* spp. from crown and root of pistachio nut tree and reaction of the crown and root to the causal agents. Iranian Journal of Plant Pathology 40(1 & 2):57-75 (In Persian with English summary).

BROWNE, G. T., S. M. MIRCETICH and J. N. CUMMINS. 1995. Relative resistance of eighteen selections of Malus spp. to three species of phytophthora. Phytopathology 85:72-76.

BROWNE, G. T. 2017. Resistance to *phytophthora* species among rootstocks for cultivated *Prunus* species. HortScience 52:1471-1477. DOI: 10.21273/HORTSCI10391-17

BROWNE, G. T., and S. M. MIRCETICH. 1993. Relative resistance of thirteen apple rootstocks to three species of *phytophthora*. Phytopathology 83:744-749.

BROWNE, G. T., C. A. LESLIE, J. A. GRANT, R. G. BHAT, L. S. SCHMIDT, W. P. HACKETT, D. A. KLUEPFEL, R. ROBINSON and G. H. McGRANAHANS. 2015. Resistance to species of *Phytophthora* identified among clones of *Juglans microcarpa* × *J. regia*. HortScience 50(8):1136-1142. DOI: https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1136

CARISSE, O., and S. KHANIZADEH. 2006. Relative resistance of newly released apple rootstocks to *Phytophthora cactorum*. Canadian Journal of Plant Science 86:199-204.

CHOI, B. H., C. S. KIM, Y. J. JEONG, I. H. PARK, S. G. HAN and T. M. YOON. 2021. Resistance evaluation of G, CG, or M series apple rootstocks to soil-borne diseases (Phytophthora root rot, white root

rot, and southern blight) and woolly apple aphid. Horticultural Science and Technology 31(2):167-174. DOI: https://doi.org/10.7235/HORT.20210015

CUMMINS, J . N., and H. S. ALDWINCKLE. 1974. Breeding apple rootstocks. HortScience 9(4):367-372.

DASTJERDI, R., and S. DAMYAR. 2010. Evaluation of relative resistance in eleven apple rootstocks to crown rot caused by *Phytophthora cactorum.* Seed and Plant Improvement Journal 26(3):297-311. DOI: 10.22092/spij.2017.111026 (In Persian with English summary).

DOMOTO, P., and J. CUMMINS. 2021. Characteristics of Apple Rootstock. Agricultural Research Service, U. S. Department of Agriculture, Plant Genetic Resources Unit: Geneva: NY. https://www.ars.usda.gov/northeast-area/geneva-ny/plant-genetic-resources-unit-pgru/docs/characteristics-of-apple-rootstock/#

ERSHAD, J. 1992. *Phytophthora* Species In Iran (Isolation, Purification and Identification). Agricultural Research Organization, Tehran, Iran. 217pp. (In Persian with English summary).

FAZIO, G., H. S. ALDWINCKLE and T. L. ROBINSON. 2022. Selection of apple rootstock breeding families for *Phytophthora* crown rot resistance. Acta Horticulturae 1346:717-722. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1346.90

GRIGEL, J., K. CERNY, M. MRAZKOVA, L. HAVRDOVA, D. ZAHRADNIK, B. JILKOVA and M. HRABETOVA. 2019. *Phytophthora* root and collar rots in fruit orchards in the Czech Republic. Phytopathologia Mediterranea 58(2):261-275. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediter-10614

JANICK, J., J. N. CUMMINS, S. K. BROWN and M. HEMMAT. 1996. Tree and tropical fruits. pp. 1-79. In: Janick, J., and Moore, J. N. (eds.), Fruit Breeding, Vol. 1. New York, John Wiley and Sons Inc.

JEFFERS, S. N., and H. S. ALDWINCKLE. 1988. Phytophthora root and crown rot of apple trees: Sources of *Phytophthora cactorum* and *Phytophthora cambivora* as primary inoculum. Phytopathology 78:328-335.

JEFFERS, S. N., H. S. ALDWINCKLE, T. J. BURR and P. A. ARENSON. 1981. Excised twig assay for the study of apple tree crown rot pathogens *in vitro*. Plant Disease 65:823–825.

KHAN, A., and S. S. KORBAN. 2022. Breeding and genetics of disease resistance in temperate fruit trees: challenges and new opportunities. Theoretical and Applied Genetics 135(11):3961-3985. DOI: 10.1007/s00122-022-04093-0

KHATAMI, M., H. SADEGHI GARMAROODI and M. TORABI. 2014. *In vitro* screening of some apple rootstocks for resistance to *phytophthora* root rot. Applied Plant Protection 3(3):203-213. DOI: 20.1001.1.22518371.1393.3.3.4.9 (In Persian with English summary).

LATIFIAN, M., D. ATASHKAR and R. GHAEMI. 2023. Antibiosis resistance of promising apple rootstocks to woolly aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.) under environmental conditions of Karaj in Iran. Seed and Plant Journal 39(1):93-120. DOI: 10.22092/spj.2023.363992.1331 (In Persian with English summary).

LATTORE, B. A., M. E. RIOJA and W. F. WILCOX. 2001. *Phytophthora* species associated with crown and root rot of apple in Chile. Plant Disease 85:603-606. DOI: 10.1094/PDIS.2001.85.6.603

LUBERTI, M., S. LITTHAUER, J. M. DUNWELL, F. F. FERNANDEZ and C. F. NELLIST. 2021. Response of apple (*Malus domestica*) accessions to UK *Phytophthora cactorum* isolates in cut-shoot tests. Acta Horticulturae 1307:369-374. DOI: 10.17660/ActaHortic.2021.1307.56

MATHERON, M. E., and S. M. MIRCETICJ. 1985. Pathogenicity and relative virulence of *Phytophthora* spp. from walnut and other plants to rootstocks of English walnut trees. Phytopathology 75:977-981. DOI: 10.1094/Phyto-75-977

MATHERON, M. E., and M. PORCHAS. 1996. Colonization of citrus roots by *Phytophthora citrophthora* and *P. parasitica* in daily soil temperature fluctuations between favorable and inhibitory levels. Plant Disease 80(10):1135–1140.

NAKOVA, M. 2010. Monitoring of *Phytophthora* species on fruit trees in Bulgaria. European Journal of Plant Pathology 128:517-525. DOI: 10.1007/s10658-010-9686-x

RASHID, A., and W. NAFFAA. 2017. Fungal pathogens associated with crown and collar rot of apple trees in southern Syria. Acta Agriculturae Slovenica 109(1):103-109. DOI: 10. 14720/aas.2017.109.1.10

ROSE, D. H., and C. C. LINDEGREN. 1925. *Phytophthora* rot of pears and apples. Journal of Agricultural Research 30:463-368.

SADEGHI GARMAROODI, H., H. ABDOLLAHI and M. MOHAMMADI GARMAROODI. 2023. Selection of resistant genotypes of quince (*Cydonia oblonga* Mill.) to root and crown rot caused by the pathogen, *Phytophthora cactorum*, in the lab condition. Scientia Horticulturae 310:111747. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111747

SRI, W., and D. MUTIA ERTI. 2018. Phylogenetic relationship of *phytophthora* sp. infected citrus in east javaof Indonesia using polymerase chain reaction. Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences 5(77):297-303. DOI: 10.18551/rjoas.2018-05.35

TAGHIZADEH, A. A., R. AMINIAN DEHKORDI., A. A. ZEINANLOO and M. M. ZARABI. 2021. Adjusted selection index of ideal selection "ASIIG", a solution to merge the effects of stability and yield olives (*Olea europaea*). Pomology Research 6(1):66-76. DOI: 10.30466/rip.2021.121087

THOMIDIS, T., C. TSIPOURIDIS and J. CULLUM. 2002. Pathogenicity and relative virulence of 11 Greek *Phytophthora* species on apple and pear rootstocks. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 30:261-264. DOI: 10.1080/01140671.2002.9514222

TIANNA DuPONT, S., S. HEWAVITHARANA and M. MAZZOLA. 2019. *Phytophthora* collar, crown and root of apple and cherry. Washington State University, FS322E. 7 Pages. DOI: https://hdl.handle.net/2376/14221

UTKHEDE, R. S., H. A. QUAMME and R. BROWNLEE. 2002. Incidence of *Phytophthora cactorum* crown and root rot on seven apple rootstocks artificially infected in the orchard. Journal of American Pomological Society 56(3):168-172.

YANG, R., J. CROSSA, P. CORNELIUS and P. BUGUENO. 2009. Biplot analysis of genotype × environment interaction: Proceed with caution. Crop Science 49(5):1564-1576. DOI: 10.2135/cropsci2008.11.0665

ZONDO, P. T., S. DENMAN and I. F. LABUSCHAGNE. 2007. Effect of season and aggressiveness of isolates on the response of two apple rootstocks to *Phytophthora cactorum* infection. Australian Journal of Plant Pathology 36:240-244. DOI: 10.1071/AP07022

ZONDO, P. T., I. F. LABUSCHAGNE and S. DENMAN. 2001. Apple rootstock resistance against crown, collar and root rot (*Phytophthora cactorum*). Deciduous Fruit Grower 51:12-13.