

مقاومت آنتی بیوزی پایه‌های امید بخش سیب به شته مومی (*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)) در شرایط محیطی کرج

Antibiosis Resistance of Promising Apple Rootstocks to Woolly Aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] under Environmental Conditions of Karaj in Iran

مسعود لطیفیان^{۱*}، داریوش آتشکار^۲ و راضیه قائمی^۳

- ۱- استاد، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲- استادیار، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استادیار، بخش تحقیقات نماتد شناسی، موسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۵

چکیده

لطیفیان، م.، آتشکار، د. و قائمی، ر. ۱۴۰۲. مقاومت آنتی بیوزی پایه‌های امید بخش سیب به شته مومی (*Eriosoma lanigerum* Hausm.) در شرایط محیطی کرج. نهال و بذر ۳۹: ۱۲۰-۹۳.

شته مومی [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] یکی از آفات مهم درختان سیب است. این پژوهش برای ارزیابی مقاومت آنتی بیوزی پایه‌های امید بخش سیب به این آفت در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام شد. تعداد ۱۰ ژنوتیپ انتخابی حاصل از هیبریداسیون و گرده افشانی آزاد ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی سیب شامل آرایش اصفهان و مربائی مشهد به عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب شامل M9, M27, B9 به عنوان والد پدری انتخاب شدو در قالب طرح بلوک کامل تصادفی ارزیابی شدند. تعداد کلنی شته در محل ریشه، طوقه، ساقه و شاخه ارزیابی شد. شاخص‌های مقاومت آنتی بیوزی شامل شاخص‌های بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز جمعی، پتانسیل بوم‌شناختی قابل بهره‌برداری و بقاء محاسبه شد. تجزیه عاملی به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع سازگار مقاومت بر پایه مجموعه شاخص‌های مشاهده پذیر برآورد شد. برای تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس درجه حساسیت از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده شد. بر اساس نتایج تعداد چهار پایه سیب بنام‌های $Azop^{(285)}$ ، $AZ \times M9^{(185)}$ ، $Azop^{(286)}$ و $Azop^{(386)}$ از نظر رتبه مقاومت آنتی بیوزی به ترتیب حساس ترین پایه‌ها و $M9op^{(387)}$ مقاوم ترین پایه نسبت به شته مومی بود. میانگین شاخص‌های بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز جمعی، پتانسیل بوم‌شناختی قابل بهره‌برداری و بقاء به ترتیب ۲۳/۹۰، ۰/۰۳، ۰/۰۶، ۳۸۱/۴۶، ۸۰/۱/۹، ۹/۰/۹ و ۱۵۰ بود. مقاومت به شته مومی سیب یک یافته ارزشمند است که می‌تواند در برنامه‌های به نژادی سیب و مدیریت تنوع ارقام سیب در چشم انداز تولید پایدار این محصول بهره‌برداری شود.

واژه‌های کلیدی: سیب، حساسیت زیستی، رشد جمعیت، بقاء، ساختار سنی.

مقدمه

شته مومی [*Eriosoma lanigerum*] (Hausm.)، سالهاست که یک آفت جدی درختان سیب است. این شته با تغذیه از پوست و ریشه درخت سیب، آن را ضعیف و تناسب اندام‌های درخت را کاهش می‌دهد (Yang et al., 2023). ریشه‌های درختان سیب بیشتر مستعد آسیب بوده و آسیب دیدگی شدید ریشه می‌تواند درختان جوان را از بین ببرد (Bangels et al., 2021). در برخی از کشورها، به ویژه استرالیا، نیوزیلند و آفریقای جنوبی، به دلیل طغیان این آفت، استفاده از ارقام مقاوم ضروری است (Ruiz-Montoya et al., 2015). ارزش اقتصادی سالانه ارقام مقاوم به شته‌ها در تولیدات کشاورزی ایالات متحده به تنهایی بیش از ۴۰۰ میلیون دلار آمریکا تخمین زده می‌شود (Dean et al., 2020).

تنوع در حساسیت ارقام سیب به شته مومی در مطالعات مختلفی بررسی شده است (Ateyyat and Al-Antary, 2009). خصوصیات مختلف زیستی این آفت نظیر میزان رشد، تولید مثل، بقا و تغذیه در پایه‌های مختلف سیب در مناطق مختلف جهان تفاوت‌های معنی‌داری نشان داده است (Chen et al., 2006). پایه‌های متنوع سیب دارای منابع غنی ژنتیکی مقاومت به شته مومی است که امکان توسعه ارقام مقاوم را فراهم می‌کند (Moinina et al., 2018). اما ضرورت اصلاح و معرفی پیوسته ارقام مقاوم جدید با توسعه بیوتیپ‌های شته مومی همواره وجود دارد تا بتوان بر ژن‌های مقاومت شکن Er1، Er2 یا

Er3 غلبه کرد (Han and Korban, 2010). علاوه بر این، نشان داده شده است که ارقام مقاوم سرعت انتشار شته‌های ناقل ویروس‌های گیاهی را کاهش می‌دهند (Hodge and Powell, 2008). بررسی واکنش به شته مومی گونه *E. lanigerum* در چهار رقم سیب در نیو ساوت ولز، استرالیا، نشان داد که بقای این شته در ارقام سیب گرنی اسمیت (Granny Smith) و جاناتان (Jonathan) در مقایسه با ارقام روم بیوتی (Rome Beauty) و دلشیز (Delicious) بالاتر بود (Asante 1999). بررسی ۳۰ رقم از هشت گونه *Malus* spp. یک لاین مقاوم از گونه (*Malus baccata* L.) بنام جین ۶۷ (Jin 67) به عنوان مقاوم به آفت معرفی شد (Deng et al., 1993). سری پایه‌های مالینگگ مرتون ام ام (Malling-Merton MM) به طور خاص برای مقاومت در برابر شته مومی معرفی شده‌اند (Preston, 1966). از این سری پایه‌های 'MM 104'، 'MM 10' و 'MM 111'، به عنوان پایه‌های مقاوم معرفی شدند (Sandanayaka et al., 2005).

در کارولینای شمالی پایه‌های نورثرن اسپای (Northern Spy) بسیار حساس تر بودند، اما، M 25 و MM 106، در مقایسه با آن آسیب دیدگی کمتری نشان دادند (Young et al., 1982). در نیویورک ارقام چست نات Chestnut، کلمبیا کراب (Columbia Crab) و گلدن هورنت (Golden Hornet) به شدت

از سایر ارقام نیمه مقاوم به شته مومی می‌توان پایه‌های سیب امر د برتکورت (Amere de Berthecourt)، آپسی (لیدی) [Api (Lady)]، اطلس (Atlas)، بلوشینگ گل‌سُدن (Blushing Golden) بویکناپفل (بویکن) رد واریور (Boikenapfel) [Boiken Red Warrior]، کریمسون گلد (Crimson Gold)، داکوتا (Dakota)، ارلی جو (Early Joe)، رد کادلین (Red Codlin)، فریهِر (Freiherr)، کنسیب (Kensib)، کینگستون بلک (Kingston Black) و لیونز (Lyons) را نام برد (Fluke, 1930).

ساز کارهای مقاومتی در گیاهان مقاوم در برابر شته‌ها بر رفتار تغذیه حشرات تأثیر دارد. این سازکارها اغلب شامل محدود کردن دسترسی آفت به آوندهای آبکش گیاهی است. بنابراین، سازکارهای مقاومت گیاه میزبان در برابر شته‌ها شامل عوامل دفاع شیمیایی، کاهش محتوای غذایی و کاهش خوشخوراکی می‌شوند (Yates and Michel, 2018). مشخص کردن تفاوت صفات فیزیکی، بیوشیمیایی و مولکولی بین گیاهان حساس و مقاوم می‌تواند به شناسایی سازکارهای مقاومت گیاهان به شته‌ها کمک کند. یکی از سازکارهای مقاومت فعال در برابر شته‌ها آنتی‌بیوز است (Züst and Agrawal, 2016). آنتی‌بیوز نوعی مقاومت گیاهی است که حاوی حداقل یک ویژگی گیاهی است که

حساس و ارقام ایریش پیچ (Irish Peach) و ایوریز دابل ویگور (Ivory's Double Vigor) به ترتیب مقاوم و نیمه مقاوم بودند (Cummins *et al.*, 1981). رقم کرانبری کراب (Cranberry Crab) در ژنو بسیار حساس بود (Young *et al.*, 1982). دو رقم مقاوم حاصل از نورثرن اسپای شامل MM 107 و MM 112، آسیب دیدگی بسیار کمی داشتند (Bus *et al.*, 2008).

تعداد کمی از ارقام سیب مانند آلدنبرگ (Oldenburg) و فون زوکلاما گلیوس رینتی (Von Zuccalmaglios Reinette) در برخی مناطق مقاوم و در برخی دیگر حساس گزارش شده است. براساس این گزارش‌ها استنباط شد که بیوتیپ‌های مختلف شته مومی سیب وجود دارد اما به صورت تحقیقاتی تایید نشده است (Hao *et al.*, 2020). بیوتیپ‌هایی از شته مومی که قادر به استقرار روی ارقام مقامسیب نورثرن اسپای بودند، بین سال‌های ۱۹۶۸ و ۱۹۷۴ در آفریقای جنوبی، استرالیا و کارولینای شمالی، ایالات متحده شناسایی شدند (Christians, 2003). انتشار بیوتیپ شته مومی بنام اسپای کاپابل (Spy-capable) از هیچ یک از این سه کانون هنوز گزارش نشده است، بنابراین به نظر می‌رسد که چنین انتشار جمعیتی غیر ممکن است. اما احتمال این که بیوتیپ‌های مشابه در سایر نواحی تولید سیب در جهان به وجود بیایند، وجود دارد (Alspach and Bus, 1999).

سرد سال تحت تأثیر سامانه‌های شمالی، شمال غربی و غربی به خصوص جنوب غربی است. ریزش‌های آن نیز متأثر از فعالیت این سامانه‌ها بوده و از آبان و آذر آغاز و تا اواسط اردیبهشت ادامه می‌یابد (Ehteshami-Moinabadi, 2022).

مواد گیاهی

ده ژنوتیپ سیب از میان نتاج امیدبخش حاصل از هیبریداسیون و گرده‌افشانی آزاد ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی سیب (آزایش اصفهان و مربائی مشهد) به عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب (M9, M27, B9) به عنوان والد پدری در برنامه‌ی اصلاح پایه‌های رویشی سیب، انتخاب و در قالب طرح بلوک‌های تصادفی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مواد گیاهی مورد استفاده، نهال‌های یک‌ساله‌ای بودند که از طریق خوابانیدن نواری تکثیر شدند. این نهال‌ها به گلدان‌های سطلی (به قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر، حجم گلدان معادل هفت لیتر) حاوی مخلوط خاک استریل با ترکیب ماسه (شن): خاک برگ: خاک رس به میزان ۲:۱:۱، منتقل و در فضای آزاد نگهداری شدند. در سال دوم پس از کاشت و رسیدن به رشد کافی، آماده ارزیابی آزمون‌های رجحان میزبانی شدند.

برای این منظور در دی، قلمه‌هایی به طول ۲۵ سانتی‌متر از این پایه‌ها تهیه و پس از تیمار با هورمون IBA با غلظت ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱

به روشی محدودکننده روی شاخص‌های زیستی آفت تأثیر می‌گذارد (Le Roux et al., 2014).

با توجه به اهمیت موضوع مقاومت به شته موی سیب، این پژوهش به منظور ارزیابی میزان مقاومت آنتی‌بیوزی پایه‌های امیدبخش سیب نسبت به شته مومی [*E. lanigerum* (Hasum.)] و تعیین خصوصیات ریخت‌شناسی مرتبط با این سازکار مقاومت به منظور استفاده در برنامه‌های به‌نژادی و تولید پایه‌ها و ارقام مقاوم سیب انجام شد.

مواد و روش‌ها

سال و مکان آزمایش

این پژوهش در کمالشهر کرج و در باغ کلکسیون ذخایر توارثی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات باغبانی به مدت سه سال در سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ انجام شد. این ایستگاه با فاصله ۴۸ کیلومتر در غرب تهران قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر است. طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ۵۱ درجه دو دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی است. بافت خاک آن از نوع لومی-رسی، اسیدیته خاک ۷/۸، درصد نیتروژن کل، درصد نیتروژن آلی، پتاسیم قابل جذب و فسفر قابل جذب به ترتیب یک درصد، ۰/۷۸ درصد، ۵۷۵ پی پی ام و ۱۲/۱ پی پی ام بود. این ایستگاه در فصل

روش نمونه‌برداری

نمونه برداری از کلونی‌های هوایی شته مومی سیب از ابتدای فروردین تا آبان هر دو هفته یکبار انجام شد. قسمت‌های ریشه، طوقه، تنه و شاخه مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر پایه امیدبخش سه درخت و از هر درخت پنج شاخه به طور تصادفی انتخاب شدند. تعداد کلنی شته در محل طوقه، ساقه و شاخه به صورت جداگانه شمارش شد. نمونه برداری از ریشه پایه‌های سیب مورد مطالعه در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد (Beers et al., 2010). از روش شمارش سریع برای برآورد تراکم کلنی‌های شته استفاده شد، به طوری که نمونه‌برداری باعث به هم خوردن شرایط طبیعی کلنی‌های شته نشود.

در این نمونه‌برداری‌ها هر توده شته به اندازه کوچک‌تر یا مساوی پنج سانتی‌متر به عنوان یک کلنی جداگانه شمارش شد (Verghese and Jayanthi, 2002). قسمت طوقه هر درخت با پلاستیک سیاه پوشانده شد. قسمت سطحی طوقه در محل ریشه‌ها با خاک پوشانده نشده بودند تا در نمونه‌برداری دوره‌ای شته‌ها مشکلی ایجاد نشود. خاک‌دهی مجدد درختان در شش ماهه دوم سال انجام شد (Damavandian, 2000). تعداد کل کلنی در هر نمونه برداری، در هر ماه و در کل دوره نمونه‌برداری شمارش شدند (Osborne, 2010).

درجه سانتی‌گراد ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده پس از ۴۵ روز به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت ماس به نسبت ۱:۱:۱) انتقال یافتند (Russo et al., 2007). پس از یک دوره رشد در شرایط طبیعی، در اسفند به ایستگاه کمالشهر منتقل و در ۱۰ ردیف جداگانه کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها دو متر و فاصله درختان در ردیف حدود یک متر مطابق شرایط خزانه نهال سیب بود.

مدیریت باغی شامل آبیاری قطره‌ای و کنترل و مدیریت علف‌های هرز به صورت غیرشیمیایی و به روش کف‌بری و وجین انجام شد. تغذیه از طریق کوددهی نیتروژن به مقدار ۴۸ گرم برای هر درخت در سه قسط (هر قسط ۱۶ گرم) به صورت سرک انجام شد. پیش از آغاز آزمایشات، کود کامل فوماسکو به صورت محلول‌پاشی در دو نوبت به نسبت یک در هزار در اواخر خرداد و مرداد استفاده شد. در آغاز نمونه‌برداری‌ها کلیه درختان در سال سوم بعد از کاشت بودند. هیچ‌گونه کنترل شیمیایی و یا غیر شیمیایی علیه شته مومی سیب روی این پایه‌ها انجام نگرفت. با توجه به سابقه آلودگی پایه‌های سیب مورد مطالعه به شته مومی در منطقه کاشت، اجازه داده شد که کلونی شته در اطراف طوقه تشکیل شود (جدول ۱ و شکل ۱).

جدول ۱- مشخصات پایه‌های سیب مورد مطالعه

Table 1. Description of studied apple rootstocks

پایه Rootstock	سال تولید Production year	والدین Parent(s)	Breeding method والدین)	ریشه به نژادی Origin	منشاء
Azop ⁽³⁸⁵⁾	2006	Azaish Isfahan	Open pollination	گرده افشانی آزاد	داخلی Domestic
AZ × M9 ⁽²⁸⁵⁾	2006	Azaish Isfahan × M9 vegetative rootstock	Hybrid	هیبرید	داخلی Domestic
AZ × M27 ⁽⁸⁵⁾	2006	Azaish × M27 vegetative rootstock	Hybrid	هیبرید	داخلی Domestic
Azop ⁽²⁸⁵⁾	2006	Azaish Isfahan	Open pollination	گرده افشانی آزاد	داخلی Domestic
AZ × M9 ⁽¹⁸⁵⁾	2006	Azaish Isfahan × M9 vegetative rootstock	Hybrid	هیبرید	داخلی Domestic
Azop ⁽²⁸⁶⁾	2007	Azaish Isfahan	Open pollination	گرده افشانی آزاد	داخلی Domestic
Azop ⁽³⁸⁶⁾	2007	Azaish Isfahan	Open pollination	گرده افشانی آزاد	داخلی Domestic
M9op ⁽³⁸⁷⁾	2008	M9 vegetative rootstock	Open pollination	گرده افشانی آزاد	خارجی Foreign
B9op ⁽⁸⁷⁾	2008	B9 vegetative rootstock	Open pollination	گرده افشانی آزاد	خارجی Foreign
Azop ⁽⁴⁸⁶⁾	2007	Azaish Isfahan	Open pollination	گرده افشانی آزاد	خارجی Foreign



شکل ۱- پایه‌های سیب مورد آزمایش برای مقاومت آنتی‌بیوزی نسبت به شته مومی از چپ به راست: $AZ \times M9^{(185)}$ ، $Azop^{(285)}$ ، $AZ \times M27^{(85)}$ ، $AZ \times M9^{(285)}$ ، $Azop^{(385)}$ ، $Azop^{(486)}$ ، $B9op^{(87)}$ ، $M9op^{(387)}$ ، $Azop^{(386)}$ ، $Azop^{(286)}$

Fig. 1. The apple rootstocks tested for antibiosis resistance against wooly aphid from left to right: $AZ \times M9^{(185)}$ ، $Azop^{(285)}$ ، $AZ \times M27^{(85)}$ ، $AZ \times M9^{(285)}$ ، $Azop^{(385)}$ ، $Azop^{(486)}$ ، $B9op^{(87)}$ ، $M9op^{(387)}$ ، $Azop^{(386)}$ ، $Azop^{(286)}$

نشان دهنده عدم وجود محدودیت در پایه سیب مورد مطالعه برای رشد شته مومی سیب است (Rhains and Messin, 2005).

$$R = \frac{V}{U}$$

رابطه ۱:

شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی

شاخص بلومبر (R)

محدودیت رشد جمعیت با افزایش تراکم در هر پایه با استفاده از شاخص بلومبر مورد ارزیابی قرار گرفت. رابطه‌های یک تا سه برای محاسبه این شاخص استفاده شد. مقادیر کوچک R

رابطه ۲: $U = \sum_{t=1}^N [(Density \text{ during sample}_{t+1}) - (Density \text{ during sample}_t)]^2$

رابطه ۳: $V = \sum_{t=1}^N [(Density \text{ during sample}_t) - (Mean \text{ cumulative density})]^2$

زمان (روز) رسیدن به حداکثر جمعیت در هر پایه سیب است (Inayatullah et al., 1990).

شاخص ساختار سنی جمعیت (PASI)

شاخص ساختار سنی جمعیت با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$PASI = \frac{\sum PnxNmy}{100} \quad \text{رابطه ۶:}$$

در این رابطه Pnx درصد فراوانی جمعیت شته در هر پایه سیب نسبت به میانگین کل پایه‌های سیب مورد مطالعه تعداد کل شته در هر پایه در کل فصل و Nmy تعداد کل شته در همه پایه‌ها در کل فصل تراکم جمعیت شته در هر پایه سیب مورد مطالعه می‌باشد (Bell, 2015).

شته روز تجمعی (CAD)

پتانسیل رشد جمعیت شته مومی روی یک پایه رویشی با شاخص جمعیتی شته روز تجمعی بیان شده و با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد (Tokunaga and Suzuki, 2008).

$$CAD = \sum_{t=1}^N \frac{[(Density \text{ during sample}_{t+1}) + Density \text{ during sample}_t]}{2} \times t \quad \text{رابطه ۷:}$$

شته مومی سیب با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد (Kenis et al., 2009).

رابطه ۸:

$$EEP = \frac{\sum_{t=1}^N GDP - Density \text{ during sample}_t}{GDP}$$

در این رابطه GDP شاخص انتی بیوز و t

شاخص نرخ رشد جمعیت (MRCR)

شاخص میزان رشد جمعیت با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد. مقدار این شاخص در کل دوره برای دو نمونه برداری که از نظر زمانی به صورت متوالی بودند، محاسبه شد.

$$MRCR = \sum_{t=1}^N \frac{(C2 - C1)}{t} \quad \text{رابطه ۴:}$$

در این رابطه C1 و C2 به ترتیب تراکم کل کلنی شته در دو نمونه برداری متوالی با فاصله زمانی t بود. سپس میانگین این شاخص در کل دوره نیز محاسبه شد (Tokunaga and Suzuki, 2008).

شاخص آنتی بیوز (ABI)

شاخص آنتی بیوز با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

$$ABI = \frac{GPD}{t_{GPD}} \quad \text{رابطه ۵:}$$

در این رابطه GPD حداکثر تراکم جمعیت شته در هر پایه سیب در طول فصل و t_{GPD}

در این رابطه t زمان نمونه برداری است.

پتانسیل بوم‌شناختی قابل بهره‌برداری

(EEP)

در هر پایه سیب مورد مطالعه پتانسیل بوم‌شناختی قابل بهره‌برداری از آن پایه توسط

زمان است.

شاخص بقاء (St)

برای محاسبه شاخص بقاء از روش کاپلان مایر "روش محدودیت بقای جمعیت" که یک روش غیرپارامتریک است و برای تخمین احتمال بقای شته مومی سیب در فواصل زمانی نمونه‌برداری‌های متوالی و در طول فصل است، استفاده شد. برای این منظور ابتداء درصد بقای کلنی شته مومی روی یک پایه سیب در هر نمونه‌برداری نسبت به کل جمعیت شته فعال در جامعه پایه‌های سیب مورد مطالعه مشخص شد. تابع بقاء توزیع زمان‌های بقاء جمعیت شته مومی را روی هر پایه رویشی سیب مشخص می‌سازد. این شاخص از روش کاپلان - مایر برآورد شد (رابطه ۹).

$$\check{S}_t = \prod_{t_i < t} \frac{N_i - D_i}{N_i} \quad \text{رابطه ۹}$$

در این فرمول N_i تعداد کلنی شته در هر پایه و D_i تعداد کلنی شته‌ها در ۱۰ پایه رویشی سیب مورد آزمایش تا قبل از نمونه‌برداری t ام است (Maixner et al., 2014).

صفات رشد رویشی پایه‌های سیب

صفات رشد رویشی پایه‌های سیب مورد آزمایش شامل تعداد ریشه تولید شده، تعداد ریشه در هر قلمه ریشه‌دار، طول ریشه‌ها (از طریق برآورد میانگین طول ده عدد ریشه که به صورت تصادفی انتخاب شدند)، طول ناحیه ریشه‌زا روی پایک‌های تولید شده (به روش اندازه‌گیری فاصله محل قلمه که در محیط ریشه‌زایی قرار گرفته تا قسمت انتهایی قلمه که

دارای ریشه است)، تعداد پایک تولید شده (شامل تعداد پایک از هر هیبرید پایه در محیط خوابانیدن کپه‌ای) و درصد ریشه‌زایی محاسبه درصد قلمه‌های ریشه دار از کل قلمه‌های کاشته شده اندازه‌گیری شد (Zhao et al., 2022).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌های به دست آمده از اندازه‌گیری و محاسبه شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی، پس از اطمینان از نرمال بودن به کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 انجام شد. داده‌ها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌های شاخص‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

تجزیه عاملی به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع سازگار مقاومت بر اساس مجموعه شاخص‌های مشاهده پذیر و محاسبه شده برای شاخص مقاومت آنتی‌بیوزی بود. عامل، متغیر جدیدی است که از طریق ترکیب خطی نمره‌های اصلی شاخص‌های ارزیابی بر پایه رابطه زیر برآورد شد: رابطه ۱۰:

$$F_j = \sum W_{ji} X_i = W_{j1} X_1 + W_{j2} X_2 + \dots + W_{jp} X_p$$

در این فرمول W ها بیانگر ضرایب نمره عاملی و p معرف تعداد شاخص‌های محاسبه شده برای هر شاخص مقاومت آنتی‌بیوزی مورد

حضور دو یا چند پایه سیب در یک خوشه خاص حاکی از شباهت بین آنها در مقاومت آنتی‌بیوزی به شته مومی سیب بود. بنابراین با استفاده از نمودار درختی اقدام به گروه بندی پایه‌های امیدبخش سیب شد. با توجه به تئوری تجزیه خوشه‌ای و با در نظر گرفتن معیارهای تعیین بهترین مکان برای خط فنون براساس فاصله اقلیدس (Euclidean Distance)، این موقعیت انتخاب شد. مناسب‌ترین فاصله اقلیدسی براساس رابطه $\sqrt{\frac{n}{2}}$ برآورد شد که در آن n معادل تعداد کل پایه‌های سیب مورد آزمایش بود. بر این اساس کل پایه‌های مورد مطالعه در گروه‌هایی براساس میزان بروز سازکارهای آنتی‌بیوز قرار داده شدند (Frades and Matthiesen, 2010).

برای ارزیابی صحت خوشه‌بندی پایه مورد مطالعه تجزیه و تحلیل متمایز (LDA)، متمایز عادی (NDA)، یا تجزیه و تحلیل تابع متمایز، و تعمیم تفکیک کننده خطی فیشر استفاده شد. تجزیه تشخیص خطی ارتباط نزدیکی با تجزیه عاملی دارد، زیرا هر دو به دنبال ترکیب‌های خطی متغیرهایی هستند که مقاومت آنتی‌بیوزی پایه‌های مورد آزمایش را به بهترین نحوی توضیح دهند. تفاوت بین گروه‌های داده‌ها بررسی شد و به این ترتیب از صحت خوشه‌بندی به کمک نرم افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 اطمینان حاصل شد (Fraley and Raftery, 2002).

بررسی ارتباط بین صفات ریشه با بروز

مطالعه است. با ترکیب‌های خطی بدست آمده، توصیف ویژگی‌های هر شاخص مقاومت آنتی‌بیوزی و ارتباط آن با شاخص‌های محاسبه شده با آن امکان پذیر شد. استخراج عامل‌ها از ماتریس ضرایب همبستگی، چرخش عامل‌ها به منظور به حداکثر رساندن رابطه بین شاخص‌ها و عامل‌ها و محاسبه بار عاملی (نمره عامل‌ها) برای تعیین عامل‌های مورد نظر انجام شد (Hamzehzarghani et al., 2005).

برای تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس درجه حساسیت به شته مومی سیب از روش تجزیه خوشه‌ای استفاده و نمونه‌هایی که از نظر درجه مقاومت مشابه باشند بر اساس یک فاصله اقلیدسی مشخص به گروه‌های مختلفی تقسیم بندی شد. داده‌های برداشت شده در این پژوهش به روش Hierarchical clustering و با استفاده از نرم افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 مورد تجزیه و تحلیل و قرار گرفت. جهت پردازش این داده‌ها نیاز به انتخاب معیاری مناسب جهت محاسبه شباهت بین متغیرها بود. این متغیرها شامل عامل‌های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع شاخص‌های مقاومت بر پایه مجموعه شاخص‌های مشاهده پذیر و محاسبه شده برای آن مقاومت آنتی‌بیوزی بود که در تجزیه عاملی برآورد شدند. پس از انتخاب معیارهای شباهت، جهت تهیه نمودار درختی (Denderogram) معرف ساختار درونی متغیرها، نیاز به انتخاب روش مناسبی جهت اتصال خوشه‌ها بود.

قابل بهره‌برداری و بقاء شته مومی نشان داد که تفاوت بین پایه‌های سیب برای این شاخص‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میانگین شاخص بلومبر ۲۳/۹ و حداقل آن در پایه $M9op^{(387)}$ معادل ۰/۷۶ و حداکثر آن در پایه $Azop^{(285)}$ معادل ۳۴/۱۶ بود (جدول ۲). میانگین شاخص نرخ رشد جمعیت شته مومی 0.03 ± 0.03 بود و حداقل آن در پایه $M9op^{(387)}$ معادل ۰/۰۲ و حداکثر آن در پایه $Azop^{(386)}$ معادل ۰/۰۴ بود.

سازکارهای آنتی‌بیوزی در پایه‌های سیب مورد آزمایش نیز انجام شد. درجه تأثیر صفات مختلف ریشه بر میزان مقاومت آنتی‌بیوزی از طریق ضرایب همبستگی پیرسون به کمک نرم افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 مورد بررسی قرار گرفت (Gogtay and Thatte, 2017).

نتایج و بحث

شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی

تجزیه واریانس داده‌های شاخص‌های بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی‌بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بوم‌شناختی

جدول ۲- مقایسه میانگین شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی پایه‌های سیب نسبت به شته مومی
Table 2. Mean comparison of indices of antibiosis resistance of apple rootstocks to woolly aphid

پایه Rootstock	شاخص‌های آنتی‌بیوزی Antibiosis indices						
	R	MRCR	ABI	PASI	CAD	EEP	St
$Azop^{(385)}$	61.92±3.47a	0.03±0.00ab	0.065±0.00ab	369.15±35.55ab	779.35±32.68ab	9.57±0.10a	114.79±1.01c
$AZ \times M9^{(285)}$	48.19±4.62ab	0.03±0.00ab	0.068±0.00a	377.65±40.14ab	799.63±43.08ab	9.67±0.08a	118.08±0.04c
$AZ \times M27^{(85)}$	6.12±1.168de	0.03±0.00ab	0.073±0.00a	490.05±29.92a	1033.43±8.42a	8.51±0.224b	167.57±6.847b
$Azop^{(285)}$	34.16±7.75bc	0.03±0.00ab	0.061±0.00ab	343.23±43.75b	724.08±54.964b	9.65±0.11a	105.50±2.31c
$AZ \times M9^{(185)}$	18.82±8.38cde	0.03±0.00ab	0.058±0.00ab	360.34±73.83b	752.31±116.61ab	9.23±0.34a	111.02±12.45c
$Azop^{(286)}$	16.68±6.13 cde	0.03±0.00ab	0.059±0.04ab	330.55±69.66b	741.16±110.10b	9.42±0.23a	108.37±10.972c
$Azop^{(386)}$	8.46±3.24de	0.02±0.00b	0.056±0.00ab	330.55±71.78b	678.30±113.96b	9.51±0.08a	97.46±11.04c
$M9op^{(387)}$	0.76±0.13e	0.04±0.00a	0.046±0.00b	425.93±20.94ab	890.43±33.18ab	6.08±9.61c	439.38±12.75a
$B9op^{(87)}$	25.82±3.73bcd	0.02±0.00c	0.070±0.00a	391.99±30.10ab	826.70±20.20ab	9.61±0.09a	121.27±3.60bc
$Azop^{(486)}$	18.04±9.65cde	0.04±0.00a	0.068±0.00a	372.27±2.80ab	793.74±40.1ab	0.10±0.10 a	116.54±12.62c

میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.
Means, in each column, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level-using Tukey test.

R، MRCR، ABI، PASI، CAD، EEP و St به ترتیب نشان دهنده شاخص‌های بلومبر، سرعت رشد نسبی، آنتی‌بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بهره‌برداری بوم‌شناختی و بقاء می‌باشند.

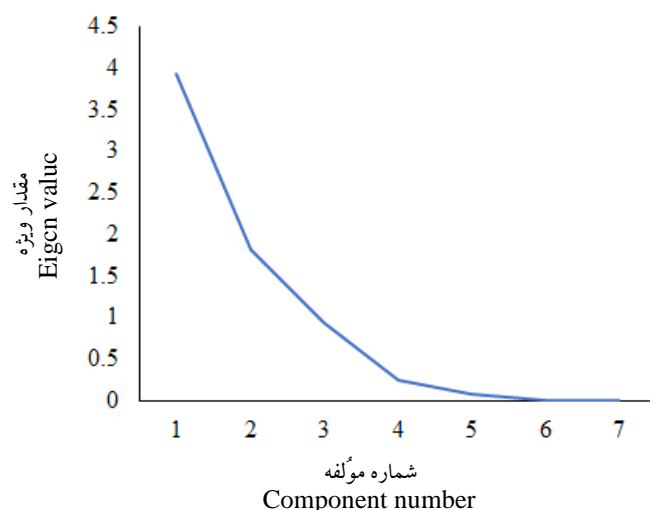
R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP and St represent the relative growth rate, antibiosis, population age structure, cumulative aphid day, ecological exploitation potential and survival, respectively.

میانگین شاخص آنتی بیوز $Azop^{(486)}$ معادل $6/69$ بود. میانگین شاخص بقاء در پایه $M9op^{(387)}$ معادل $0/04$ و حداکثر آن در پایه $AZ \times M9^{(285)}$ معادل $0/073$ بود (جدول ۲). میانگین شاخص ساختار سنی جمعیت $381/45$ ، حداقل آن در پایه $Azop^{(386)}$ معادل $330/56$ و حداکثر آن در پایه $AZ \times M27^{(85)}$ معادل $490/05$ بود. میانگین شته روز تجمعی $801/91$ ، حداقل آن در $Azop^{(386)}$ معادل $678/3$ و حداکثر آن در $AZ \times M27^{(85)}$ معادل $1033/43$ بود. میانگین شاخص پتانسیل بوم-شناختی قابل بهره برداری و بقاء شته و جایگاه آنها در بروز مقاومت آنتی بیوزی پایه های سیب استفاده شد (شکل ۲).

مقاومت آنتی بیوزی

در این پژوهش، از بررسی همزمان شاخص های مقاومت آنتی بیوزی شامل بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بوم شناختی قابل بهره برداری و بقاء شته و جایگاه آنها در بروز مقاومت آنتی بیوزی پایه های سیب استفاده شد (شکل ۲).

میانگین شاخص آنتی بیوز $0/06$ و حداقل آن در پایه $M9op^{(387)}$ معادل $0/04$ و حداکثر آن در پایه $AZ \times M9^{(285)}$ معادل $0/073$ بود (جدول ۲). میانگین شاخص ساختار سنی جمعیت $381/45$ ، حداقل آن در پایه $Azop^{(386)}$ معادل $330/56$ و حداکثر آن در پایه $AZ \times M27^{(85)}$ معادل $490/05$ بود. میانگین شته روز تجمعی $801/91$ ، حداقل آن در $Azop^{(386)}$ معادل $678/3$ و حداکثر آن در $AZ \times M27^{(85)}$ معادل $1033/43$ بود. میانگین شاخص پتانسیل بوم-شناختی قابل بهره برداری $0/09$ ، حداقل آن در $M9op^{(387)}$ معادل $6/08$ و حداکثر آن در



شکل ۲- نمودار مؤلفه های اصلی مقاومت آنتی بیوزی پایه های سیب نسبت به شته مومی در فضای چرخشی

Fig 2. Plot of main components of antibiotics resistance of apple rootstocks to apple woolly aphid in rotated space

عامل اول بیشترین تغییرات را نشان دادند و به ترتیب $47/56$ و $34/44$ درصد از کل تغییرات را توضیح دادند (جدول ۳). با توجه به دوران

بر اساس رابطه بین شاخص ها دو عامل با داشتن ریشه های بزرگتر از یک معنی دار و 82 درصد از تغییرات داده ها را توجیه کردند. دو

عامل‌ها با چرخش واریماکس که واریانس بین عوامل را حداکثر و تفسیر عوامل را ساده‌تر می‌کند، عواملی که درصد بیشتری از تغییرات شاخص‌ها را در بروز مقاومت آنتی‌بیوزی را توجیه کنند، مهمتر هستند و باید مورد بررسی قرار گیرند (جدول ۴). بنابراین، شاخص‌های مؤثر در هر عامل شناسایی و عوامل بر اساس مؤثرترین صفات به ترتیب نام گذاری شدند.

جدول ۳- تجزیه به عامل‌ها برای تشخیص عامل‌های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر مقاومت آنتی‌بیوزی پایه‌های امیدبخش سیب نسبت به شته مومی

Table 3. Factors analysis for identification of unobservable effective combined factors on antibiotics resistance of apple rootstocks to woolly aphid

مؤلفه Component	مقادیر ویژه اولیه Initial eigen values			مجموع مجذورات بارها Sums of squared loadings		
	کل Total	درصد واریانس Variance (%)	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	کل Total	درصد واریانس Variance (%)	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance (%)
1	3.930	56.147	56.147	3.329	47.561	47.561
2	1.810	25.858	82.005	2.411	34.444	82.005
3	0.933	13.322	95.327			
4	0.246	3.511	98.839			
5	0.075	1.076	99.915			
6	0.006	0.084	99.999			
7	9.097E-05	0.001	100.000			

جدول ۴- ریشه‌های تجزیه به عامل‌ها پس از چرخش واریماکس برای تشخیص عامل‌های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر مقاومت آنتی‌بیوزی پایه‌های امیدبخش سیب نسبت به شته مومی

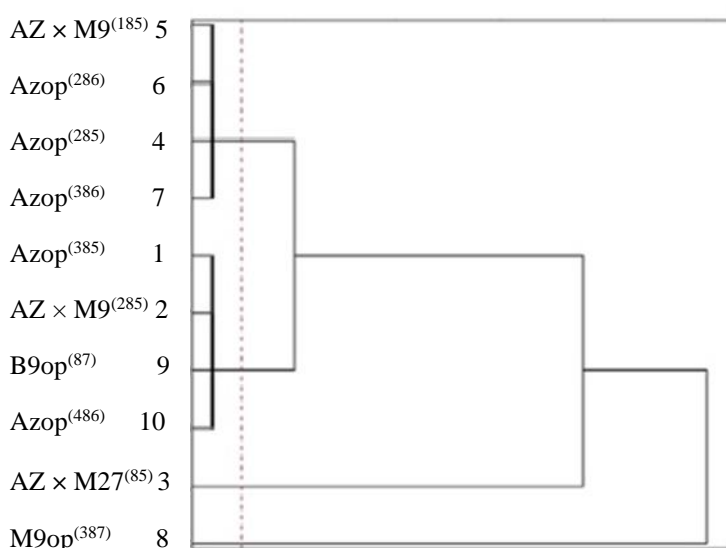
Table 4. Roots of factor analysis after varimax rotation to identify unobservable effective combined factors on antibiotics resistance of apple rootstocks to woolly aphid

Index	شاخص	عامل Component	
		1	2
R	بلومبر	0.608	-0.153
MRCR	نرخ رشد جمعیت	0.685	-0.273
ABI	آنتی‌بیوز	0.892	0.401
PASI	ساختار سنی جمعیت	-0.218	0.967
CAD	شته روز تجمعی	-0.182	0.979
EEP	پتانسیل بوم‌شناختی	0.910	-0.373
St	بقاء	-0.887	0.344

R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP and St represent the relative growth rate, antibiotics, population age structure, cumulative aphid day, ecological exploitation potential and survival, respectively.

برخوردار بودند، مشاهده می شود (جدول ۴). نمودار دندروگرام خوشه بندی برای پایه های سیب براساس عامل های مشاهده ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع سازکار مقاومت آنتی بیوز بر پایه مجموعه شاخص های مشاهده پذیر محاسبه شد (شکل ۳).

در عامل اول پتانسیل بوم شناختی قابل بهره برداری، آنتی بیوز، نرخ رشد جمعیت و بلومبر که در بروز سازکار مقاومت آنتی بیوزی ضرایب مثبت و بزرگ داشتند، وجود دارند (جدول ۴). در عامل دوم شاخص شته روز تجمعی و ساختار سنی جمعیت که از ضرایب مثبت و بزرگ



شکل ۳- دندروگرام برای پایه های سیب براساس شاخص های مقاومت آنتی بیوزی نسبت به شته مومی
Fig. 3. Dendrogram for apple rootstocks based on indices of antibiosis resistance to woolly aphid

و $Azop^{(286)}$ ، $AZ \times M9^{(185)}$ ، $Azop^{(285)}$ قرار گرفتند. این پایه ها از نظر رتبه مقاومت آنتی بیوزی به شته مومی سیب پایین ترین رتبه را داشتند و بنابراین نسبت به شته مومی حساس بودند. میانگین شاخص های بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بوم شناختی قابل بهره برداری و بقاء به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۰۲، ۰/۰۵، ۴۳۹/۳۸ و ۶/۰۹ بود.

در گروه بندی، چهار گروه مجزا بدست آمد. ضریب همبستگی کوفنیتیک بین ماتریس فاصله اقلیدسی و ماتریس خروجی حاصل از دندروگرام به دست آمده از تجزیه خوشه ای برابر با ۰/۸۳ بود که نشان دهنده گروه بندی قابل قبول ارقام از نظر شاخص های مقاومت آنتی بیوزی بود. ارقام مربوط به هر کلاستر در جدول ۵ ارائه شده است. در گروه یک، تعداد چهار پایه سیب بنام های

جدول ۵- گروه‌بندی پایه‌های سیب براساس شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی نسبت به شته مومی

Table 5. Grouping of apple oostocks based on indices of antibiosis resistance to woolly aphid

رتبه آنتی‌بیوزی Antibiosis rank	پایه Rootstock	شاخص Index	میانگین Mean	خطای استاندارد Standard deviation	تعداد معتبر در فهرست Valid number in the list	
					وزنی Weighted	غیر وزنی Unweighted
1.00	Azop ⁽²⁸⁵⁾ AZ × M9 ⁽¹⁸⁵⁾ Azop ⁽²⁸⁶⁾ Azop ⁽³⁸⁶⁾	R	0.7683	a	1	1.000
		MRCR	0.0200	a	1	1.000
		ABI	0.0500	a	1	1.000
		PASI	425.9400	a	1	1.000
		CAD	890.4300	a	1	1.000
		EEP	6.0900	a	1	1.000
		St	439.3800	a	1	1.000
2.00	Azop ⁽³⁸⁵⁾ AZ × M9 ⁽²⁸⁵⁾ B9op ⁽⁸⁷⁾ Azop ⁽⁴⁸⁶⁾	R	6.1268	a	1	1.000
		MRCR	0.0300	a	1	1.000
		ABI	0.0700	a	1	1.000
		PASI	490.0500	a	1	1.000
		CAD	1033.4300	a	1	1.000
		EEP	8.5200	a	1	1.000
		St	167.5700	a	1	1.000
3.00	AZ × M27 ⁽⁸⁵⁾	R	38.4989	20.18	4	4.000
		MRCR	0.0325	0.005	4	4.000
		ABI	0.0700	0.000	4	4.000
		PASI	377.7725	10.11	4	4.000
		CAD	799.8550	19.82	4	4.000
		EEP	9.6400	0.056	4	4.000
		St	117.6775	2.75	4	4.000
4.00	M9op ⁽³⁸⁷⁾	R	23.9022	19.28	10	10.000
		MRCR	0.0310	0.006	10	10.000
		ABI	0.0640	0.007	10	10.000
		PASI	381.4580	46.45	10	10.000
		CAD	801.9130	100.07	10	10.000
		EEP	9.0990	1.114	10	10.000
		St	150.0020	103.411	10	10.000

a: Insufficient data.

a: داده‌ها کافی نبود.

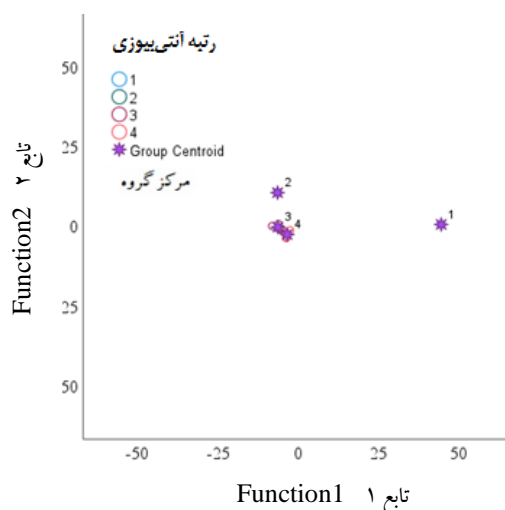
R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP, St و به ترتیب نشان دهنده شاخص‌های بلومبر، سرعت رشد نسبی،

آنتی‌بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بهره برداری بوم شناختی و بقاء می‌باشند.

R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP and St represent the relative growth rate, antibiosis, population age structure, cumulative aphid day, ecological exploitation potential and survival, respectively.

توانست پایه‌های سیب را با احتمال صحت ۸۹/۷ درصد گروه‌بندی کند و تفاوت بین پایه‌ها را نشان دهد (شکل ۴).

بررسی صحت گروه بندی دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از تجزیه تابع تشخیص خطی فیشر نشان داد که معیار وارد



شکل ۴- بررسی دقت گروه بندی پایه‌های سیب بر اساس شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی با استفاده از تجزیه تابع تشخیص کانونی

Fig. 4. Assessment of accuracy of apple ootstocks grouping based on antibiosis resistance indices using canonical discriminant function analysis

ضرایب همبستگی پیرسون برآورد شد (جدول ۶). در میان صفات مورد بررسی شاخص بلومبر، نرخ رشد جمعیت، آنتی‌بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بوم‌شناختی و بقاء به ترتیب دارای بیشترین همبستگی معنی‌دار با میانگین طول ریشه قلمه‌ها، میانگین تعداد خط تولید شده، میانگین تعداد خط تولید شده، میانگین طول ریشه خط، میانگین تعداد خط تولید شده، و میانگین تعداد ریشه‌های مولد پایک بودند (جدول ۶). بنابراین، صفات مورد نظر در بروز مقاومت آنتی‌بیوزی در پایه سیب بیشتر مؤثر بودند.

تابع اول ۹۳/۲ درصد از واریانس را توضیح داد. مقدار لامبدای ویلکس هرچقدر به طرف صفر میل کند نشان دهنده مناسب‌تر بودن تابع در تفکیک گروه‌ها است. تابع اول دارای پایین‌ترین لامبدای ویلکس (۰/۰۰۹) بود و نسبت به تابع دوم مناسب‌تر بود.

اثر صفات مختلف ریشه در بروز مقاومت آنتی‌بیوزی

ارتباط بین صفات ریشه با بروز سازگار مقاومت آنتی‌بیوزی در پایه‌های سیب مطالعه شد. درجه تأثیر صفات مختلف ریشه بر میزان مقاومت از طریق تجزیه همبستگی و محاسبه

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات ریشه پایه‌های سیب و شاخص‌های مقاومت آنتی‌بیوزی نسبت به شته مومی

Table 7. Correlation coefficients between root traits of apple rootstocks and indices of antibiosis resistance to woolly aphid

شاخص Index	صفات ریشه Root traits						
	ANLP	ANRP	ARLL	LLRZ	PRWC	ARLC	ANRC
R	-0.541	0.013	-0.216	-0.568	-0.608	-.766**	-0.521
MRCR	-.702*	0.315	-0.373	0.486	-0.357	0.087	-0.357
ABI	-0.616	-0.217	-0.020	-0.230	-0.208	-0.223	-0.511
PASI	0.502	-0.303	0.573	-0.108	0.288	-0.138	0.410
CAD	-.980**	0.104	-0.422	0.118	-0.150	-0.152	-.667*
EEP	0.104	-0.422	0.118	-0.150	-0.152	-.667*	-0.249
St	-0.159	0.442	-0.217	0.031	0.182	0.590	0.311

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

* and **: Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP and St به ترتیب نشان دهنده شاخص‌های بلومبر، سرعت رشد نسبی، آنتی بیوز، ساختار سنی جمعیت، شته روز تجمعی، پتانسیل بهره برداری بوم شناختی و بقاء می‌باشند.

R, MRCR, ABI, PASI, CAD, EEP and St represent the relative growth rate, antibiosis, population age structure, cumulative aphid day, ecological exploitation potential and survival, respectively.

ANRC و ARLC, PRWC, LLRZ, ARL, ANRP, ANLP ریشه‌های مولد پایک، میانگین طول ریشه خط، طول منطقه ریشه‌زاد، درصد ریشه زایی قلمه‌های چوبی، میانگین طول ریشه قلمه‌ها و میانگین تعداد قلمه‌های ریشه‌دار می‌باشند.

ANLP, ANRP, ARLL, LLRZ, PRWC, ARLC, and ANRC represent the mean number of lines produced, mean number of roots producing pike, mean length of the root of the line, length of the root zone, rooting percentage, mean roots length of cuttings and mean number of rooted cutting, respectively.

عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب (M9, M27, B9) به عنوان والد پدری استفاده شد.

از آنجا که در ژنوتیپ‌های پایه‌های سیب مورد مطالعه با والد پدری گروه M بروز مقاومت آنتی‌بیوزی نسبت به گروه B بالاتر بود و از طرف دیگر نظیر پایه‌های تجاری رویشی سیب مورد مطالعه در برخی مطالعات قبلی، پایه‌های سیب گروه مالینگ سابقه مقاومت به برخی از بیوتیپ‌های شته مومی سیب در آنها وجود داشته است (Timm, 2003). بنابراین، به

مطالعات مشابه پژوهش حاضر نشان داده اند که شیوع خود ناسازگاری و ساختار پیچیده هتروزیگوت سیب مانع از ورود مستقیم به مطالعات ژنتیکی می‌شود و زمان لازم برای ورود از نسلی به نسل دیگر باعث طولانی شدن تحقیقات به نژادی می‌شود. کار گروه‌بندی و تعیین حساسیت یا مصونیت در پایه‌های متعدد سیب مستلزم کار و زمان قابل توجهی است. بنابراین نتایج امیدبخش حاصل از دورگ گیری و گرده‌افشانی آزاد ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی سیب شامل آرایش اصفهان و مربائی مشهد به

مرگ و میر شامل نرخ رشد جمعیت و میانگین فصلی شته روز مؤثر در گروه‌های مقاوم کمتر حساس و نیمه حساس در پایه‌های سیب مورد مطالعه بود. از طرفی با کاهش نرخ استقرار، رشد کلنی شته در پایه‌های دارای رجحان میزبانی کمتر به تاخیر افتاد یا حتی از آن جلوگیری شد. مطالعه نرخ استقرار نسبی شته در مطالعات قبلی (Latifian *et al.*, 2023) با شاخص‌های رشد جمعیت در مطالعه حاضر نیز از این اصل پیروی نموده و در نتیجه ارقام دارای نرخ استقرار نسبی شته پایین‌تر که احتمال مقاومت آنتی‌زنوزی در آنها بالاتر است، سرعت رشد جمعیت شته نیز در آنها کمتر بوده و مقاومت آنتی‌بیوزی مناسب‌تری نشان دادند. در مطالعات سایر پژوهشگران آلل مقاومتی به نام وات (Vat) در خربزه، باروری شته *Aphis gossypii* Glover. را به میزان ۸۰ تا ۹۰ درصد در طی سه روز کاهش داد (Boissot *et al.*, 2016). همچنین ژن ام ای-۱ (Mi-1) در گوجه‌فرنگی باعث مرگ ۱۰۰ درصدی شته سیب‌زمینی *Macrosiphum euphorbiae* Thomas در طول ۱۰ روز شد (Atamian, 2012). مقاومت در پایه‌های سیب MM106 به شته مومی سیب می‌تواند ناشی از غلبه پایه مقاوم بر جمعیت‌های زیاد شته‌ها در پیوندک باشد (Adhikari, 2022). مطالعات انجام شده بر روی سازگاری پایه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر نشان داده است که گسترش رشد طولی ریشه در ژنوتیپ‌های سیب با قدرت

نظر می‌رسد صفت مقاومت آنتی‌بیوزی به لحاظ ژنتیکی از والد پدری به ژنوتیپ‌های سیب مورد مطالعه منتقل شد. در مطالعات مشابه، هیبریدهای حاصل از تلاقی پایه‌های رویشی تجاری M9 و M27 به لحاظ شاخص‌های مقاومت آنتی‌زنوزی نسبت به شته نیز مقاوم تا نیمه مقاوم مومی بودند. این هیبریدها به لحاظ نرخ استقرار نسبی شته نیز از وضعیت مشابهی برخوردار بودند (Latifian *et al.*, 2023).

مقاومت به شته‌ها به ژنوتیپ گیاه میزبان و بیوتیپ شته دارای سازکار متفاوتی است. حشره شناسان دو سازکار مقاومت را که شته‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد متمایز کرده‌اند. مقاومت آنتی‌زنوز (مقاومت غیر رجحانی) بر رفتار شته تأثیر می‌گذارد و از هجوم اولیه به محصول جلوگیری می‌کند. در رابطه با شته مومی ترجیح میزبانی و نرخ استقرار آن روی پایه‌های سیب مورد مطالعه انجام شده است (Latifian *et al.*, 2023). نتایج این پژوهش نشان داده که میانگین نرخ استقرار و شاخص ترجیح شته مومی به ترتیب معادل 0.14 ± 0.02 و 0.06 ± 0.09 بود. حساس‌ترین و مقاوم‌ترین پایه‌های هیبرید به ترتیب Azop3-86 و M9op3 بودند (Latifian *et al.*, 2023).

سازکار دوم آنتی‌بیوز است که بر پتانسیل زیستی شته تأثیر می‌گذارد. این سازکار مقاومت عمدتاً بر کاهش باروری یا افزایش مرگ و میر بر شته‌ها تأثیر می‌گذارد (Goggin, 2007). در این پژوهش نیز شاخص‌های مرتبط با باروری و

گیاه میزبان تضمین کند. شته‌ها برای رسیدن به آوندهای آبکش، باید از نظر فیزیکی و یا شیمیایی بر سامانه های دفاع گیاهی غلبه کنند. با این حال، گیاهان با فعال کردن ژن‌های دفاعی که منجر به تولید موانع فیزیکی و یا ترکیبات سمی شیمیایی (مقاومت مستقیم) می‌شود، به حمله شته‌ها پاسخ می‌دهند (Kumar, 2019).

علاوه بر این، گیاهان مورد حمله می‌توانند با آزادسازی ترکیبات فرار خاص (مقاومت غیرمستقیم) دشمنان طبیعی شته‌ها را جذب کنند. در واکنش به تغذیه شته‌ها، گیاهان تعدادی ترکیبات فرار آزاد می‌کنند که توسط دشمنان طبیعی شته‌ها قابل دریافت است. از آنجایی که گیاهان از این دشمنان طبیعی برای دفاع از خود استفاده می‌کنند، انتشار ترکیبات فرار شبیه به «فریاد زدن یا درخواست کمک» توسط گیاهان است. از این نوع دفاع به عنوان دفاع غیر مستقیم یاد می‌شود (Kumar, 2019).

می‌توان از انواع مختلف سازکار مقاومت برای تقویت کنترل تلفیقی و پایدار شته‌ها استفاده کرد (Guerrieri and Digilio, 2008). غربالگری ژرم پلاسم گیاهان باغی برای مقاومت به شته‌ها منجر به کشف ارقام مقاوم در چندین گونه گیاهی شده است (Mookiah *et al.*, 2021). با این حال، منابع مقاومت به شته‌ها محدود و معمولاً کمیاب است. اغلب، مقاومت به شته‌ها در توده‌های بومی، در توده‌های وحشی یا حتی در سایر گونه‌های نزدیک به گونه‌های باغی شناسایی شده است (Padmanabha *et*

رشد پایه‌ها ارتباط مستقیمی ندارد، اما با گسترش افقی در آن‌ها رابطه عکس داشت (Atashkar *et al.*, 2016). همین خصوصیت توانایی پایه‌های مزبور را برای تحمل جمعیت فعال در نواحی رویشی هوایی افزایش داده است. میانگین طول ریشه بیشترین تأثیر را در تغییرات نرخ استقرار نسبی شته مومی سیب بر روی پایه‌های سیب مورد بررسی داشت (Latifian *et al.*, 2023). در پژوهش حاضر نیز مشخص شد که این صفت اثر معنی‌داری بر شاخص بلومبر و پتانسیل بوم‌شناسی داشت. رابطه این صفت با دو شاخص مزبور معکوس بود و با افزایش آن شاخص بلومبر و پتانسیل بوم‌شناختی کاهش نشان داد و به دنبال آن پتانسیل مقاومت آنتی‌بیوزی در پایه سیب مورد نظر افزایش نشان داد.

مقایسه شاخص‌های جمعیت شناختی از جمله ساختار پراکنش جمعیت و فصلی شته روز مؤثر نشان داد که این شاخص‌ها بر پویایی جمعیت شته بر روی پایه‌های سیب مورد مطالعه تأثیر گذاشتند. حداقل شاخص بلومبر در پایه مقاوم⁽³⁸⁷⁾ M9op معادل ۰/۷۶ و حداکثر آن در پایه حساس⁽²⁸⁵⁾ Azop معادل ۳۴/۱۶ بود. همچنین حداقل شاخص فصلی شته روز مؤثر در پایه مقاوم⁽³⁸⁷⁾ M9op معادل ۰/۰۲ و حداکثر آن در پایه حساس⁽³⁸⁷⁾ Azop معادل ۰/۰۴ بود. سازگاری با گیاهخواری در شته‌ها توسط یک فرایند تولید مثل بسیار انعطاف پذیر تکمیل می‌شود که می‌تواند رشد جمعیت را در روی

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از پشتیبانی و مساعدت مدیریت محترم پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری و کارکنان ایستگاه تحقیقات باغبانی کمال شهر برای مساعدت در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از کارکنان، کارشناسان آزمایشگاه و اعضای هیأت علمی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری که در اجرای این پژوهش و تدوین پیش نویس این نوشتار مساعدت و همفکری کردند، تشکر می‌نمایند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌کنند که هیچ گونه تعارض منافی ندارند.

(al., 2023). در پژوهش حاضر نیز غربالگری پایه‌های امیدبخش سیب که مراحل معرفی آنها به جامعه باغداران در دست اقدام است، برای مقاومت آنتی‌بیوزی به شته مومی سیب انجام شد. تعیین مقاومت به شته مومی سیب یک یافته ارزشمند است و نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در برنامه‌های به نژادی و مدیریت تنوع ارقام سیب در باغ‌های سیب در چشم انداز تولید پایدار این محصول مورد توجه قرار گیرد. برای درک بیشتر مقاومت به شته مومی سیب، پژوهش در خصوص برهمکنش سه گانه شته-گیاه-دشمن طبیعی یا بررسی سازگار درخواست کمک در پایه‌های سیب مورد مطالعه در پژوهش حاضر ضروری است.

References

- Adhikari, U., 2022.** Distribution, biology, nature of damage and management of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann), (Hemiptera: Aphididae) in apple orchard: a review. *Reviews in Food and Agriculture*, 3(2), pp.92-99. DOI: 10.26480/rfna.02.2022.92.99.
- Alspach, P.A. and Bus, V.G., 1999.** Spatial variation of woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum*, Hausmann) in a genetically diverse apple planting. *New Zealand Journal of Ecology*, 23(1), pp.39-44.
- Asante, S.K., 1999.** Seasonal abundance of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) and its important natural enemies in Armidale, northern New South Wales. *Plant Protection Quarterly*, 14, pp.16-23. DOI: 10.1017/S0007485314000753
- Atamian, H.S., 2012.** Tomato-potato aphid interactions: insights into plant defense and the aphid pest. University of California, Riverside, USA. 239 pp.
- Atashkar, D., Pirkhezri, M. and Taghizadeh, A.A., 2016.** Production and primary evaluation of apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. *Iranian Journal of*

- Horticultural Science*, 47(2), pp.229-235. DOI: 10.22059/ijhs.2016.5834.
- Ateyyat, M.A. and Al-Antary, T.M., 2009.** Susceptibility of nine apple cultivars to woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Homoptera: Aphididae) in Jordan. *International Journal of Pest Management*, 55(1), pp.79-84. DOI: 10.1080/09670870802546164
- Bangels, E., Alhmedi, A., Akkermans, W., Bylemans, D. and Belien, T., 2021.** Towards a knowledge-based decision support system for integrated control of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum*, with maximal biological suppression by the parasitoid *Aphelinus mali*. *Insects*, 12(6), 479. DOI: 10.3390/insects12060479
- Bell, R.L., 2015.** Effect of resistant and susceptible East European pears on development and mortality of the pear psylla, *Cacopsylla pyricola* (Förster). *HortScience*, 50(5), pp.661-665. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.5.661
- Beers, E.H., Cockfield, S.D. and Gontijo, L.M., 2010.** Seasonal phenology of woolly apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in Central Washington. *Environmental entomology*, 39(2), pp.286-294. DOI:10.1603/EN09280
- Boissot, N., Schoeny, A. and Vanlerberghe-Masutti, F., 2016.** Vat, an amazing gene conferring resistance to aphids and viruses they carry: from molecular structure to field effects. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1420. DOI:10.3389/fpls.2016.01420
- Bus, V.G.M., Chagné, D., Bassett, H.C.M., Bowatte, D., Calenge, F., Celton, J.M., Durel, C.E., Malone, M.T., Patocchi, A., Ranatunga, A.C. and Rikkerink, E.H.A., 2008.** Genome mapping of three major resistance genes to woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Tree Genetics & Genomes*, 4, pp.223-236. DOI:10.1007/s11295-007-0103-3
- Chen, A., Li, X., Tan, T., Gong, S., Zhao, X., Chen, F. and Zhan, L., 2006.** Biocharacters of woolly apple aphid (WAA, Homoptera: Aphididae) in Zhaotong. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 19(1), pp.81-84.
- Christians, G.E., 2003.** Identification of molecular markers linked to woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausmann) resistance in apple. Ph. D. Thesis. Stellenbosch University. South Africa. 127 pp.
- Cummins, J.N., Forsline, P.L. and Mackenzie, J.D., 1981.** Woolly apple aphid colonization on Malus cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106(1), pp.26-30. DOI:10.21273/JASHS.106.1.26
- Damavandian, M.R., 2000.** Biology of subterranean populations of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* Hausmann) (Homoptera: Aphididae) in apple orchards. Ph. D.

Thesis. Stellenbosch University. South Africa. 138 pp.

- Dean, A.N., Niemi, J.B., Tyndall, J.C., Hodgson, E.W. and O'Neal, M.E., 2021.** Developing a decision-making framework for insect pest management: a case study using *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae). *Pest Management Science*, 77(2), pp.886-894. DOI: 10.1002/ps.6093
- Deng, J., Rui, G., Guan, Y., Yu, Y., Zhang, D. and Hong, J., 1993.** The selection of an apple stock line, Siberian crabapple Jin 67, immune to the woolly apple aphid. *Acta Phytocologica Sinica*, 20(3), pp.217-222.
- Ehteshami-Moinabadi, M., 2022.** Properties of fault zones and their influences on rainfall-induced landslides, examples from Alborz and Zagros ranges. *Environmental Earth Sciences*, 81(5), 168. DOI: 10.1007/s12665-022-10283-2
- Fluke, C.L., 1930.** The influence of resistant apple scions on the susceptibility of non-resistant stocks with relation to woolly Aphid attacks. *Journal of Economic Entomology*, 23(4), pp.741-743. DOI: 10.1093/jee/23.4.741
- Frades, I. and Matthiesen, R., 2010.** Overview on techniques in cluster analysis. *Bioinformatics Methods in Clinical Research*, pp.81-107. DOI: 10.1007/978-1-60327-194-3_5
- Fraley, C. and Raftery, A.E., 2002.** Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 97(458), pp.611-631. DOI: 10.1198/016214502760047131
- Goggin, F.L., 2007.** Plant-aphid interactions: molecular and ecological perspectives. *Current Opinion in Plant Biology*, 10(4), pp.399-408. DOI: 10.1016/j.pbi.2007.06.004
- Gogtay, N.J. and Thatte, U.M., 2017.** Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*, 65(3), pp.78-81.
- Guerrieri, E. and Digilio, M.C., 2008.** Aphid-plant interactions: a review. *Journal of Plant Interactions*, 3(4), pp.223-232. DOI: 10.1080/17429140802567173
- Hamzehzarghani, H., Kushalappa, A.C., Dion, Y., Rioux, S., Comeau, A., Yaylayan, V., Marshall, W.D. and Mather, D.E., 2005.** Metabolic profiling and factor analysis to discriminate quantitative resistance in wheat cultivars against fusarium head blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 66(4), pp.119-133. DOI: 10.1016/j.pmpp.2005.05.005
- Han, Y. and Korban, S.S., 2010.** Strategies for map-based cloning in apple. *Critical Reviews in Plant Science*, 29(5), pp.265-284. DOI: 10.1080/07352689.2010.502075

- Hao, Z., Lingjun, D., Fang-Hao, W. and Hongxu, Z., 2020.** Comparative analysis of stylet penetration behaviors of *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Aphididae) on main apple cultivars in China. *Journal of Economic Entomology*, 113(4), pp.1761-1767. DOI: 10.1093/jee/toaa085
- Hodge, S. and Powell, G., 2008.** Do plant viruses facilitate their aphid vectors by inducing symptoms that alter behavior and performance?. *Environmental Entomology*, 37(6), pp.1573-1581. DOI: 10.1603/0046-225X-37.6.1573.
- Inayatullah, C., Webster, J.A. and Fargo, W.S., 1990.** Index for measuring plant resistance to insects. *Entomologist*, 109(3), pp.146-152.
- Kenis, M., Auger-Rozenberg, M.A., Roques, A., Timms, L., Péré, C., Cock, M.J., Settele, J., Augustin, S. and Lopez-Vaamonde, C., 2009.** Ecological effects of invasive alien insects. *Biological Invasions*, 11, pp.21-45. DOI: 10.1007/s10530-008-9318-y
- Kumar, S., 2019.** Aphid-plant interactions: implications for pest management. Pp.223-232. In: Oliviera, M.T, Candan, F. and Fernandes-Silva (Eds.), *Plant Communities and Their Environment*, 3rd Volume. DOI: 10.5772/intechopen.84302
- Latifian, M., Atashkar, D. and Ghaemi, R., 2023.** Relative establishment rate and host preference of woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* Hausmann, 1802) (Hemiptera: Aphididae) on promising apple hybrid rootstocks. *Journal of Entomological Society of Iran*, 43(3), pp.233-245. DOI: 10.52547/JESI.43.3.4
- Le Roux, V., Dugravot, S., Campan, E., Dubois, F., Vincent, C. and Giordanengo, P., 2014.** Wild solanum resistance to aphids: antixenosis or antibiosis? *Journal of Economic Entomology*, 101(2), pp.584-591. DOI: 10.1093/jee/101.2.584
- Maixner, M., Albert, A. and Johannesen, J., 2014.** Survival relative to new and ancestral host plants, phytoplasma infection, and genetic constitution in host races of a polyphagous insect disease vector. *Ecology and Evolution*, 4(15), pp.3082-3092. DOI: 10.1002/ece3.1158
- Moinina, A., Lahlali, R., MacLean, D. and Boulif, M., 2018.** Farmers' knowledge, perception and practices in apple pest management and climate change in the Fes-meknes region, Morocco. *Horticulturae*, 4(4), 42. DOI: 10.3390/horticulturae4040042
- Mookiah, S., Sivasubramaniam, B., Thangaraj, T. and Govindaraj, S., 2021.** Host plant resistance. *Molecular Approaches for Sustainable Insect Pest Management*, pp.1-56. DOI: 10.1007/978-981-16-3591-5_1

- Osborne, J., 2010.** Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 15(1), 12. DOI: 10.7275/qbpc-gk17
- Padmanabha, K., Choudhary, H., Mishra, G.P., Mandal, B., Solanke, A.U., Mishra, D.C. and Yadav, R.K., 2023.** Identifying new sources of resistance to tomato leaf curl New Delhi virus from Indian melon germplasm by designing an improved method of field screening. *Genetic Resources and Crop Evolution*, pp.1-23. DOI: 10.1007/s10722-023-01744-z
- Preston, A.P., 1966.** Apple rootstock studies: fifteen years' results with Malling-Merton clones. *Journal of Horticultural Science*, 41(4), pp.349-360. DOI: 10.1080/00221589.1966.11514181
- Rhainds, M. and Messing, R.H., 2005.** Spatial and temporal density dependence in a population of melon aphid, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphididae), on established and sentinel taro plants. *Applied Entomology and Zoology*, 40(2), pp.273-282. DOI: 10.1303/aez.2005.273
- Ruiz-Montoya, L., Zúñiga, G., Cisneros, R., Salinas-Moreno, Y., Peña-Martínez, R. and Machkour-M'Rabet, S., 2015.** Phenotypic and genetic variations in obligate parthenogenetic populations of *Eriosoma lanigerum* Hausmann (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical entomology*, 44, pp.534-545. DOI: 10.1007/s13744-015-0318-1
- Russo, N.L., Robinson, T.L., Fazio, G. and Aldwinckle, H.S., 2007.** Field evaluation of 64 apple rootstocks for orchard performance and fire blight resistance. *HortScience*, 42(7), pp.1517-1525. DOI: 10.21273/HORTSCI.42.7.1517
- Sandanayaka, W.R.M., Bus, V.G.M. and Connolly, P., 2005.** Mechanisms of woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] resistance in apple. *Journal of applied entomology*, 129(9-10), pp.534-541. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2005.01004.x
- Timm, A.A.E., 2003.** Genetic diversity of root-infesting woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Hemiptera: Aphididae) populations in the Western Cape Ph. D. Thesis. Stellenbosch University. South Africa. 80 pp.
- Tokunaga, E. and Suzuki, N., 2008.** Colony growth and dispersal in the ant-tended aphid, *Aphis craccivora* Koch, and the non-ant-tended aphid, *Acyrtosiphon pisum* Harris, under the absence of predators and ants. *Population Ecology*, 50, pp.45-52. DOI: 10.1007/s10144-007-0065-1
- Yang, L.L., Wang, B., Shen, J. and Wang, G.R., 2023.** Comparative morphology and

- plant volatile responses of antennal sensilla in *Cinara cedri* (Hemiptera: Lachninae), *Eriosoma lanigerum* (Hemiptera: Eriosomatinae), and *Therioaphis trifolii* (Hemiptera: CalAphidinae). *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 17, 1162349. DOI: 10.3389/fncel.2023.1162349
- Yates, A.D. and Michel, A., 2018.** Mechanisms of Aphid adaptation to host plant resistance. *Current Opinion in Insect Science*, 26, pp.41-49. DOI: 10.1016/j.cois.2018.01.003
- Vergheese, A. and Jayanthi, P.K., 2002.** A technique for quick estimation of aphid numbers in field. *Current Science*, pp.1165-1168.
- Young, E., Rock, G.C., Zeiger, D.C. and Cummins, J.N., 1982.** Infestation of some Malus cultivars by the North Carolina woolly apple aphid biotype. *HortScience*, 17(5), pp.787-788. DOI: 10.21273/HORTSCI.17.5.787
- Zhao, L., He, N., Wang, J., Siddique, K.H., Gao, X. and Zhao, X., 2022.** Plasticity of root traits in a seedling apple intercropping system driven by drought stress on the Loess Plateau of China. *Plant and Soil*, 480(1-2), pp.541-560. DOI: 10.1007/s11104-022-05603-1
- Züst, T. and Agrawal, A.A., 2016.** Mechanisms and evolution of plant resistance to aphids. *Nature Plants*, 2(1), pp.1-9. DOI: 10.1038/nplants.2015.206

RESEARCH ARTICLE

**Antibiosis Resistance Of Promising Apple Rootstocks To Woolly Aphid
[(*Eriosoma lanigerum* (Hausm.))] under Environmental Conditions of Karaj in
Iran**

M. Latifian^{1*}, D. Atashkar² and R. Ghaemi³

1. 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. Assistant Professor, Nematology Research Department, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran.

ABSTRACT

Latifian, M., Atashkar, D. and Ghaemi, R., 2023. Antibiosis resistance of promising apple rootstocks to woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] under environmental conditions of Karaj in Iran. *Seed and Plant*, 39, pp.93-120 (In Persian).

The woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)] is an important pest of apple trees. This research was conducted to evaluate the antibiosis resistance of promising apple rootstocks to this pest during 2019 to 2021. Ten selected rootstocks developed from hybridization and open pollination of two local apple varieties, Azaish Isfahan and Morabaei Mashhad, as the female parents and commercial apple rootstocks including M9, M27, B9 were selected as the male parents. The number of aphid colonies in the root, crown, stem and branch was evaluated. Antibiosis resistance indices including, population growth rate, antibiosis, population age structure, cumulative aphid day, exploitable ecological potential and survival were calculated. The data were analyzed in by complete randomized block design and means were compared with Tukey's test. Principal component analysis order to identify unobservable combined factors affecting the resistance mechanism based on indices. Observable values were calculated and cluster analysis method used to group the rootstocks based on the degree of susceptibility. Based on the results of this research, four apple rootstocks named Azop⁽²⁸⁵⁾, AZ × M9⁽¹⁸⁵⁾, Azop⁽²⁸⁶⁾ and Azop⁽³⁸⁶⁾ were the most susceptible and M9op3 was the most resistant to woolly aphid. Average of population growth rate, antibiosis, age population structure, Aphid day, exploitation ecological potential. and survival indices were 23.90, 0.03, 0.06, 381.46, 801.9, 9.09 and 150.00, respectively. Resistance to apple woolly aphid should be taken into consideration in apple breeding programs and orchard management for sustainable apple production.

Keywords: Aphid, biological susceptibility, population growth, survival, age structure.

Introduction

Woolly apple Aphid [(*Eriosoma lanigerum* (Hausm.)], feed on the bark and roots of the apple tree, weakens it and reduces the growth of the tree organs (Yang *et al.*, 2023). Various apple rootstocks have rich genetic resources of resistance to the woolly apple aphid that enables the development of resistant apple cultivars (Moinina *et al.*, 2018). There is always need to develop and release new resistant cultivars to woolly aphid biotypes (Han and Korban, 2010). Antibiosis is a type of plant resistance that includes at least one plant characteristic that affects the biological indices of the pest (Le Roux *et al.*, 2014). This research was carried out to evaluate the level of antibiosis resistance in promising apple rootstocks against woolly aphid and to determine morphological characteristics of apple rootstocks related to this type of resistance.

Materials and Methods

This research was conducted in the collection orchard of the temperate fruits research center in Kamalshahr of Karaj in Iran during 2019 to 2021. Ten apple rootstocks were selected from the promising progenies developed from hybridization and open pollination of two local apple varieties including Azaish Isfahan and Morabaei Mashhad as female parents and commercial apple rootstocks including M9, M27, B9 as male parents in the apple rootstocks development programs in temperate fruits research center, Horticultural Sciences Research Institute, Karaj, Iran. Samples of apple woolly aphid colonies were taken, every two weeks, from the beginning of April to mid-November. The root, crown, trunk and branch sections of apple rootstocks were evaluated. Antibiosis resistance indices including bloomer (R), population growth rate (MRCR), antibiosis (ABI), population age structure (PASI), cumulative aphid day (CAD), ecological exploitation potential (EEP) and survival (St) were calculated. Vegetative growth traits of apple rootstocks were measured and recorded. Analysis of variance of data was performed as randomized complete block design and means were compared using Tukey test. Factor analysis was used to identify the unobservable combined factors. Cluster analysis was used to group the apple rootstocks, and canonical discriminant function analysis (LDA) was used to evaluate the accuracy of clustering of apple rootstocks using IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 software.

Results and Discussion

Cophenetic correlation coefficients between the Euclidean distance matrix and the dendrogram output matrix obtained from cluster analysis was equal to 0.83 which indicated the acceptable grouping of apple rootstocks using antibiosis resistance indices. Four apple rootstocks; Azop⁽²⁸⁵⁾, AZ × M9⁽¹⁸⁵⁾, Azop⁽²⁸⁶⁾ and Azop⁽³⁸⁶⁾ were the

most susceptible rootstocks to woolly aphid. Average bloomer, population growth rate, antibiosis, population age structure, cumulative day aphid, ecological exploitation potential and survival were 23.90, 0.03, 0.06, 381.46, 9.801, 9.09 and 150, respectively. Comparison of demographic parameters including population age structure index and seasonal index of effective aphid day showed that these indices affect the dynamics of aphid population on apple rootstocks. The minimum value of blumber index in the resistant rootstock, M9op⁽³⁸⁷⁾, was 0.76 and the maximum in the susceptible rootstock Azop⁽²⁸⁵⁾ was 34.16.

The average root length had the greatest effect on the variation in the relative establishment rate of apple woolly aphid (Latifian *et al.*, 2023). These authors reported that this trait had significant effect on the bloomer and ecological exploitation potential indices. The relation between this trait and bloomer and ecological exploitation potential indices was negative, and with increase in root length the bloomer and ecological exploitation potential decreased, therefore, the antibiosis resistance level in the apple rootstocks increased. Antibiosis resistance to woolly aphid is a valuable finding and should be taken into consideration in apple breeding programs and apple orchard management for sustainable apple production.

References

- Han, Y. and Korban, S.S., 2010.** Strategies for map-based cloning in apple. *Critical Reviews in Plant Science*, 29(5), pp.265-284. DOI: 10.1080/07352689.2010.502075
- Latifian, M., Atashkar, D. and Ghaemi, R., 2023.** Relative establishment rate and host preference of woolly apple Aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann, 1802) (Hemiptera: Aphididae) on promising apple hybrid rootstocks. *Journal of Entomological Society of Iran*, 43(3), pp.233-245. DOI: 10.52547/JESI.43.3.4
- Le Roux, V., Dugravot, S., Campan, E., Dubois, F., Vincent, C. and Giordanengo, P., 2014.** Wild Solanum resistance to Aphids: antixenosis or antibiosis?. *Journal of Economic Entomology*, 101(2), pp.584-591. DOI: 10.1093/jee/101.2.584
- Moinina, A., Lahlali, R., MacLean, D. and Boulif, M., 2018.** Farmers' knowledge, perception and practices in apple pest management and climate change in the fes-meknes region, Morocco. *Horticulturae*, 4(4), 42. DOI: 10.3390/horticulturae4040042

*Corresponding author: masoud_latifian@yahoo.com

Tel.: +982636702541

Received: 05 January 2023

Accepted: 16 March 2023