



مروری بر اهداف، برنامه‌ها و پیشرفت‌های در اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران

A Review of Objectives, Programs and Advances in Breeding of Apple Clonal Rootstocks in Iran

داریوش آتشکار^{۱*} , رعنا دستجری^۲، مسعود لطیفیان^۳، قاسم حسنی^۴ و منصوره کشاورزی^۵

- ۱- استادیار، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۲- دانشیار، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۳- استاد، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
- ۴- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران.
- ۵- دانشیار، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳

چکیده

آتشکار، د.، دستجری، ر.، لطیفیان، م.، حسنی، ق. و کشاورزی، م. ۱۴۰۳. مروری بر اهداف، برنامه‌ها و پیشرفت‌های در اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران. نهال و بذر ۴۰: ۳۸۷-۴۲۳

تولید ارقام و پایه‌های جدید محصولات باغبانی با استفاده از روش‌های مختلف اصلاحی شامل شناسایی و جمع‌آوری ژنوتیپ‌های بومی پر محصول و باکیفیت، دورگ‌گیری‌های هدفمند، و همچنین بررسی سازگاری ارقام تجاری آنها امکان‌پذیر است. استفاده از ارقام و پایه‌های جدید سازگار با اقلیم یک منطقه، نقش مهمی را در افزایش کمی و کیفیت محصول ایفا می‌کند. بر این اساس، برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران از سال ۱۳۸۴ آغاز شده است. در این برنامه، ضمن شناسایی و جمع‌آوری بررسی پایه‌های بومی آرایش اصفهان، مربایی مشهد، گمی آلماسی و سیب گل، سازگاری پایه‌های رویشی تجاری سیب نیز ارزیابی شدند. صفات مهم درگزش پایه‌های سیب، شامل قابلیت تکثیر رویشی، استقرار مناسب در خاک، زودباردهی، عملکرد میوه مناسب درختان پیوندی، تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده از جمله بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه، بیماری آتشک، تحمل به آفت شته مومی، تحمل به تنش خشکی و میزان آهک فعال بالا در خاک بوده است. همچنین انجام دورگ‌گیری‌های هدفمند بین پایه‌های رویشی بومی و پایه‌های رویشی تجاری، از دیگر فعالیت‌های انجام‌شده در برنامه اصلاح پایه‌های سیب در ایران بوده است. نتاج حاصل از دورگ‌گیری‌ها و گرده‌افشانی آزاد والدین، به لحاظ صفات مهم درگزش پایه‌های رویشی، غربال شده و پایه‌های امیدبخش سیب در دست معرفی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: سیب، مقاومت به پوسیدگی فیتوفترائی، مقاومت به آتشک، شته مومی، تحمل به تنش خشکی.

تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۲۵۴۱

* نگارنده مسئول: d.atashkar@areeo.ac.ir



2024© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

مقدمه

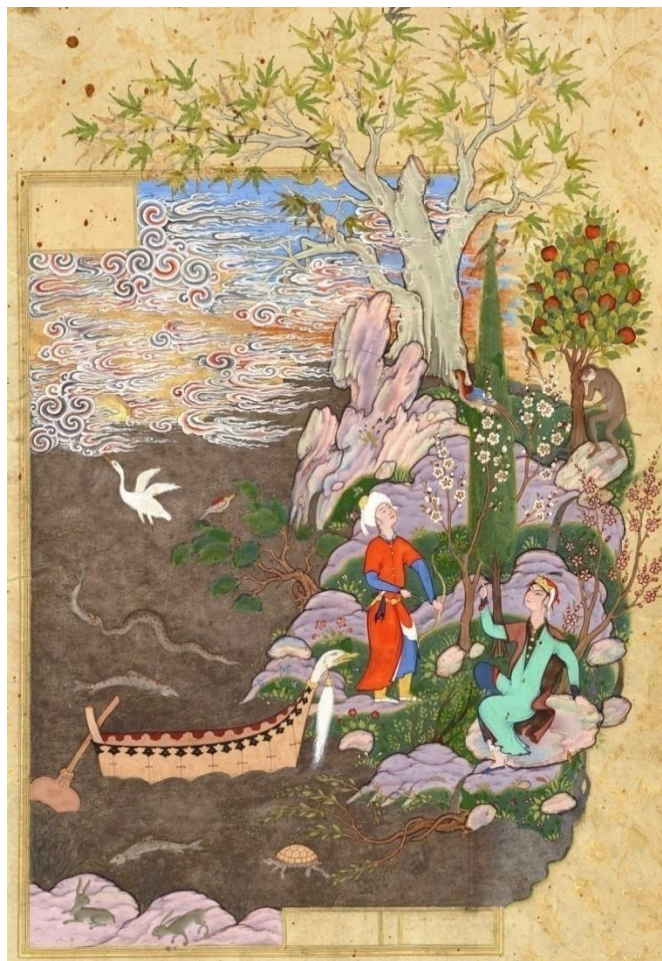
درخت سیب (*Malus domestica* Borkh.) به طور گسترده در سراسر جهان کشت می شود. براساس آمار سازمان خوار و بار جهانی فائو در سال ۲۰۲۴، سطح زیر کشت سیب در جهان حدود ۴/۹۳۰ میلیون هکتار و مجموع تولید آن در حدود ۸۳/۱۴ میلیون تن بود. آسیا، اروپا و آمریکا به عنوان مناطق اصلی تولید این محصول، بیش از ۹۰ درصد تولید سیب جهان را به خود اختصاص دادند (FAO, 2024). ایران نیز با سطح زیر کشت حدود ۲۴۰ هزار هکتار و تولید ۴ میلیون تن محصول سیب، یکی از بزرگترین تولید کنندگان این میوه در جهان به شمار می رود (Anonymous, 2023).

فلات ایران و ایران باستان از قرن ها پیش یکی از مراکز تنوع و اهلی سازی سیب های بومی بوده است. بررسی روند تکامل این درخت نشان دهنده آن است که گونه *M. sieversii* از نواحی آسیای مرکزی به ویژه مناطق جنگلی قزاقستان منشأ گرفته و پس از تلاقی های بین گونه ای، دیگر گونه های این جنس شامل *M. orientalis* و *M. sylvestris*، و در نهایت گونه سیب معمولی یا سیب اهلی متعلق به *M. domestica* در طول جاده ابریشم بوجود آمده است (Cornille et al., 2014; Abdollahi, 2023).

براساس مطالعات انجام گرفته بر روی ژنوم درختان سیب، و با توجه به تنوع موجود در جمعیت *M. orientalis* در نواحی اطراف دریای خزر و جنگل های هیرکانی، فلات ایران و گونه

M. orientalis، به عنوان یک مسیر منشأ گرفته از مسیر اصلی در رابطه با تکامل درخت سیب مطرح شده است. این امر سبب شده تا شماری از ارقام بومی سیب در ایران نظیر انواع گلاب، از نظر خصوصیات درخت، و صفات عطر و طعم، فرم برگ و شاخه، از گونه سیب معمولی (*M. domestica*) متفاوت باشند (Bina et al., 2022). به این ترتیب، ایران نه تنها یکی از مناطق عمده تولید سیب در جهان می باشد، بلکه یکی از رویشگاه های طبیعی، مرکز تنوع و از جمله ی مناطق انتشار اولیه ی سیب در دنیا محسوب می شود (Sabeti, 1994).

تاکنون گونه ها و ارقام متعددی از این محصول در ایران توسط گیاه شناسان، شناسایی و گزارش شده اند (Sabeti, 1994). شماری از مینیاتوری های باستانی به ترسیم درخت سیب به عنوان یکی از گونه های اصلی درختان میوه در باغ های ایران پرداخته اند. در برخی از این مینیاتورها به وضوح وجود انواعی از سیب های پاکوتاه در سرزمین ایران به تصویر کشیده شده است (شکل ۱). سیب های پاکوتاه از زمان های قدیم به صورت خودرو در جنگل های شمال و ارتفاعات استان های آذربایجان غربی، خراسان و اصفهان مشاهده و گزارش شده اند. گیاه شناسان، ایران را به عنوان یکی از مناطق اصلی گسترش سیب های زینتی از جمله گمی آلماسی، آرایش، سیب گل و مربایی معرفی کرده اند. با این همه، در گذشته توجه چندانی به پایه های پاکوتاه رویشی برای تکثیر ارقام سیب نشده است (Manei, 1994).



شکل ۱- مینیاتور کتاب هفت اورنگ عبدالرحمن جامی (۱۴۱۴ تا ۱۴۹۲ میلادی)، نقاشی شده در دوره حکومت صفویه در مکتب خراسان با محتوای "سلامان و ابدال در جزیره خرم آرمیده‌اند". مینیاتور حاوی درخت سیب پاکوتاه است، که نشان‌دهنده سیب‌های اهلی شده از نوع سیب قرمز است

Fig. 1. Miniature from the book *Haft Aurang* (Seven Thrones) by Abdul Rahman Jami (1414-1492 AD), painted during the Safavid period (1556-1565 AD) in the Khorasan School, with the subject of "Salaman and Absal Repose on the Happy Isle". The miniature features a dwarf apple tree, which represents domesticated red apples

مهمی را در رشد و نمو پیوندک، عملکرد و کیفیت میوه، و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی ایفا می‌کند. استفاده از پایه‌های رویشی پاکوتاه‌کننده سیب با هدف افزایش بهره‌وری از منابع آب و خاک، در

نقش پایه و اهمیت اصلاح آن در درختان سیب
درختان سیب عمدتاً به شکل ترکیب پایه و پیوندک تکثیر و کشت و کار می‌شوند. پایه علاوه بر آن که وظایف استقرار درخت در خاک و جذب آب و مواد غذایی را برعهده دارد، نقش

احداث باغ‌های متراکم و نیمه‌متراکم این درخت بسیار ضروری است (Khanizadeh, 2000; Khanizadeh, 2005).

در حال حاضر، کشورهای تولیدکننده سیب در اروپا عمدتاً از پایه‌های پاکوتاه استفاده می‌کنند. انگلستان، فرانسه و هلند، برنامه‌های اصلاحی خود را بر بهبود پایه‌های مورد استفاده فعلی مانند پایه‌های M9 و M26 متمرکز کرده‌اند (Webster and Hollands, 1999). ویژگی‌های باغبانی نظیر سازگاری پیوند، قابلیت تکثیر، پاکوتاه بودن، تأثیر بر رشد پیوندک، عوامل محیطی از قبیل دما، آبیاری، pH و حاصلخیزی خاک، و عوامل بیولوژیکی مثل آفات و بیماری‌های مهم از جمله شاخص‌هایی هستند که پژوهشگران و به‌نژادگران سیب در برنامه‌های اصلاح پایه به آن توجه ویژه‌ای دارند (Warschefsky et al., 2016).

در کشورهای مختلف با توجه به شرایط اقلیمی و خاکی پایه‌های رویشی متفاوتی برای درخت سیب و در سطح باغ‌های تجاری، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کشورهای ایتالیا و دانمارک، عمدتاً پایه‌های سری مالینگ (M) مورد استفاده تولیدکنندگان تجاری سیب می‌باشد. مهمترین اهداف اصلاحی آنها شامل افزایش عملکرد میوه، کارآئی تولید و مقاومت در برابر آفات مهم، بیماری‌ها و خشکی است. همچنین روند اصلاح پایه‌های سیب در سوئد، فنلاند و آلمان، بر استفاده از پایه‌هایی با قدرت رشد مناسب برای خاک‌های مختلف

استوار است (Stehr, 2007). برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب در لهستان، بر بهبود قابلیت تکثیر و قدرت ریشه‌زایی، پاکوتاه‌کنندگی، مقاومت به سرما، سازگاری خوب با پیوندک و همچنین عملکرد میوه بالا متمرکز شده است. کشور روسیه نیز اصلاح پایه‌های رویشی برای سازگاری با شرایط مختلف اقلیمی را از دو ده پیش، در برنامه‌های خود قرار داده است (Sadowski and Hrotko, 1999).

در آمریکای شمالی و کانادا، برنامه‌های اصلاحی پایه‌های سیب، عمدتاً بر افزایش قدرت پاکوتاه‌کنندگی و تحمل به سرما تمرکز دارد. همچنین غربالگری پایه‌های سیب مقاوم به آتشک و پوسیدگی طوقه فیتوفترائی (*Phytophthora cactorum*) در ایالات متحده آمریکا، با موفقیت انجام شده است. پژوهشگران سیب در این کشور، برنامه‌های اصلاحی بلندمدتی را با اهداف قدرت پاکوتاه‌کنندگی، تحمل به عارضه واکشت، تحمل به سرما، مقاومت به ویروس‌ها، زودباردهی و عملکرد میوه بالا در دست اجرا دارند و این برنامه‌ها به صورت پیوسته در حال پیشبرد می‌باشد (Robinson et al., 2003; Wang et al., 2018a).

در کشور نیوزیلند، دور جدیدی از پروژه‌های اصلاح پایه سیب از سال ۱۹۹۳ آغاز شده است. اهداف اصلی این برنامه، بهبود مقاومت پایه پاکوتاه‌کننده M9 و تولید پایه‌های جدید با مقاومت در برابر شته مومی، پوسیدگی طوقه

ناشی از قارچ بیمارگر *P. cactorum* و همچنین بیماری آتشک است. در این برنامه اصلاحی هر ساله، سه تا پنج گروه تلاقی بین سری پایه‌های M9 و CG انجام شده و حدود ده هزار نهال هیبرید تولید می‌شود. علاوه بر این، غربالگری دانهال‌های تولیدی اولیه، با روش‌های پیشرفته انجام شده و صفات مهم با ارزیابی‌های پیوند ارقام روی پایه‌های تولیدی، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Zhang et al., 2016).

کشورهای چین و ژاپن نیز، از کشورهای اصلی اصلاح کننده پایه‌های سیب در آسیا می‌باشند. پیش از این، تولیدکنندگان سیب در کشور ژاپن، عمدتاً از گونه *M. prunifolia* var. Ringo به عنوان پایه استفاده می‌کردند. این گونه سیب از ویژگی‌های خوبی، مانند تکثیر آسان با قلمه، مقاومت در برابر شته مومی و پاکوتاهی نسبی برخوردار است. در پی معرفی پایه‌های سری MM، سری M و در نهایت سری CG، در کشورهای غربی، کشور ژاپن نیز در دهه ۱۹۷۰ با موفقیت پایه‌های سری JM را با ویژگی‌های قابل توجه پاکوتاه‌کنندگی اصلاح و معرفی کرد (Wang, 2008).

در حال حاضر، با توجه به اینکه پوسیدگی طوقه و ریشه به یک عامل اصلی محدود کننده تولید سیب در شمال ژاپن تبدیل شده است، مرکز تحقیقات سیب موسسه ملی تحقیقات میوه ژاپن، اهداف جدیدی مانند مقاومت در برابر قارچ عامل پوسیدگی ریشه (*Helicobasidium*)

(*momp*)، بیماری‌های ویروسی، تحمل به غرقابی و تکثیر آسان را در برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب مد نظر قرار داده است. در کشور چین، به دلیل مناطق وسیع کاشت درخت سیب، شرایط نسبتاً نامناسب باغ‌ها و کاشت رقم فوجی در بیش از ۷۰ درصد از باغ‌ها، مهم‌ترین اهداف اصلاح پایه‌های سیب شامل پاکوتاهی، پیش باری (Early Bearing)، تکثیر آسان، مقاومت در برابر عارضه واکشت (Replanting)، و کارایی بالای جذب و استفاده از مواد مغذی معدنی خاک می‌باشد (Wang et al., 2019).

بررسی سوابق کشت پایه‌های رویشی سیب در ایران، نشان می‌دهد که برخی از این پایه‌ها بیش از ۵۰ سال قبل به صورت منسجم و هدفمند توسط مصطفوی در بخش تحقیقات باغبانی موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر وارد کشور شده و پس از ارزیابی‌های مقدماتی، باغ‌های معدودی با این پایه‌ها به صورت پراکنده در استان‌های خراسان، تهران، اردبیل، آذربایجان غربی و اصفهان، احداث شده است. در سال ۱۳۴۹ باغ دانشکده کشاورزی کرج، در سال ۱۳۵۴ باغ کوثر قزوین، در سال ۱۳۵۶ باغ‌های شرکت کشت و صنعت مغان، در سال ۱۳۵۵ باغ‌های شخصی در اطراف مشهد با استفاده از پایه‌های رویشی احداث شده‌اند.

مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج با وارد نمودن اولین پایه‌های رویشی سیب در سال‌های ۱۳۵۷ و ۱۳۶۵، فعالیت تحقیقاتی خود را در زمینه پایه‌های رویشی سیب در مناطق

کرج، مشهد، و ارومیه آغاز کرد. اگرچه در سالیان اخیر تلاش‌های زیادی جهت توسعه باغ‌های سیب متراکم و نیمه‌متراکم با استفاده از پایه‌های رویشی صورت گرفته است، اما در حال حاضر فقط حدود ۵۰۰۰ هکتار از باغ‌های سیب کشور بر روی انواع پایه‌های رویشی احداث شده است. این میزان نسبت به کل سطح زیر کشت سیب، رقم بسیار پایینی است. دلیل این امر، عدم استقبال از پایه‌های رویشی، و دشواری در تامین نیازهای فیزیولوژیکی این پایه‌ها در شرایط اقلیمی و اقتصادی کشور بوده است (Ghasemi, 2002).

قاسمی (Ghasemi, 2002) نحوه تکثیر رویشی، سازگاری پایه و پیوندک، خصوصیات مورفولوژیک و فنولوژیک دو رقم سیب محلی با نام‌های آرایش و گمی‌آلماسی به همراه پایه‌های رویشی M9، MM106، M26، M27 و B9 و پایه بذری مرسوم سیب را مورد بررسی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که تکثیر این دو پایه بومی از طریق قلمه خشبی مشکل، اما از طریق خوابانیدن کپه‌ای و شیاری امکان‌پذیر است. نتایج این تحقیق در زمینه پاکوتاهی و سازگاری پایه‌های بومی آرایش و گمی‌آلماسی با ارقام مختلف رضایت بخش بود (Ghasemi, 2002). ایشان اثر دو پایه محلی آرایش و گمی‌آلماسی همراه با پایه‌های MM106 و M9 روی ارقام سیب رد دلشز، گلدن دلشز، فوجی و گالا را نیز مورد ارزیابی قرار داد. براساس نتایج به دست آمده، پایه‌های آرایش و

گمی‌آلماسی دارای خاصیت پاکوتاه کنندگی و تولید محصول در سطح پایه اصلاح شده M9 بودند.

در یک بررسی دیگر، علیزاده (Alizadeh, 2004)، به منظور انتخاب مناسب‌ترین پایه رویشی پاکوتاه جهت ارقام تجارتي سیب شامل ارقام سیب گلاب، ترکمان، گرانی اسمیت و گلدن دلشز در منطقه ارومیه، اقدام به بررسی پایه‌های گمی‌آلماسی، M9، M26، M27 و MM106 نمود. نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین عملکرد میوه مربوط به ترکیب پیوندی سیب گلاب بر روی پایه محلی گمی‌آلماسی بود. از نظر سازگاری پایه . پیوندک نیز، رقم گلدن دلشز بر روی پایه M27 و رقم گرانی اسمیت بر روی پایه M9 سازگاری خوبی را نشان دادند. کمترین ارتفاع درختان مربوط به رقم سیب گلاب بر روی پایه MM106 و رقم تجاری گلدن دلشز بر روی پایه گمی‌آلماسی بود (Alizadeh, 2004). این تحقیقات نشان داد که پایه‌های محلی پاکوتاه آرایش و گمی‌آلماسی می‌توانند به عنوان پایه پاکوتاه محلی جهت تکثیر ارقام سیب و احداث باغ‌های متراکم مورد استفاده قرار گیرند. در استان خراسان نیز، تحقیقاتی در زمینه امکان استفاده از ارقام محلی مربائی، سیب گل و آرایش به عنوان پایه انجام شده است.

شکوریان (Shakoriyan, 1992) ارقام سیب رد دلشز و گلدن دلشز را روی پایه محلی گمی‌آلماسی پیوند کرد و ضمن بررسی

سازگاری، اثر پاکوتاهی و خودگشنی آنها را مورد مطالعه قرار داد. نتایج مطالعات داوودی و مجیدی (Davoudi and Majidi, 1999) در بررسی مقاومت ۱۰۰ رقم سیب به آتشک، بیانگر آن است که رقم مربایی مشهد با پایین‌ترین شاخص حساسیت، مقاوم‌ترین رقم سیب به بیماری آتشک می‌باشد که با توجه به پاکوتاهی قابل توجه، دارای قابلیت استفاده در برنامه‌های اصلاح پایه در سیب است.

خاک اغلب مناطق پرورش سیب در ایران دارای آهک فعال زیاد بوده و در زمره خاک‌های خشک قابل طبقه‌بندی است. بر این اساس، زردبرگی یا کلروز ناشی از کمبود آهن در چنین خاک‌هایی، از عارضه‌های بسیار شایع مناطق سیب‌کاری ایران محسوب می‌شود. بنابراین، استفاده از پایه‌های متحمل تنها و اقتصادی‌ترین راهکار برای کاهش آثار این شرایط نامناسب در مناطق کشت و پرورش سیب در کشور می‌باشد (Moffat et al., 1990). کاشت پایه‌های رویشی خارجی که در شرایط ویژه‌ای اصلاح و گزینش شده‌اند، در باغ‌های ایران مشکلاتی را به همراه داشته است. از این رو، استفاده از پایه‌های پاکوتاه بومی یا نتاج حاصل از آنها می‌تواند سازگاری بهتری را در مناطقی با خاک‌های آهکی داشته باشد (Atashkar, 2016). در همین راستا، بررسی دانهال‌های سیب بومی برای دستیابی به پایه سیب متحمل به کلروز نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل مربوط به ژنوتیپ مربائی شماره ۵۹ و

کمترین مقدار آن به ژنوتیپ عباسی شماره ۱۸۶ اختصاص داشت (Zinanlo et al, 2008). در بسیاری از کشورهای تولید کننده میوه سیب در دنیا، برنامه‌های دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی و پایه‌های بین‌المللی سیب اجرا شده و پایه‌های متناسب با اقلیم هر منطقه به دست آمده است (Khanizadeh, 2005). در کشور ایران نیز به منظور دستیابی به پایه‌های رویشی سیب که سازگاری خوبی با شرایط خاک منطقه کاشت داشته باشند، تلاقی‌های هدفمندی بین ژنوتیپ‌های سیب پاکوتاه بومی شامل آرایش اصفهان (شناخته شده به نام سیب یتیمی در منطقه اصفهان) و مربایی مشهد به عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی M9، M27 و B9 به عنوان والد پدری، از سال ۱۳۸۴ لغایت سال ۱۳۸۷ انجام شده است. در این برنامه، جمعیتی بالغ بر ۴۰۰۰ دانهال حاصل از تلاقی و گرده‌افشانی آزاد والدین به مرحله ارزیابی رسید و مطالعات بر روی آنها تا به امروز ادامه دارد (Atashkar, 2016).

صفات مهم در اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران

گزینش برای سهل ریشه‌زائی و قابلیت تکثیر رویشی

یکی از مهمترین ویژگی‌های گزینش در برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب، قابلیت تکثیر رویشی آنها است، به گونه‌ای که حتی ژنوتیپ‌های انتخابی مقاوم به

تنش‌های مختلف، چنانچه از قابلیت تکثیر رویشی برخوردار نباشند، در همان مرحله اول، غربال و حذف می‌شوند. اولین مرحله غربال پایه‌های دورگ سیب، بررسی قابلیت ریشه‌زایی آنها است (Univer, 2000). توانایی ریشه‌زایی در پایه‌های سیب یک ویژگی چند ژنی مغلوب است. از جمله عوامل موثر بر ریشه‌زایی قلمه خشبی می‌توان به نوع رقم یا ژنوتیپ، عمر منبع تامین قلمه، طول و قطر قلمه، زمان قلمه‌گیری، بستر پاگرما، نوع و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد ریشه‌زایی به کار رفته، اشاره کرد (Soejima, 1996).

در بیشتر برنامه‌های به‌نژادی پایه‌های رویشی، قابلیت ریشه‌زایی ژنوتیپ‌های امیدبخش با استفاده از روش‌های ریشه‌زایی قلمه جوانه برگ در شرایط مه‌افشانی، ارزیابی مقدار فیبر موجود در آوندهای آبکشی شاخه، خوابانیدن پایک‌های دوساله درون ماسه مرطوب و تولید ریشه‌های نابجا، خوابانیدن کپه‌ای نتاج دوساله و قلمه چوب سخت، ارزیابی می‌شوند (Fisher, 1996). وجود ریشه‌های نابجا با گره‌های ریشه‌زا (بورنات)، بیانگر قابلیت تکثیر آسان ژنوتیپ‌های انتخابی است (James and Aldwinckle, 1983).

در ایران برنامه‌های اصلاح پایه‌های رویشی سیب با گزینش ۲۴۵ پایه که تکثیر رویشی آنها در شرایط خوابانیدن کپه‌ای آسان است، انجام شده و این برنامه‌ها همچنان ادامه دارد.

علاوه بر این، دانهال‌های حاصل از گرده‌افشانی آزاد رقم آرایش اصفهان در مقایسه با رقم مربایی مشهد، ویژگی‌های برتری برای انتخاب پایه از خود نشان داده‌اند. الگوی ریشه‌زایی نتاج در ترکیبات مختلف والدین نیز تفاوت‌های زیادی را نشان داده‌اند، به طوری که تعداد ریشه‌های عمیق نسبت به ریشه‌های افشان در نتاج ارقام ایرانی بیشتر از پایه‌های خارجی بود. این خصوصیت بر استقرار مناسب پایه در خاک و مقاومت به تنش خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است (شکل ۲). آزمون قدرت ریشه‌زایی قلمه‌های خشبی ۲۴۵ ژنوتیپ گزینش‌شده از مرحله مقدماتی در شرایط گلخانه (شکل ۳)، منجر به انتخاب ۲۷ ژنوتیپ با قدرت ریشه‌زایی مطلوب و حذف سایر نتاج سخت ریشه‌زا شد (Atashkar, 2016). مطالعات تکمیلی بر روی این پایه‌های امیدبخش همچنان در برنامه بلند مدت اصلاح پایه‌های سیب ایران، ادامه دارد.

در بیشتر برنامه‌های به‌نژادی پایه‌های رویشی، قابلیت ریشه‌زایی ژنوتیپ‌های امیدبخش با استفاده از روش‌های ریشه‌زایی قلمه جوانه برگ در شرایط مه‌افشانی، ارزیابی مقدار فیبر موجود در آوندهای آبکشی شاخه، خوابانیدن پایک‌های دوساله درون ماسه مرطوب و تولید ریشه‌های نابجا، خوابانیدن کپه‌ای نتاج دوساله و قلمه چوب سخت، ارزیابی می‌شوند (Fisher, 1996). وجود ریشه‌های نابجا با گره‌های ریشه‌زا (بورنات)، بیانگر قابلیت تکثیر آسان ژنوتیپ‌های انتخابی است (James and Aldwinckle, 1983).

در ایران برنامه‌های اصلاح پایه‌های رویشی سیب با گزینش ۲۴۵ پایه که تکثیر رویشی آنها در شرایط خوابانیدن کپه‌ای آسان است، انجام شده و این برنامه‌ها همچنان ادامه دارد.

در ایران برنامه‌های اصلاح پایه‌های رویشی سیب با گزینش ۲۴۵ پایه که تکثیر رویشی آنها در شرایط خوابانیدن کپه‌ای آسان است، انجام شده و این برنامه‌ها همچنان ادامه دارد.



شکل ۲- ریشه‌زائی نتاج حاصل از دورگ‌گیری بین ژنوتیپ‌های بومی و پایه‌های خارجی سیب به روش خوابانیدن کپه‌ای در ایستگاه تحقیقات باغبانی کمال‌شهر، کرج، در تابستان ۱۳۸۵

Fig. 2. Rooting of progenies of crosses between the native apple genotypes and introduced rootstocks using the mound layering method at the horticultural research station, Kamalshahr, Karaj, Iran, in Summer 2006



شکل ۳- مقایسه ریشه‌زائی قلمه خشبی پایه هیبرید سیب آرایش اصفهان $M9 \times$ با پایه شاهد MM111 در ایستگاه تحقیقات باغبانی کمال‌شهر، کرج، سال ۱۳۹۴ که بیانگر قدرت ریشه‌زائی بسیار بالاتر هیبرید است

Fig. 3. Rooting comparison of woody cuttings of apple hybrid rootstock, Azayesh Isfahan $\times$ M9 with MM111 as control at the horticultural research station, Kamalshahr, Karaj, Iran, 2015, which shows high rooting potential of hybrid rootstock

می‌کند. موفقیت ریزازدیادی با استفاده از کشت جوانه‌های انتهایی یا قطعات شاخه، تحت تأثیر عوامل داخلی و خارجی متعددی از جمله شرایط مواد گیاهی مانند ژنوتیپ و وضعیت

گزینش برای قابلیت ریزازدیادی

ریز ازدیادی درختان سیب ضمن کمک به تکثیر سریع ارقام و پایه‌های مطلوب، نقش مهمی را در تولید گیاهان سالم و عاری از بیماری ایفا

فیزیولوژیکی و آزمایشگاهی مانند اجزای محیط کشت و نور قرار دارد. الزامات خاص در طول مراحل ریزازدیادی، شامل ایجاد محیط استقرار، پرآوری شاخه‌ها، ریشه‌زایی و سازگاری است. پژوهشگران رویکردهای جدیدی برای الزامات خاص در مراحل ریزازدیادی شامل ایجاد محیط استقرار، پرآوری شاخه‌ها، ریشه‌زایی و سازگاری سیب و استفاده از گیاهچه‌های ریزازدیادی شده به عنوان ابزاری در تحقیقات را مورد بررسی قرار داده‌اند (Wang et al., 2019). موفقیت در تجاری سازی یک پروتوکل ریزازدیادی به نحوه و سرعت پرآوری پایه سیب مورد بررسی بستگی دارد.

اثر ژنوتیپ پایه بر پرآوری شاخساره‌های (Shootlets) سیب توسط پژوهشگران مختلف تشریح شده است. آزمایش پرآوری بر روی دو پایه بومی سیب آرایش اصفهان و مربایی مشهد نشان داد که پایه آرایش باتولید میانگین ۵/۱۱ شاخه‌چه درون شیشه، بیشترین و پایه مربایی مشهد با تولید ۲/۲ شاخه‌چه درون شیشه از کمترین میزان شاخه‌زایی برخوردار می‌باشند (Ghanbari et al., 2012). در بررسی دیگری روی قدرت تکثیر درون شیشه پایه‌های بومی سیب، روستایی و همکاران (Roostaei et al., 2007) بهینه‌سازی باززایی درون شیشه‌ای پایه بومی پاکوتاه سیب گمی آلماسی را از طریق اندام‌زایی مستقیم از بافت برگ‌های کشت بافتی گزارش کردند. محیط کشت MS حاوی ۷/۵ میلی گرم در لیتر تنظیم کننده رشد بنزیل

آمینو پورین و ۲ میلی گرم در لیتر اسید نفتالین استیک (NAA)، برای باززایی به عنوان مناسب‌ترین محیط گزارش شد. مطالعه پرآوری شاخساره درون شیشه چهار پایه سیب M9، M26، M27 و Macspur نشان داد که واکنش این پایه‌ها به غلظت سایتوکینین ۶-بنزیل آمینوپورین (BA) در محیط کشت، بسیار متفاوت است.

وبستر و جونز (Webster and Jones, 1991)، اختلاف در تولید شاخساره‌های چهار پایه سیب را گزارش کردند. در این بررسی، تولید شاخه‌چه‌های درون شیشه در پایه‌های رویشی P22 و Ottawa3، به سهولت انجام شد. هرچند این موضوع برای پایه‌های P2 و B9 با دشواری بیشتری گزارش شده است، لیکن با افزایش غلظت تنظیم کننده رشد بنزیل آمینو پورین از یک به دو میلی گرم بر لیتر، شاخه‌زایی این دو پایه نیز بهبود معنی داری نشان دادند (Roostaei et al., 2007). در پژوهشی دیگر روی قابلیت تکثیر درون شیشه ژنوتیپ پایه‌ای امیدبخش حاصل از برنامه به‌نژادی پایه‌های سیب کشور، سه پایه جدید M27OP، AZ×M9 و AZ×M27، تحت تاثیر غلظت‌های مختلف ۱/۵، ۲ و ۲/۵ میلی گرم در لیتر تنظیم کننده رشد بنزیل آمینو پورین ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که بیشترین تعداد شاخه‌چه درون شیشه در غلظت ۱/۵ میلی گرم در لیتر و در ژنوتیپ پایه‌های حاصل از گرده‌افشانی آزاد پایه M27 به دست آمد. همچنین با افزایش غلظت تنظیم کننده رشد بنزیل آمینو پورین، پدیده

شیشه‌ای شدن اتفاق افتاد (Haqgoo *et al.*, 2012).

در یک بررسی تکمیلی روی نتاج گزینش شده برنامه اصلاح پایه‌های سیب در ایران، قابلیت ریزازدیادی چهار پایه امیدبخش سیب AR4، AR8، AR10 و AR11 همراه با پایه آرایش اصفهان با دو عامل نوع محیط و نوع پایه بررسی شد (Atashkar *et al.*, 2023). نتایج به دست آمده نشان داد که ریزنمونه‌های تهیه شده در طول بهار و تابستان به دلیل فنل بالا، استقرار مناسبی روی محیط کشت MS نداشتند، اما نمونه‌گیری در فصل پاییز و استفاده از محیط کشت MS با نصف غلظت حاوی PVP، باعث جوانه‌زنی مطلوب ریزنمونه‌ها و استقرار مناسب آنها در محیط کشت شد.

بر اساس نتایج حاصل از تکثیر درون شیشه پایه‌های رویشی سیب، یکی از شاخص‌های موفقیت یک پروتوکل تجاری و موثر، به تعداد شاخه‌چه‌های استاندارد و سالم تولیدشده در محیط درون شیشه‌ای بستگی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که تعداد شاخه‌های تولیدشده نیز به نوع ژنوتیپ پایه و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد تا حد زیادی وابسته است. بیشترین شاخه تولیدی مربوط به ژنوتیپ پایه هیبرید AR11 و کمترین شاخه مربوط به ژنوتیپ پایه آرایش اصفهان، بود (Atashkar *et al.*, 2023).

آتشکار و همکاران (Atashkar *et al.*, 2023) نشان دادند که با افزایش تعداد شاخه‌چه‌های تولیدی پایه‌های امیدبخش سیب در محیط کشت درون

شیشه، طول، وزن تر و خشک آنها کاهش یافت. همین طور با افزایش غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد مورد استفاده برای شاخه‌زایی، تعداد و طول شاخه‌های تولید شده کاهش یافت. پایه‌های آزمایش شده تحت غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده‌های رشد، واکنش‌های مختلفی نشان دادند (شکل ۴).

واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ پایه‌های سیب نسبت به غلظت‌های مختلف تنظیم‌کننده رشد BAP، ممکن است در ارتباط با تفاوت در میزان هورمون‌های سیتوکین درونی بافت‌ها یا سایر مواد تنظیم‌کننده رشد و یا به علت اختلاف در جذب سیتوکین از محیط کشت باشد. ریشه‌زایی شاخساره در کشت درون شیشه‌ای نیز تحت تأثیر ژنوتیپ پایه، نوع و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد ریشه‌زایی قرار دارد. بیشترین تعداد، وزن تر و خشک ریشه مربوط به ژنوتیپ پایه هیبرید AR10 و AR11 بود. همچنین کمترین و کوتاه‌ترین ریشه به ژنوتیپ پایه AR8 اختصاص داشت. نوع و غلظت تنظیم‌کننده‌های رشد ریشه‌زایی بر تعداد و طول ریشه‌های تولید شده نیز موثر بود (Atashkar *et al.*, 2023). تیمار دو میلی گرم در لیتر اسید نفتالین استیک بیش‌ترین و تیمار ۱ میلی گرم در لیتر اسید ایندول بوتیریک (IBA)، کم‌ترین تعداد ریشه را تولید نمودند. در بین ژنوتیپ‌های امید بخش حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های سیب، ژنوتیپ‌های امیدبخش AR10 و AR11 با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر بنزیل آمینو پورین و ۲ میلی گرم در لیتر اسید

نفتالین استیک نسبت به سایر ژنوتیپ را نشان دادند (Atashkar *et al.*, 2023)
پایه‌ها، شاخه‌زایی و ریشه‌زایی بهتری (شکل ۵).



شکل ۴-مقایسه تعداد شاخه‌چه درون شیشه در پایه آرایش اصفهان با تیمار تنظیم کننده رشد در سطح ۰/۵ میلی گرم در لیتر BAP (راست)، و پایه امیدبخش هیبرید AR10 با تیمار تنظیم کننده رشد در سطح ۰/۵ میلی گرم در لیتر BAP (چپ)

Fig. 4. Comparison of the number of *in vitro* shootlets between Azayesh Isfahan rootstock with growth regulator at the 0.5 mg l⁻¹ BAP level (right), and the promising hybrid rootstock AR10 with growth regulator at the 0.5 mg l⁻¹ BAP level (left)



شکل ۵-مقایسه ریشه‌زایی مطلوب پایه هیبرید M9 × مربایی با تنظیم کننده رشد در سطح دو میلی گرم در لیتر NAA (راست)، و عدم ریشه‌زایی پایه هیبرید B9 × آرایش با تنظیم کننده رشد در سطح یک میلی گرم در لیتر IBA (چپ)

Fig. 5. Comparison of desirable rooting in hybrid rootstock M9 × Morabaei and growth regulator at the 2 mg l⁻¹ NAA level (right), and lack of rooting in hybrid rootstock B9 × Azayesh at the 1 mg l⁻¹ IBA level (left)

خاک زهکشی مناسبی ندارد، سبب مرگ درختان کاملاً بزرگ می‌شود. هر چند کنترل شیمیایی بیماری تا حدودی امکان‌پذیر است، لیکن کاربرد سموم شیمیایی ضمن بالا بردن هزینه‌های تولید،

گزینش برای مقاومت به بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه
بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه درختان سیب ناشی از *P. cactorum* مخصوصاً در مناطقی که

مشکلات زیست محیطی را نیز در پی دارد. پرورش و کاشت مواد گیاهی آلوده در نهالستان‌ها، تنش‌های غیرزیستی نظیر خاک‌هایی با زهکشی نامناسب و نیز غرقاب نمودن طوقه درختان، عدم رعایت بهداشت زراعی، مدیریت نامناسب باغ و نادیده گرفتن مشکل بیماری توسط باغداران و تولیدکنندگان از جمله عوامل موثر در همه‌گیری بیماری در یک منطقه محسوب می‌شوند (Sri and Mutia Erti., 2018; Grigel et al., 2019; Fazio et al., 2022). از این رو، محققان برای مدیریت موثر بیماری در یک سامانه کنترل تلفیقی، تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه ارزیابی و انتخاب پایه‌های مقاوم در برابر این بیماری انجام داده‌اند. بر اساس پروتکل اصلاح پایه‌های رویشی در دانشگاه کرنل، غربال جمعیت نتاج حاصل از دورگ گیری در پایه‌های رویشی سیب نسبت به بیماری فیتوفترا، از مهمترین مراحل اصلاح پایه‌های رویشی محسوب می‌شود (Fazio et al., 2022). در ایران نیز بررسی پایه‌های رویشی سیب برای مقاومت به بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه، در برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب مد نظر قرار گرفته و بررسی شده است (Dastjerdi and Damyar, 2010). دستجردی و همکاران (Dastjerdi et al., 2014) در بررسی مقاومت نسبی یازده پایه رویشی سیب به بیماری پوسیدگی طوقه، پایه MM106 را با میانگین ۸۹/۴ درصد حلقه‌برداری طوقه و حدود ۸۳ درصد مرگ و میر به عنوان حساس‌ترین، پایه‌های M9، آرایش و CK1 را مقاوم، و پایه MM111 را نیمه‌حساس معرفی کردند. بررسی مقاومت پایه‌های

تجاری MM106، M9 و M26 و همچنین ارقام بومی آرایش اصفهان و مربایی مشهد، و نیز پنج هیبرید حاصل از تلاقی رقم مربائی × پایه M9، تحت عنوان H1 تا H5 به بیماری فیتوفترا در شرایط درون‌شیشه، نشان داد که ژنوتیپ H5 با میانگین ۲۳/۶۵ میلی‌متر طول نکروز از حساسیت بالا و ژنوتیپ H1 با میانگین ۵/۳۲ میلی‌متر طول نکروز از مقاومت قابل قبولی در برابر این بیماری برخوردار بودند (Khatami et al., 2014).

پایه‌های سیب منتخب ایرانی مربائی از دو مبدا مختلف کمال‌آباد و استان اصفهان، زینتی، آرایش و نورثرن اسپای وارداتی که به عنوان حامل ژن مقاومت به *Phytophthora cactorum* عامل بیماری پوسیدگی طوقه شناخته می‌شوند، انتخاب شدند. علاوه بر پایه نورثرن اسپای، نهال‌های جوان حاصل از پنج گروه از بذرها حاصل از گرده افشانی باز که از پایه‌های سیب پاکوتاه منتخب جمع‌آوری شدند، برای تحمل درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای به *P. cactorum* ارزیابی شدند. دانهال‌های جوان پس از مایه‌زنی با *Phytophthora cactorum* در گلخانه ترموستاتیک با دمای 20 ± 1 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی بالا (بیش از ۹۰ درصد) نگهداری شدند. نتایج نشان داد که نتاج رقم زینتی در مقایسه با نتاج سایر ارقام، حداکثر کوتولگی را نشان دادند. همزمان، آنها تحمل بالایی هم به پوسیدگی طوقه و هم به حملات سفیدک پودری نشان دادند (Hajnajari et al., 2012).

می کند (Dastjerdi et al., 2014).

گزینش برای تحمل به تنش خشکی

تنش خشکی یکی از مهمترین تنش های غیرزنده است که گیاهان در طول دوران رشد و نمو با آن مواجه می شوند (Shan et al., 2014). بررسی پاسخ گیاهان به تنش خشکی با استفاده از شاخص های فیزیولوژیک همواره مورد توجه به نژادگران درختان میوه بوده است (Wahid and Rasul, 2005). بهبود ویژگی های خزانه ای، باغی و تحمل به تنش های زنده و غیرزنده از مهمترین اهداف در برنامه های اصلاح پایه های رویشی سیب است (Lichtenthaler and Buschmann, 2001).

شناخت سازکارهای تحمل برای گزینش پایه های سیب متحمل به تنش خشکی از اهمیت فراوانی برخوردار است (Wang et al., 2012; Ii, 2012; Ma and Sho, 2012). مطالعات نشان داده است که استفاده از ژنوتیپ های پاکوتاه بومی و یا نتاج حاصل از آنها، سازگاری بهتری با خاک های خشک مناطق پرورش سیب در ایران دارند (Atashkar, 2016). همچنین براساس تحقیقات انجام شده، تحمل به تنش خشکی خصوصیتی است که می تواند از پایه به پیوندک منتقل شود (Fernandez et al., 1997). پیوند ارقام تجاری سیب بر روی پایه های متحمل به تنش خشکی باعث افزایش مقاومت و عملکرد درختان در طول مدت تنش و افزایش کارایی مصرف آب می شود (Sircelj et al., 2007). تنش خشکی به واسطه کاهش فرآیند فتوسنتز، کاهش سطح برگ

براساس نتایج، یک پژوهش برای بررسی واکنش ده پایه امیدبخش سیب به عامل بیماری پوسیدگی ریشه در شرایط گلخانه، ژنوتیپ پایه های B9op⁽⁸⁷⁾ و AZop⁽⁴⁸⁶⁾ به ترتیب با میانگین ۴۱/۳ و ۳۲/۷ درصد، بالاترین میزان پوسیدگی ریشه را پس از پایه رویشی شناخته شده MM106 به خود اختصاص دادند. بیشترین درصد پوسیدگی طوقه، مربوط به پایه استاندارد MM106 بود، و پس از آن پایه های B9op⁽⁸⁷⁾ و M9op⁽³⁸⁷⁾ قرار داشتند (Dastjerdi et al., 2014). بالاترین درصد حلقه برداری طوقه نیز پس از MM106، در پایه های M9op⁽³⁸⁷⁾ و B9op⁽³⁸⁷⁾ اندازه گیری شد.

ژنوتیپ پایه های AZop⁽²⁸⁶⁾ و AZop⁽⁴⁸⁶⁾ به ترتیب با شاخص حلقه برداری ۰/۳۴ و ۰/۵۰ نسبت به پایه M9 (با شاخص حلقه برداری ۰/۶۷) خسارت کمتری را نشان دادند (Dastjerdi et al., 2014). به طور کلی حساسیت قابل توجه و مرگ و میر بالای درختان سیب پیوند شده روی پایه MM106 یکی از دلایل کاهش مطلوبیت این پایه در مناطق کشت و پرورش سیب در کشور است. اگرچه با رعایت جنبه های بهداشتی و جلوگیری از تماس آب با طوقه و عملیات پیشگیرانه نظیر استفاده از سموم مسی، نه تنها بروز بیماری پوسیدگی طوقه فیتوفترائی روی پایه هایی نظیر MM106 تا حد زیادی محدود خواهد شد، بلکه به تولید کنندگان امکان استفاده از این پایه را با وجود حساسیت نسبی به بیماری پوسیدگی، تا حد قابل توجهی میسر

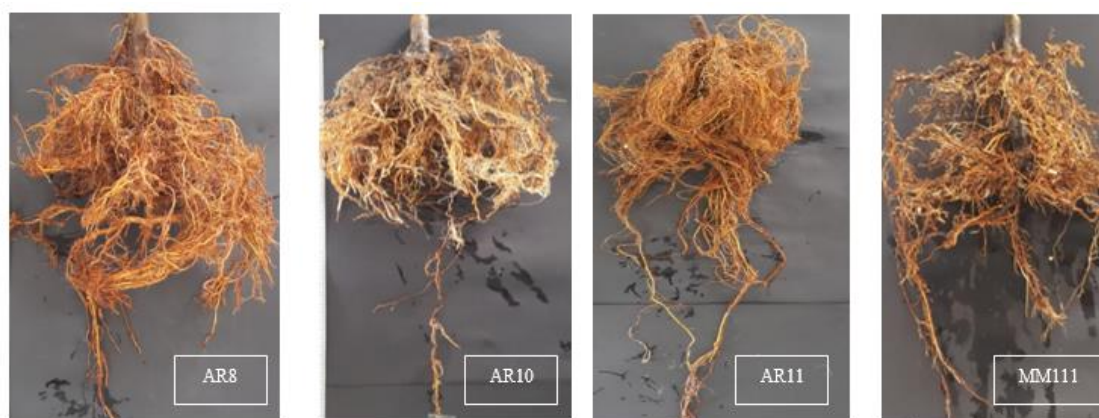
محتوای نسبی آب برگ در پایه‌های متحمل به تنش خشکی، علیرغم داشتن تعرق بیشتر، به میزان کمتری کاهش یافت. همین امر سبب بهبود آماس برگ و شاخص‌های فتوسنتزی در این پایه‌ها شد. به نظر می‌رسد این پایه‌ها با دارا بودن سامانه ریشه‌ای ویژه، توانایی جذب بیشتر آب از خاک را داشته (شکل‌های ۶ و ۷) و یا با تجمع اسمولیت‌های درون سلولی، قدرت جذب و نگهداری آب بیشتری داشته باشند (Atashkar *et al.*, 2019). پایه‌های AR1، AR3، AR5 و AR7 با داشتن حداقل یکی از شاخص‌های حساسیت به تنش خشکی شامل کاهش شاخص پایداری غشاء سلولی، کاهش ثبات در رنگدانه‌های فتوسنتزی و به دنبال آن کاهش فلورسانس کلروفیل، افزایش غلظت پرولین و مالون دی‌آلدئید، به عنوان پایه‌های حساس به خشکی شناسایی شدند (Atashkar *et al.*, 2021).

و میزان سبزینه موجود در آن، و درنهایت کاهش تولید ماده خشک، عملکرد گیاه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bolat *et al.*, 2014). آتشکار و همکاران (Atashkar *et al.*, 2019) میزان تحمل به خشکی را در یازده پایه حاصل از برنامه اصلاح پایه‌های سیب شامل سری AR1 تا AR11 را در دو تیمار آبیاری ۴۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که تحت تأثیر تنش خشکی، خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه کاهش یافته و این کاهش در پایه‌های مختلف، متفاوت بود. کمترین کاهش در محتوای نسبی آب برگ، تبدلات روزنه‌ای و فتوسنتز در پایه‌های AR1، AR4، AR8 و AR11 و بیشترین پاسخ منفی به تنش در پایه‌های AR3، AR6، AR7 و AR9 مشاهده شد (Atashkar *et al.*, 2019).



شکل ۶- سامانه ریشه‌ای در پایه‌های امیدبخش سیب حساس به تنش خشکی تولید شده در برنامه اصلاح پایه سیب در ایران

Fig. 6. Root system in drought-sensitive promising rootstock of apple developed in apple rootstocks breeding program in Iran



شکل ۷- سامانه ریشه‌ای در پایه‌های امیدبخش سیب متحمل به تنش خشکی تولید شده در برنامه اصلاح پایه سیب در ایران

Fig. 7. Root system in drought-tolerant promising rootstock genotypes of apple developed in apple rootstocks breeding program in Iran

(2022 نشان داد که متغیرهای رشد رویشی نیز تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافت و در پایه‌های مختلف این میزان متفاوت بود. پایه‌های کم‌رشد (AR4, AR8, AR11) در مقایسه با پایه‌های پررشد (AR1, AR3, AR6, AR7, AR9 یا دارای رشد متوسط، AR2, AR5, AR10, MM111) کاهش رشد بیشتری را نشان دادند. الگوی رشد ریشه‌ها نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. پایه‌های AR2, AR3, AR8 که در شرایط بدون تنش آبیاری (شاهد) دارای حداکثر رشد افقی ریشه بودند، در شرایط تنش خشکی کاهش رشد شدیدی را نشان دادند (Atashkar, 2022). از طرفی تجمع ماده خشک به عنوان شاخص تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ پایه‌های متوسط رشد AR5, AR10 و MM111

تنش خشکی باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز، آسکوربات پراکسیداز و پراکسیداز و رادیکال آزاد پراکسید هیدروژن در برگ ژنوتیپ پایه‌های سیب شد. میزان فعالیت آنزیم‌ها در شرایط تنش خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش آبیاری (شاهد) نشان داد در پایه‌های AR3, AR4, AR7, AR8 و AR11 فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان افزایش یافت (Atashkar, 2022). همچنین پایه‌های AR3, AR6, AR7 و AR10 تجمع پراکسید هیدروژن بیشتری داشتند. بنابراین پایه‌های AR4, AR8 و AR11 در شرایط تنش خشکی با داشتن محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیشتر، در مقایسه با سایر پایه‌ها، به تنش خشکی متحمل‌تر بودند (Atashkar, 2022). آتشکار

کاهش کمتری داشتند (Atashkar, 2022).

گزینش برای مقاومت به بیماری آتشک

برای انتخاب پایه از میان جمعیت نتاج حاصل از برنامه‌های اصلاحی، غربال جمعیت برای تحمل به بیماری آتشک از اهمیت فراوانی برخوردار است (Johnson, 2000; Abdollahi et al., 2025). گسترش باکتری عامل آتشک (*Erwinia amylovora*) در پایه‌های حساس درختان سیب، سبب زوال و مرگ درختان خواهد شد. اهمیت اقتصادی این بیماری همچنان روبه افزایش است. یکی از دلایل این امر، استفاده از پایه‌های پاکوتاه‌کننده حساس در روش‌های کشت متراکم باغ‌های سیب است (Hassanzadeh and Keshavarzi, 2007). کنترل و حذف کامل بیماری آتشک همانند سایر بیماری‌های باکتریایی با اعمال روش‌های مختلف زراعی و شیمیایی مشکل است. از این رو، کاربرد ارقام و پایه‌های مقاوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Vanneste, 2001).

مهمترین برنامه‌های اصلاحی و به‌گزینی رقم/پایه سیب برای مقاومت به بیماری آتشک در کشورهای ایالات متحده آمریکا، نیوزیلند، کانادا، مجارستان، آلمان، ایتالیا، سوئد، فرانسه و جمهوری چک وجود دارد (Andreas et al., 2021). برنامه اصلاح پایه‌های سیب جنوا در ایتالیا، پیشرفته‌ترین برنامه اصلاح پایه سیب برای مقاومت به آتشک است. نتایج حاصل از این برنامه از سال ۱۹۹۱ به صورت کلون‌های

سری جنوا (GenevaTM) برای استفاده تجاری معرفی شده‌اند. روش‌های ارزیابی در این برنامه، شامل غربال آلودگی‌های طبیعی در باغ، مایه‌زنی شکوفه درختان و مایه‌زنی در شرایط گلخانه بوده است (Gardner et al., 1980; Norelli et al., 2003b).

بر اساس نتایج ارزیابی‌های گلخانه‌ای، از میان ۴۰ پایه بررسی شده، پایه‌های B9، M9، M26 و Ottawa3 حساس‌ترین و پایه‌های G16، G30، G65 و G11 به عنوان مقاوم‌ترین پایه‌ها معرفی و گزارش شده‌اند (Norelli et al., 1987). در میان پایه‌های تجاری، پایه M7 مقاوم و MM111 و M2 نسبتاً مقاوم هستند. پایه‌های M26 و M9 که رایج‌ترین پایه‌ها از نظر قدرت پاکوتاه‌کنندگی می‌باشند، حساس به بیماری آتشک گزارش شده‌اند (Ferree et al., 1987; Zeller, 1983). باریت و همکاران (Barritt et al., 2004) گزارش کردند که پایه‌های Ottawa3، M9 و M26 به‌شدت حساس، پایه‌های P2، B9 و CG13 حساس، پایه‌های M7 و G11 نسبتاً مقاوم و پایه‌های G65 و G30 کاملاً مقاوم بودند.

در برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب در ایران نیز میزان تحمل به بیماری آتشک به عنوان یکی از شاخص‌های انتخاب پایه‌های امیدبخش سیب مد نظر است. نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که پایه‌های MM106 و M9 حساس، پایه‌های M9OP³⁸⁷، B9op⁸⁷، AZ×M27⁸⁵ و AZ×M9¹⁸⁵ نیمه‌حساس

درختان میوه بر مقاومت به آفات و بیماری‌های مهم در کنار صفات مطلوب باغبانی تأکید دارند. سازکارهایی که گیاهان مقاوم در برابر شته‌ها به کار می‌گیرند، بر رفتار تغذیه‌ای حشرات تأثیر دارد. این سازکارها اغلب شامل محدود کردن دسترسی آفت به آوندهای آبکش گیاه است (Yates and Michel, 2018). سازکارهای مختلف مقاومت میزبان‌های گیاهی به شته‌ها از جمله آنتی‌زنوزو آنتی‌بیوز شناسایی شده است (Latifian et al., 2023a; Latifian et al., 2023b).

پایه‌های متنوع سیب دارای منابع غنی ژنتیکی مقاومت به شته مومی است که امکان توسعه ارقام مقاوم را فراهم می‌کند (Moinina et al., 2018). در استرالیا و نیوزیلند که شته مومی خسارت زیادی به باغ‌های سیب وارد می‌کند، استفاده از رقم نورثرن اسپای (Northern Spy) به‌عنوان پایه‌ی مقاوم متداول است. اما این رقم به‌عنوان پایه، استقرار مناسبی در خاک نداشته و میزان محصول تولیدی آن نیز پایین است. بنابراین محققان در ایستگاه مرتون و ایست مالینگ، برنامه‌ای برای تولید پایه‌های مقاوم به شته مومی را آغاز نمودند. آنها با استفاده از تلاقی رقم نورثرن اسپای با پایه M2 حدود ۸۰۰ دان‌هال سیب تولید کردند که در میان آنها MI778 و MI793 انتخاب شده و در سال ۱۹۳۰ معرفی شدند. پایه MI793 هنوز در استرالیا و نیوزیلند به‌صورت تجاری استفاده می‌شود.

در سال ۱۹۵۲ دو ایستگاه تحقیقاتی مذکور پایه M25 و سری‌های MM101–MM115 را

و پایه‌های $Azop^{285}$ ، $Azop^{385}$ ، $AZ \times M9^{285}$ ، $Azop^{286}$ ، $Azop^{386}$ و $Azop^{486}$ نیمه‌متحمل می‌باشند. دو پایه $Azop^{286}$ و $Azop^{486}$ با قابلیت تکثیر رویشی مناسب (با استفاده از قلمه خشبی و قدرت ریشه‌زایی بیشتر از ۷۰ درصد) و تحمل نسبی در برابر بیماری آتشک، می‌توانند پس از معرفی، در مناطق آلوده به بیماری آتشک مورد استفاده قرار گیرند.

گزینش برای تحمل به شته مومی

شته مومی با عامل *Eriosoma lanigerum* یکی از آسیب‌زاترین آفات پایه‌های سیب است. استفاده از ارقام مقاوم رویشی پیشگیرانه، ایمن، و مؤثر در کنترل شته مومی است (Marshall and Beers, 2022). در برخی از کشورها، به‌ویژه استرالیا، نیوزیلند و آفریقای جنوبی، به دلیل طغیان این آفت، استفاده از ارقام مقاوم ضروری است (Ruiz-Montoya et al., 2015). شته مومی بر رشد و بهره‌وری درختان سیب تأثیر منفی دارد. تغذیه آفت از درختان سیب باعث کاهش قطر تنه، کاهش رشد شاخه‌ها، کاهش وزن و تعداد میوه، و افزایش ریزش میوه می‌شود (Brown et al., 1995). شته مومی معمولاً با استفاده از آفت‌کش‌ها کنترل نمی‌شود، زیرا شته‌ها اغلب در شکاف پوسته درختان قرار داشته و بنابراین تماس آن‌ها با آفت‌کش‌ها حداقل است. به‌علاوه ترشح مواد مومی روی بدن شته، اثربخشی کنترل شیمیایی را به حداقل می‌رساند (Gontijo et al., 2012).

امروزه بسیاری از برنامه‌های اصلاح

گرده‌افشانی آزاد پایه‌های پاکوتاه بومی سیب به‌عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب B9، M9 و M27 به‌عنوان والد پدری، ۱۰ پایه هیبرید امیدبخش را بررسی و ارزیابی کردند (شکل ۸). نتایج نشان داد پایه M9op3 دارای ترکیبی از واکنش‌های آنتی‌زنوزی، آنتی‌بیوزی و تحمل بود و پایه Azop3-85 تنها به دلیل داشتن سازگار تحمل بسیار بالا در گروه ارقام مقاوم در شرایط تغذیه اختیاری و اجباری قرار گرفت (Latifian et al., 2023a).

از بین ۳۷۵۸ دانهال هیبرید انتخاب و معرفی نمودند. این پایه‌ها مقاومت‌شان به شته مومی را از رقم نورثرن اسپای به ارث برده اند (Radnia, 1996). برنامه تولید پایه‌های سیب دانشگاه کورنل آمریکا نیز چهار پایه جدید سیب با نام‌های G210، G214، G890 و G969 را برای مقاومت به شته مومی معرفی کرده است (Robinson et al., 2012).

لطیفیان و همکاران (Latifian et al., 2023a) برای ارزیابی میزان مقاومت به شته مومی در میان نتایج امیدبخش حاصل از هیبریداسیون و



شکل ۸- آلودگی به شته مومی (*Eriosoma lanigerum*) نتایج حاصل از دورگ‌گیری بین پایه‌های سیب بومی و خارجی

Fig. 8. Infestation of progenies from cross between native and foreign apple rootstocks to woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum*)

انتخاب پایه‌های رویشی امیدبخش به شمار می‌رود (Johnson, 2000). بهترین روش برای ارزیابی قدرت رشد پایه‌ها، پیوند ارقام سیب بر روی آنها و ارزیابی آنها در شرایط باغ است. اما

گزینش برای قدرت پاکوتاه‌کنندگی و زودباردهی

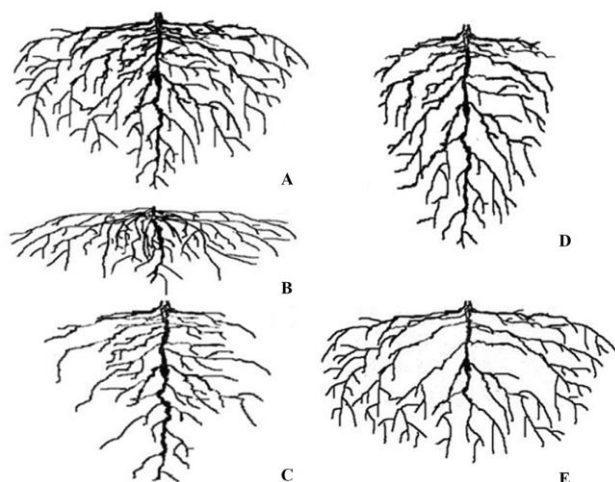
بررسی قدرت پاکوتاه‌کنندگی و ارزیابی قدرت رشد نتایج، از مهمترین شاخص‌های

(Rushome et al., 2008). مشابه انتخاب به کمک نشانگر مولکولی، غربالگری پایه‌ها در مراحل اولیه براساس مدل پیکربندی ریشه نیز پتانسیل زیادی برای کوتاه کردن چرخه اصلاح نژاد و بهبود راندمان اصلاحی دارد. این موضوع در سال‌های اخیر به یک حوزه تحقیقاتی مهم تبدیل شده است.

مقایسه ارقام سیب روی پایه پاکوتاه Mark، پایه نیمه پاکوتاه M26 یا پایه نیمه قوی MM106 نشان داد پایه‌های پررشد تراکم طول ریشه بالاتری دارند. همچنین تراکم طول کل ریشه پایه پاکوتاه M9 به طور قابل توجهی کمتر از پایه MM106 بود. ترکیب‌های مختلف پیوندی سیب یک یا دو ساله، بر روی پایه‌های مختلف، پیکربندی اولیه ریشه متفاوتی ایجاد کردند (شکل ۹). فوجی M9/ (پایه پاکوتاه) دارای ریشه کم عمق و فوجی *M. micromalus* (پایه قوی) دارای ریشه عمیق-گسترده است (Ma, 2011). ریشه‌های فوجی *M. micromalus*/ بیشترین طول ریشه، و فوجی M9/ و فوجی SH40/ کمترین طول ریشه را دارند. از سوی دیگر، دانشگاه کشاورزی چین با موفقیت نتایج حاصل از تلاقی $M. micromalus \times M9$ را با زوایای ریشه‌ای متفاوت غربالگری کرده است (Wang et al., 2019).

این روش بسیار زمان‌بر و پرهزینه می‌باشد. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها بدون انجام پیوند بر روی آنها پیشنهاد شده است. از جمله این روش‌ها می‌توان به ساختار آوندی، پارانشیم ریشه، سطح برگ و خصوصیات بیوشیمیایی بافت پوست اشاره نمود (James et al., 1983). ارتفاع گیاه یکی از مهمترین شاخص‌های رشد است. تفاوت‌های ژنتیکی از نظر ارتفاع گیاه، طول میان‌گره، طول و سطح گسترش سامانه ریشه در اکثر گیاهان گزارش شده است (Kafi et al., 2010).

اولین بررسی برای پیش‌بینی قدرت رشد نتایج حاصل از برنامه اصلاحی پایه‌های سیب در سال ۱۹۴۰ با بررسی هشت پایه جدید به همراه پایه رویشی M9 به عنوان شاهد پاکوتاه و پایه رویشی M7 به عنوان شاهد نیمه پابلند با استفاده از صفات مربوط به ریشه شامل نسبت پوست به چوب ریشه، فراوانی آوند چوبی، فیبر، بافت پارانشیم آوندی و اشعه آوندی انجام گرفت. در این بررسی، پایه‌های پاکوتاه مشابه پایه رویشی M9 دارای اشعه آوندی و پارانشیم بیشتر و آوند چوب کمتری نسبت به پایه‌های پابلندتر بودند (Beakbane et al., 1944). گزینش نتایج پاکوتاه در جمعیت حاصل از دورگ‌گیری بین پایه پاکوتاه M9 و پایه پررشد روبوستا ۵، با استفاده از نشانگرهای مولکولی انجام شده است



شکل ۹- نمودارهای شماتیک از پیکربندی ریشه با پایه‌های مختلف: (A) Fuji/M. micromalus، (B) Fuji/M9، (C) Fuji/M9/M. micromalus، (D) Fuji/SH40، (E) Fuji/SH40/M. micromalus (Wang et al., 2019)

Fig. 9. Schematic diagrams of root architecture with different rootstocks: (A) Fuji/M. micromalus, (B) Fuji/M9, (C) Fuji/M9/M. micromalus, (D) Fuji/SH40, (E) Fuji/SH40/M. micromalus (Wang et al., 2019)

Beakbane and Majumder, 1975). مطالعه تراکم روزنه و صفات رویشی در ۱۵ گونه سیب کرب نشان داد که قدرت رشد و تراکم روزنه در گونه‌های مختلف متفاوت است؛ اما بین تراکم روزنه و قدرت رشد پایه‌ها ارتباط مستقیم وجود نداشت (Sharma et al., 1982).

بررسی قدرت رشد در ۱۲ پایه سیب اوتاوا با استفاده از ده شاخص رشد نشان داد که بهترین شاخص برای پیش‌بینی قدرت رشد پایه‌ها، وزن خشک و سطح برگ ژنوتیپ پایه‌ها است. پایه‌های دارای سطح برگ بیشتر جزو پایه‌های پررشد و ژنوتیپ پایه‌های با سطح برگ کمتر،

بررسی قدرت رشد با استفاده از مقایسه صفات رویشی و نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره در نتایج اهمیت فراوانی دارد. در پایه‌های پاکوتاه کننده سیب نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره از پایه‌های پابلند بیش‌تر است (Atkinson et al., 2000). یکی از شاخص‌های پیش‌بینی قدرت رشد در جمعیت پایه‌های رویشی سیب، تراکم روزنه‌ای برگ است. تراکم روزنه در پایه‌های مختلف متفاوت بوده و بستگی به ژنتیک رقم دارد. پایه‌های پررشد دارای تعداد روزنه بیشتری در واحد سطح در مقایسه با پایه‌های پاکوتاه هستند (Pathak et al., 1976;)

تحت کد 85Azop2، 85Azop1، 85AZ×M92 به ترتیب با ارتفاع ۱۵۵/۷۵، ۱۵۵، ۱۳۶/۲۵ سانتی متر در مقایسه با پایه رویشی پاکوتاه M9 با ارتفاع ۱۶۱/۲۵ پاکوتاه تر بودند. کمترین رشد شاخه سال جاری مربوط به درختان سیب رقم گلدن دلشز پیوند شده روی پایه رویشی M9 و ژنوتیپ پایه 85Azop2 به ترتیب با طول ۳۴ و ۳۴/۹۴ سانتی متر بود. ژنوتیپ پایه های 186Azop، 287AZ×B9، 387M9op، 586Azop، 85AZ×M27، 187AZ×B9 و 287AZ×M27، باعث القاء باردهی درختان سیب رقم گلدن دلشز در سال اول شد (Atashkar, 2025).

بهرامی و همکاران (Bahrami et al., 2019) تأثیر توده های بذری اصلاح شده بر روند رشد رویشی گروهی از ارقام پیوندی در مقایسه با شاهد ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد، استفاده از نتاج پایه بذری اصلاح شده با کاهش رشد طولی درخت، کاهش طول پایه و افزایش قطر پایه منجر به کنترل قدرت رشد ارقام پیوندی شد. نتاج بذری گمی الماسی در مقایسه با دیگر توده های بذری موجب القای پاکوتاهی بیشتر، اندازه تاج کوچکتر و قطر پایه بیشتری به ویژه در رقم سیب رد دلشز شد. بیشترین پاکوتاه کنندگی توسط سه توده بذری زینتی، آرایش و مربایی با والد های بسیار پاکوتاه کرب (Crab) ثبت شد (Bahrami et al., 2019).

بر اساس تحقیقات انجام گرفته در ۲۴ سال گذشته از زمان اولین گزینش های والدین

جزو پایه های پاکوتاه طبقه بندی می شوند (Miller, 1977). صفات رویشی مرتبط با قدرت رشد در ۱۱ پایه امیدبخش سیب به همراه پایه رویشی MM111 به عنوان شاهد بررسی شدند. براساس قدرت رشد، این پایه ها به سه گروه تقسیم شدند.

گروه اول شامل پایه های کم رشد (پاکوتاه) AR4، AR8 و AR11 که دارای کمترین بیوماس، کمترین سرعت رشد و بیشترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند. گروه دوم شامل پایه های پررشد AR6، AR3، AR1، AR7 و AR9 بود که دارای بیشترین وزن خشک، بیشترین سرعت رشد و کمترین تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند. گروه سوم شامل پایه های متوسط رشد AR5، AR2 و AR10 بود که دارای مقدار متوسطی وزن خشک، سرعت رشد و تراکم روزنه در واحد سطح برگ بودند. پایه های کم رشد، بیشترین و ژنوتیپ های پررشد کمترین نسبت وزن خشک ریشه به شاخساره را داشتند (Atashkar et al., 2019).

در پژوهشی دیگر قدرت پاکوتاه کنندگی ۲۷ پایه امیدبخش حاصل از پروژه اصلاح پایه های رویشی سیب در ایران به همراه پایه پاکوتاه M9 (شاهد پاکوتاه) و MM111 (شاهد پابلند) بر روی سیب رقم گلدن دلشز در ایستگاه کمال شهر کرج بررسی شد. نتایج به دست آمده در سال اول پس از کاشت نشان داد که کمترین ارتفاع درختان سیب رقم گلدن دلشز پیوند شده روی ژنوتیپ پایه های

پایه M9 در حال انجام است. نتایج این ارزیابی‌ها نشان داده است که پایه‌های گزینش شده و امیدبخش حاصل، نه تنها در شماری از صفات دارای سطح تحمل بالاتری نسبت به پایه‌های استاندارد و شناخته شده جهانی در رابطه با تنش خشکی می‌باشند، بلکه از زودباردهی و عملکرد میوه بهتری نیز در مقایسه با این پایه‌ها در مناطق مختلف سیب کاری کشور از جمله استان آذربایجان غربی برخوردار بوده‌اند (شکل ۱۰). بر این اساس در آخرین بخش این مسیر تحقیقاتی، لازم است پایه‌های امیدبخش فوق ضمن معرفی، در اختیار بخش خصوصی قرار داده شوند و در سطح وسیع کشت و توسط تولیدکنندگان سیب، ارزش تجاری آنها ارزیابی و تعیین شود.

سیب‌های بومی و احداث کلکسیون برای انجام دورگ‌گیری‌های هدفمند برای دستیابی به پایه‌های سیب بومی در کشور بیش از ده پروژه تحقیقاتی روی جنبه‌های مختلف آنها با هدف گزینش برای سهل ریشه‌زائی به صورت قلمه، خوابانیدن کپه‌ای، ریزازدیادی درون شیشه، تحمل به تنش‌های زنده شامل بیماری آتشک، پوسیدگی طوقه فیتوفترائی و آفت شته مومی و همچنین تحمل به خشکی و ساختار تولید ریشه در آنها صورت گرفته است.

نتایج حاصل از این پروژه‌ها دستیابی به حداقل چهار پایه امیدبخش با کدهای $AZop^{286}$ ، $AZ \times M27^{287}$ ، $AZ \times B9^{285}$ و $AZ \times M27^{85}$ است که مقایسه آنها با پایه‌های شناخته شده، خصوصاً



شکل ۱۰- زودباردهی چهار پایه امیدبخش سیب گزینش شده در شرایط باغ تحقیقاتی در استان آذربایجان غربی

Fig. 10. Early bearing of four promising apple rootstocks in research orchard conditions in West Azarbaijan province

افق‌ها و نیازهای تحقیقاتی پیش‌رو

در طول ۶۰ سال گذشته، با بهبود سامانه‌های مدیریتی، تراکم کاشت در باغ‌های سیب افزایش یافته است. پایه‌های پاکوتاه‌کننده، با تغییرات چشمگیر در اندازه درخت، عامل اصلی کاهش فاصله کاشت و زودباردهی درختان سیب می‌باشند. پایه‌های پاکوتاه‌کننده سری مالینگ M9 و M26، اولین و مهمترین پایه‌های پاکوتاه‌کننده سیب در جهان بودند، اما این پایه‌ها در برخی مناطق جهان سازگاری مناسب نشان نداده‌اند و از حساسیت بالایی به بیماری باکتریایی آتشک، قارچ‌های خاکری و عارضه واکشت داشته‌اند. این موضوع، استفاده از آنها را در برخی مناطق محدود کرده و همچنین نگاه برخی از تولیدکنندگان را به استفاده از پایه‌های رویشی در برخی از مناطق نظیر سمیرم در استان اصفهان، بدین کرده است. برنامه‌های اصلاح پایه برای درختان سیب در چندین نقطه از جهان همچنان در حال توسعه و ادامه است. امروزه پایه‌های اصلاح‌شده با عملکرد میوه مطلوب، مقاومت در برابر سرما، و مقاومت قابل قبول در برابر بیماری آتشک و عارضه واکشت معرفی شده‌اند که علاوه بر پایه‌های موجود، افق‌های جدیدی را نیز در رابطه با استفاده از پایه‌های جدید سیب در اختیار تولیدکنندگان این محصول قرار داده است. از سوی دیگر با افزایش دانش و درک بیشتر ما از دانش فیزیولوژی گیاه و تلفیق آن با استفاده از پایه‌های جدید، پیشرفت‌های فزاینده‌ای در میزان

تولید، و همچنین مدیریت باغ‌های سیب تجاری اعمال خواهد شد.

در رابطه با استفاده از روش‌های زیست فناوری در برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب، نقشه ژنتیکی و وظایف ژن‌های مهم پایه‌های رویشی تعیین شده و می‌توانند در انتخاب به کمک نشانگرهای مولکولی، درگزینش آینده پایه‌های سیب مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین، می‌توان چنین اذعان کرد که از طریق تحقیقات ژنومیکس و مهندسی ژنتیک، تغییرات چشمگیری در برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب در آینده ایجاد خواهد شد. درک بیشتر از کنترل ژنتیکی پاکوتاه‌کنندگی، پیش‌باری، ریشه‌زایی، رشد رویشی، گلدهی، رشد میوه و مقاومت به بیماری‌ها، منجر به تولید پایه‌های جدیدی خواهد شد که پرورش و مدیریت درختان سیب را آسانتر و ارزانتر می‌کند.

در ایران نیز ادامه این برنامه‌های اصلاح پایه‌های سیب با گسترش بیشتر دامنه استفاده از ژنوتیپ‌های بومی، و تلفیق تجارب قبلی با روش‌های زیست فناوری، می‌تواند به افزایش دامنه تحمل به تنش‌ها مختلف و تولید پایه‌های مناسب تر و پربازده‌تر منجر شود.

سپاسگزاری

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات پیشکسوتان اداره تحقیقات باغبانی در گذشته، و بخش تحقیقات باغبانی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر که پایه‌گذار اولین

بررسی‌ها و گزینش‌های پایه‌های سیب در ایران بودند، از جمله دکتر مصطفی مصطفوی و مهندس ایوبعلی قاسمی، سپاسگزاری کنند. همچنین از زحمات کلیه افراد در کارگروه تحقیقات میوه‌های دانه‌دار بویژه دکتر حمید عبدالهی و دکتر حسن حاج‌نجاری که بیش از دو دهه تحقیقات این محصولات را در بخش تحقیقات باغبانی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و در حال حاضر

در پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پی‌گیری و به انجام رسانده‌اند، کمال تشکر و قدردانی می‌کنند.

تعارض منافع

نگارندگان اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منفعی با یکدیگر و سایر اشخاص حقیقی و حقوقی ندارند.

References

- Abdollahi, H. 2021.** An illustrated review on manifestation of pome fruit germplasm in the historic miniatures of ancient Persia. *Genetic Resources and Crop Evolution* 68, pp.2775-2791. DOI: 10.1007/s10722-021-01244-y
- Abdollahi, H., Nasiri, J. and Mohajer, S. 2025.** A comprehensive review on oxidative stress and ros-related resistance strategies in compatible interaction between *Erwinia amylovora* and host plants. *Journal Plant Growth Regululation*, 44, 460–483. DOI: 10.1007/s00344-024-11482-w
- Alizadeh, A. 2004.** Study of the compatibility of vegetatively pure rootstocks with commercial apple cultivars, final project report. Horticulture Resserach Department, Seed and Plant Research Institute, Karaj, Iran, 67pp (in Persian).
- Andreas, P., Ofere, F.E., Awais, K. 2021.** Status of fire blight resistance breeding in *Malus*. *Plant Pathology*, 103, pp. 3–12. DOI: 10.1007/s42161-020-00581-8
- Anonymous. 2023.** Statistical yearbook of agricultural products. Volume III: Horticultural products. Iranian Ministry of Agricultural Jihad, Tehran, Iran. 163 pp. (in Persian).
- Atashkar, D., Pirkhezri, M. and Taghizadeh, A. 2015.** Production and primary evaluation of apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 47(2), pp.329-335 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2016.58534.
- Atashkar, D., 2016.** Investigation of rooting ability in a number of hybrid apple rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies*, 17(3), pp.273-284. (in Persian).
- Atashkar, D., Ershadi, A., Abdollahi, H. and Taheri, M. 2019.** Screening for drought

- tolerance in some hybrid apple rootstocks based on photosynthesis characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49(4), pp.1013-1024 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2018.239276.1299.
- Atashkar, D., Haghjooyan, R., Dodangheh Balakhani, M. and Soleimani, A. 2019.** Predicting the growth potential in some apple (*Mallus domestica* Borkh.) hybrid rootstocks by study of vegetative characteristics. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 51(4), pp. 925-937 (in Persian). DOI: 10.22059/ijhs.2019.284902.1675.
- Atashkar, D., Ershadi, A., Abdollahi, H. and Taheri, M. 2021.** Effects of drought stress on physiological and biochemical indices in hybrid apple rootstocks. *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies*, 21, pp.107-122 (in Persian).
- Atashkar, D. 2022.** Effect of drought stress on water relative content of leaf and antioxidant enzymes activity in some hybrid apple rootstocks. *Journal of Reserch in Horticultural Science*, 2, pp.31-44 (in Persian). DOI: 10.22092/rhsj.2023.362023.1058.
- Atashkar, D. 2022.** The effect of drought stress on vegetative growth of some rootstocks of selected apple hybrid. *Journal of Reserch in Horticultural Science*, 1(1), pp.11-26 (in Persian).
- Atashkar, D., Dodangheh Balakhani, M. and Taghizadeh, A. 2023.** Study of micropropagation potential of some of apple hybrid rootstock genotypes. *Pomology Research Scientific Journal*, 8(2), pp.131-142 (in Persian). DOI: 10.30466/RIP.2023.54255.1242.
- Atashkar, D. 2025.** Dwarfing and precocity evaluation in some elite hybrid apple rootstocks. Pp.100. In: Proceedings of the 14th Congress of Horticultural Sciences. Sanandaj, Iran. (Abstract).
- Atkinson, C.J., Policarpo, M., Webster, A.D. and Kingswell, G. 2000.** Drought tolerance of clonal *Malus* determined from measurements of stomatal conductance and leaf water potential. *Tree Physiology*, 20, pp.557-563. DOI: 10.1093/treephys/20.8.557
- Bahrami, H. and Hajnajari, H. 2019.** Study of the effectiveness of improved seed rootstocks on controlling the growth of some grafted apple cultivars. *Plant Production Research*, 26(3), pp.220-234 (in Persian). DOI: 10.22069/jopp.2019.15170.2407.
- Barritt BH, Konishi BS, Dilley M.A. and Pusey L. 2004.** Resistance of apple rootstocks to fireblight caused by *Erwinia amylovora*. *Acta Horticulture*, 658, pp.387-390. DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.658.56
- Beakbane, A.B. and Thompson, E.C. 1944.** Anatomical studies of stems and roots of hardy

- fruit trees II. The internal structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and correlation of structure with vigour. *Journal of Pomology and Horticultural Science*, 17, pp.141-149.
- Beakbane, A.B. and Majumder, P. K. 1975.** A relationship between stomatal density and growth potential in apple rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 50(4), pp.285-289. DOI: 10.1080/00221589.1975.11514637
- Bina, H., Yousefzadeh, H., Venon, A., Remoué, C., Rousselet, A., Falque, M., Faramarzi, S., Chen, X., Samanchina, J., Gill D., Kabaeva, A., Giraud, T., Hosseinpour, B., Abdollahi, H., Gabrielyan, I., Nersesyan, A. and Cornille, A. 2022.** Evidence of an additional centre of apple domestication in Iran, with contributions from the Caucasian crab apple *Malus orientalis* Uglitzk. to the cultivated apple gene pool. *Molecular Ecology*, 31, pp.5581-5601. DOI: 10.1111/mec.16667.
- Bolat, E., Dikilitas, M., Ercisli, S., Ikinici, A. and Tonkaz, T. 2014.** The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. *The Scientific World Journal* 1, pp.1-8. DOI:10.1155/2014/769732.
- Brown, M.W., Schmitt, J.J., Ranger, S. and Hognire, H.W. 1995.** Yield reduction in apple by edaphic woolly apple aphid (*Holnoptera: Aphididae*) populations. *Journal of Economic Entomology*, 88(1), pp.127-133. DOI: 10.1093/jee/88.1.127
- Cornille, A., Giraud, T., Smulders, M.J., Roldán-Ruiz, I. and Gladieux, P. 2014.** The domestication and evolutionary ecology of apples. *Trends in Genetics*, 30, pp.57-65. DOI: 10.1016/j.tig.2013.10.002.
- Chong, G. 1983.** Influence of high IBA concentrations on rooting combined. *Proceedings of International Plant Propagation's Society*, 31, pp.453-461.
- Dastjerdi, R., Atashkar, D. and Taghizadeh, A.A. 2014.** Evaluation of the reaction of promising apple hybrid rootstocks to *Phytophthora cactorum*. *Plant Diseases*, 59 (4), pp.265-282 (in Persian). DOI: 10.22034/ijpp.2024.2021805.456.
- Dastjerdi, R. and Damyar, S. 2010.** Evaluation of the relative resistance of eleven apple rootstocks to crown rot caused by the fungus *Phytophthora cactorum*. *Seed and Plant Journal*, 3, pp.297-311 (in Persian). DOI: 10.22092/spij.2017.111026.
- Davoudi, A. 1999.** Report of the results of evaluating the resistance of apple and pear cultivars to fire blight. M. Sc. thesis. University of Tabriz, Iran. 150 pp. (in Persian)
- Elfving, D.C., Schecter, I. and Hutchinson, A. 1993.** The history of the Vineland (V.). *Apple*

- Rootstocks*, 47, pp.52-59.
- FAO. 2023.** Statistical year book. Food and Agriculture Organization Publication, Rome, Italy. 384 pp.
- Fazio, G., Aldwinkel, H.S. and Robinson T.L. 2022.** Selection of apple rootstock breeding families for *Phytophthora* crown rot resistance. *Acta Horticulturae*, 1346, pp.717-722. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1346.90.
- Fisher, M. 1996.** Semi dwarf apple rootstock from dersen-pilinitz. Eucapia symposium on fruit breeding and genetics. *Acta Horticulture*, 484, pp.183-187.
- Ferree, D.C. and Carlson R.F. 1987.** Rootstocks for fruit crops, John Wiley and Sons. New York, USA. 143 pp.
- Fernandez, R.T., Perry R.L. and Flore, J.A. 1997.** Drought response of young apple trees on three rootstocks. II. gas exchange, chlorophyll fluorescence, water relations, and leaf abscisic acid. *HortScience*, 122(6), pp.841-848. DOI: 10.21273/JASHS.122.6.841
- Ghanbari, A., Atashkar, D., Sharifi, Y., Haqjoyan, R. and Ashuri, A. 2012.** Method of *in vitro* propagating shoots in three apple rootstocks. Pp.120. In: The 3rd National Conference on Agricultural Biotechnology of Iran. Mashhad, Iran (Abstract).
- Gardner, R.G, Cummins, J.N. and Alswinkle, H.S. 1980.** Fire blight resistance in the Geneva apple rootstock breeding program. *American Society Horticultural Science*, 105, PP. 907-912.
- Ghasemi, A. 2002.** Study of physiological characteristics and the role of pruning of two local apple genotypes, namely Azayesh and Gami Almasi, on commercial apple cultivars, final project report, registration number 626/80. (in Persian).
- Gontijo, L.M., Cockfield, S.D. and Beers, E.H. 2012.** Natural enemies of woolly apple aphid (Hemiptera: Aphididae) in Washington State. *Environmental Entomology*, 41(6), pp.1364-1371.
- Grigel, J., K. Cerny, M. Mrazkova, L. Haverdova, D. Zahradnik, B. Jilkova. and Hrabetova, M. 2019.** *Phytophthora* root and collar rots in fruit orchards in the Czech Republic. *Phytopathologia Mediterranea*, 58(2), pp.261-275. DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr.
- Haqgoo. M., Yadollahi, A., Kalatojari, S. and Atashkar, D. 2012.** Establishmend and proliferation *in vitro* for new apple genotypeps from apple breeding program of Iran. Pp.5. In: Proceedings of 12th Iranian Genetics Congress. Theran, Iran (Abstract). (in Persian)

- Han, Y. and Korban, 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
- Hajnajari H., Soroori S., Rezaee, S. and Zamani Zadeh H.R. 2012.** Iranian crab apple 'Zinati' with dual tolerance as maternal source selected for rootstock breeding. *Acta Horticulturae*. 938, pp.527-534. DOI: 10.17660/ActaHortic.2012.938.69
- Hassanzadeh, N. and Keshavarzi, M. 2007.** Fire blight in Iran: past and current situation: Pp.132-135. In: Proceedings of International Conference Improvement Fruit, Small Fruit, Nuts, Vine Assortment under Present Management. Belarus.
- James, N.C. and Aldwinckle, H. 1983.** Breeding Rootstocks, *Plant Breeding Reviews*, 1, pp. 295-394.
- Jakubowski, T.S. and Zagaja, W. 2003.** 45 years of apple rootstock breeding in Poland. *Fruit Varieties Journal*, 47(3), pp.137-142. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.538.131
- Johnson. W.C. 2000.** Methods and results of screening for disease and insect apple rootstocks. *The Compact Fruit Tree*, 33, pp.108-111.
- Latifian, M., Atashkar, D. and Ghaemi, R. 2023a.** Relative establishment rate and host preference of woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* on promising apple hybrid rootstocks. *Journal of Entomological Society of Iran*, 43(3), pp.233-245 (in Persian). DOI: 10.61186/JESI.43.3.4
- Latifian, M., Atashkar, D., and Ghaemi, R. 2023b.** 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), pp.120-93 (in Persian). DOI: 10.22092/spj.2023.363992.1331
- Lane, W.D., Looney, N.E. and Mage, F. 1982.** A selective tissue culture medium for growth of compact (dwarf) mutants of apple. *Theoretical and Applied Genetics*, 61, pp.219-223. DOI: 10.1007/BF00273778
- Le Pelley, R. 1927.** Studies on the resistance of apple to the woolly aphid (*Eriosoma lanigerum* Hausm.). *Journal of Pomology and Horticultural Science*, 6(3), pp.209-241. DOI: 10.1093/jee/31.5.622
- Lichtenthaler, H.K and C. Buschmann. 2001.** Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Food Analytical Chemistry, Unit f4.2.1-F4.2.6*. DOI: 10.1002/0471142913.faf0402s01
- Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A. and Nabati, J. 2010.** Physiology of environmental stresses in plants. Mashhad Daneshgahei Jihad Publications.

- Mashhad, Iran. 502 pp. (in Persian)
- Khan, A. and Korban, S.S. 2022.** Breeding and genetics of disease resistance in temperate fruit trees: challenges and new opportunities. *Theoretical and Applied Genetics*, 135(11), pp.3961-3985. DOI: 10.1007/s00122-022-04093-0
- Khanizadeh, S., Groleau, Y. Granger, R. Cousineau J. and Rousselle. G.L. 2000.** New hardy rootstock from the Quebec apple breeding program. *Acta Horticulturae*, 2, pp.719-721. DOI: 10.17660/ActaHortic.2000.538.130
- Khanizadeh, S., Y. Groleau, A. Levasseur, R. Granger, G.L. Rousselle and C. Davidson. 2005.** Development and evaluation of St Jean-Morden apple rootstock series. *HortScience*, 40, pp.521-522. DOI:10.21273/HORTSCI.40.3.521
- Khatami, M., Sadeghi Garmarudi, H. and Torabi, M. 2014.** In vitro screening of some apple rootstocks for resistance to phytophthora root rot. *Journal of Applied Plant Protection*, 3(3), pp.340-355 (in Persian).
- Manei, A. 2000.** Apple and its growing. Iran Technical Publication Company, Tehran, Iran. 113 pp. (in Persian).
- Marshall, A.T. and Beers, E.H. 2022.** Exclusion netting affects apple arthropod communities. *Biological Control*, 165, 104805. DOI: 10.1016/j.biocontrol.2021.104805
- Miller, S.R. 1977.** Selection criteria in the seedling stage for predicting apple rootstock vigor. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(3), pp.667-674. DOI: 10.4141/cjps77-098
- Moffat, J., Sears, M.R.G. and Paulsen. G. 1990.** Wheat high temperature tolerance during reproductive growth. I: Evaluation by chlorophyll fluorescence. *Crop Science*, 30(4) pp.881-885. DOI: 10.2135/cropsci1990.0011183X003000040024x
- 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), pp.42. DOI: 10.3390/horticulturae4040042
- Norelli, J.L., Holleran, H.T., Johnson, W.C., Robinson, T.L. and Aldwinckle, H.S. 2003.** Resistance of Geneva and other apple rootstocks to *Erwinia amylovora*. *Plant Disease*, 87, pp. 26-32. DOI: 10.1094/PDIS.2003.87.1.26
- Pandy, D., Serivastava, R.P., Tripathi, S.P., and Misra, R.S. 1981.** Effect of some plant growth regulators, urea and their combinations on the growth of apple seedling progressive. *Horticulture*. 13(3/4), pp. 47-50.
- Pathak, R.K., Pandey, D. and Pandey, V.S. 1976.** Stomatal distribution as an index for predicting the growth potential of apple stocks. *Journal of Horticultural Science*, 51(3), pp.

- 429-431. DOI: 10.1080/00221589.1976.11514709
- Radnia, H. 1996.** Roots of fruit trees, translation. Nashr-e-Amoozesh Publication. Theran, Iran. 450 pp. (in Persian).
- Robinson, R., Fazio, G., Aldwinckle, H. and Holleran, T. 2003.** The Geneva series of apple rootstocks from Cornell: performance, disease resistance and commercialization. *Acta Horticulturae*, 622, pp. 513–520. DOI: 10.17660/ActaHortic.2003.622.56.
- Robinson, T.L., Fazio, G. and Aldwinckle, H.S. 2012.** December. Characteristics and performance of four new apple rootstocks from the Cornell-USDA apple rootstock breeding program. *Acta Horticulturae*, 1058, pp.651-656. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1058.85
- 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.
- Sabeti, H. 1994.** Trees and shrubs of Iran. Yazd University Press, Yazd, Iran. 810 pp. (in Persian).
- Roostaei, M., Nazeri, S., Ghadimzadeh, M. and Malboobi, M.A. 2007.** Optimizing *in vitro* regeneration from Iranian native dwarf rootstock of apple (*Malus domestica* Borkh). *International Journal of Agriculture and Biology*, 9(5), pp.775-778.
- Rusholme, R.L., Celton, J-M and Gardiner, S.E. 2008.** Genetic markers linked to the dwarfing trait of apple rootstock 'Malling 9'. *Journal of American Society for Horticultural Sciences*, 133(1), pp.100–106.
- Shakoriyan, M. 1992.** Abstracts of the 5th National Horticultural Seminar, Mashhad, Research Institute for Seed and Plant Improvement and Production (in Persian).
- Shan, W., Liang, D. and Ma, F. 2014.** Leaf micromorphology and sugar may contribute to differences in drought tolerance for two apple cultivars. *Plant Physiology Biochemistry*, 80, pp.249-258. DOI: 10.1016/j.plaphy.2014.04.012
- Sarvari, S., Hajnajari, H., Rezaei, S. and Zamani Zadeh, H. 2010.** Evaluation of seedlings of short apple cultivars for selection of rootstocks tolerant to *Phytophthora cactorum*, the causative agent of crown rot. *Seed and Plant Journal*, 26(2), pp.193-204 (in Persian). DOI: 10.22092/SPIJ.2017.110957
- Sharma, D.P., Sharma, Y.D. and Rana, H.S. 1982.** Stomatal and tree growth characteristics of some crab apples. *Scientia Horticulturae*, 17, pp. 327-331. DOI: 10.1016/0304-

4238(82)90113-3

- Sircelj, H., Tausz, M. Grill, D. and Batic, F. 2007.** Detecting different levels of drought stress in apple trees (*Malus domestica* Borkh.) with selected biochemical and physiological parameters. *Scientia Horticulturae*, 113, pp.362-369. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.04.012
- Soejima, J., Bessho, H., Komori, S. and Tsuchiya, S. 1996.** New apple rootstocks, ARM 1, ARM 7 and ARM 8. *Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics*, 484, pp. 217-220.
- Sri, W., and Mutia Erti, D. 2018.** Phylogenetic relationship of phytophthora sp. infected citrus in east java of Indonesia using polymerase chain reaction. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 5(77), pp.297-303. DOI: 10.18551/rjoas.2018-05.35
- Stehr, R., 2007.** Fifteen years of experience with different dwarfing apple rootstocks in northern Germany. *Proceedings of the VIII International Symposium on Canopy, Rootstocks and Environmental Physiology in Orchard Systems*, 732, pp. 67–77.
- Tukey, H.B. 1964.** Dwarfed fruit trees. Cornell University Press, Ithaca, USA. 562 pp.
- Vanneste J.L. 2001.** Fire blight, the disease and its causative agent, *Erwinia amylovora*. CAB International, Wallingford, Oxon OX 10 8DE, UK. 370 pp.
- Wahid, A. and Rasul, E. 2005.** Photosynthesis in leaf, stem, flower and fruit. Pp.479-497. In: Pessarakli, M. (ed.), *Handbook of Photosynthesis*, 2nd edition, CRC Press, Florida.
- Wang, Y., 2008.** Some ideas about the apple breeding in China. *Journal of Fruit Science*, 25, pp.559–565.
- Wang, S., D. Liang, C. Lli, Y. Hao, F. Ma and H. Sho. 2012.** Influence of drought stress on the cellular ultrastructure and antioxidant system in leaves of drought-tolerant and drought-sensitive apple rootstocks. *Plant Physiology and Biochemistryjournal*, 51, pp.81-89. DOI: 10.1016/j.plaphy.2011.10.014
- Wang, D., Bus, V.G.M., Wang, K., Gao, Y., Zhao, J., Liu, L., Li, L. and Piao, J. 2018.** History and current status of American apple rootstock breeding and its commercial rootstock characteristics. *China Fruits*, 6, pp.107–113. DOI: 10.1016/j.hpj.2019.06.001
- Wang, Y., Li, W., Xu, X., Qiu, C., Wu, T., Wei, Q., Ma, F., and Han, Z. 2019.** Progress of apple rootstock breeding and its use. *Horticultural Plant Journal*. 5(5), pp.183–191. DOI: 10.1016/j.hpj.2019.06.001
- Warschefsky, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., von Wettberg, E.J. and Miller, A.J. 2016.** Rootstocks: diversity, domes- tication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends in Plant Science*, 21, pp.418–437. DOI: 10.1016/j.tplants.2015.11.008

- Webster, C.A. and Jones, O.P. 1991.** Micropropagation of some cold-hardy dwarfing rootstocks for apple. *Journal of Horticultural Science*, 66(1), pp.1-6. DOI: 10.1080/00221589.1991.11516118
- Webster, A.D. and Hollands, M.S. 1999.** Apple rootstock studies: comparison of Polish, Russian, USA and UK selections as rootstocks for the apple cultivar Cox's Orange Pippin (*Malus domestica* Borkh.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 74, pp.367-374. DOI: 10.1080/14620316.1999.11511123
- Univer, T. 2000.** The breeding of apple rootstocks in Estonia. Transactions of the Estonia Agricultural University. 208 pp.
- 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
- Zakeri, Z., and Sharifnabi, B. 1991.** Pear fire blight disease in Karaj. Pp. 157. In: Proceedings of the 10th Iranian Plant Protection Congress, Kerman, Iran. (Abstract).
- Zhang, H., Bus, V.G.M., White, A.G., Yan, Z., Guo, G., Zhang, R., Liu, Z., Yao, J., Chagne, D. 2016.** Advances in apple variety and rootstock breeding in New Zealand and enlightens on Chinese apple breeding. *Journal of Fruit Science*, 33, pp.482-491. DOI: 10.13925/j.cnki.gsxb.20150480 (in Chinese).
- Zinanlo, A.A. Damyar, S. and Atashkar, D. 2008.** Improving apple rootstock tolerant to Iron chlorosis. Final Project Report 2-011-12-04-84016.
- Zohur, A. and Rahmani Moghadam, N. 2004.** Outbreak of fire blight in Khorasan province. Pp.423. In: Proceedings of the 16th Iranian Plant Protection Congress, Tabriz, Iran. (Abstract).
- Zeller, W. 1983.** Resistance of pome fruit varieties to fireblight in the Federal Republic of Germany. *Acta Horticulturae*, 1(40), pp.35-42. DOI: 10.17660/ActaHortic.1983.140.2

A Review of Objectives, Programs and Advances in Breeding of Apple Clonal Rootstocks in Iran

D. Atashkar^{1*} , R. Dastjerdi², M. Latifian³, Q. Hasani⁴ and M. Keshavarzi⁵

1. Assistant Profesor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization, Karaj, Iran.
2. Associate Professor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization, Karaj, Iran.
3. Profesor, Temperate Fruits Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention, Karaj, Iran.
4. Researcher, Field and Horticultural Research Crops Research Department, West Azarbayjan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extention, Urmia, Iran.
5. Associate Professor Temperate Fruits Research Center, Horticultural sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extention Organization, Karaj, Iran.

ABSTRACT

Atashkar, D., Dastjerdi, R., Latifian, M., Hasani, Q. and Keshavarzi, M. 2024. A review of objectives, programs and advances in breeding of apple clonal rootstocks in Iran. *Seed and Plant*, 40, pp. 387-423(in Persian).

Developing new horticultural crops cultivars and rootstocks is possible through various breeding methods including hybridization, identification and collection of high yield and high quality native genotypes, as well as evaluating the adaptability of commercial introduced cultivars. The utilization of new cultivars and rootstocks adapted to a region's climatic conditions plays a significant role in enhancing both the quantitative and quality attributes of crop production. The apple rootstocks breeding program in Iran started in 2005. Within this research program, in addition to assessing the adaptabilty of commercial apple rootstocks, native rootstock genotypes such as Azayesh Isfahan, Morabaei Mashhad, Gami Almasi, and Sibgol have been identified, collected and evaluated. Important characteristics for selecting apple promising rootstocks include clonal propagation ability, proper establishment in the soil, early bearing and suitable performance of grafted trees as well as resistance/tolerance to biotic and abiotic stresses such as collar and root rot, fire blight, woolly aphid, drought stress, and high lime content in the soil. Hybridization between native genotypes and commercial rootstocks is practiced in Iran's apple rootstock breeding program. Promising apple rootstocks developed in this program will be commercially released.

Keywords: Apple, rootstock, tolerance, *Phytophthora*, fire blight, woolly aphid, drought stress.

Introduction

Iran is not only one of the major apple producing regions in the world, but also one of the natural habitats, centers of diversity and areas of initial apple distribution in the world (James and Aldwinckle, 1983). Therefore, so far, numerous species and cultivars of this crop have been identified and reported by botanists in Iran. The existence of this genetic diversity and dwarf varieties in ancient Iran was such that a number of ancient miniatures not only depicted the apple tree as one of the main varieties of gardens, but also clearly indicated the existence of dwarf apple varieties in this land. Although dwarf apple trees have been found in the northern forests and highlands of West Azerbaijan, Khorasan, and Isfahan provinces since ancient times. Botanists consider Iran to be one of the areas where ornamental apples, including Morabaei, Azayesh, Sib Gol, and Gamii Almasii, have originated.

Apple trees are mainly found in the form of rootstocks and scions. Rootstocks are responsible for tree establishment and water and nutrient uptake, and also have important effects on scion growth and development, fruit yield and quality, and resistance to biotic and abiotic stresses (Wang *et al.*, 2019). To optimally utilize valuable water and soil resources, it is essential to establish high density and semi-density orchards using suitable and adapted apple rootstocks. Each country use specific rootstocks according to its climatic conditions. Europe began the commercial use of dwarf apple rootstocks relatively early. Currently, apple-producing countries in Europe mainly use clonal rootstocks.

In the Britain, France and the Netherlands, the objectives of breeding are to improve the currently used rootstocks, such as M9 and M26, with better performance in terms of production, fruit size and quality, resistance to soil-borne diseases and pests and competition with weeds for water and nutrients. When carrying out apple rootstock breeding, we must first pay attention to the horticultural characteristics (grafting compatibility, propagation ability, dwarfing, effect on scion growth, etc.). In addition, we must also consider environmental factors (temperature, irrigation, soil pH and fertility, etc.) and biological factors (viruses, bacteria, nematodes, apple woolly aphid and other destructive animals) in the planting area (Robinson *et al.*, 2003).

Important characteristics in improving apple rootstocks: 1. Selection for rooting and clonal propagation ability. The most important characteristic of rootstocks is their ability clonal propagation. If the selected genotype is resistant/tolerant to various stresses but does not have the ability for clonal propagation, it should be screened in the first stage. 2. Selection for micropropagation ability. Micropropagation of apple plays an important role in producing healthy, disease-free plants and rapid propagation of scions and rootstocks with desirable characteristics. Successful micropropagation of apple using apical bud or

branch segment culture is influenced by several internal and external factors, including plant material (such as genotype and physiological state) and laboratory conditions (such as medium components and light). 3. Selection for resistance to crown and root rot disease (*Phytophthora cactorum*) crown and root rot disease of apple trees, especially in areas with poor soil drainage, causes the death of quite large trees. Researchers have conducted extensive research on the evaluation and selection of disease-resistant rootstocks for effective disease management in an integrated control system. According to the Cornell University Rootstock Improvement Protocol, screening the progeny population resulting from cross-breeding in apple rootstocks for *Phytophthora* diseases is considered one of the most important steps in rootstock development (Fazio *et al.*, 2022). 4. Selection for tolerance to drought stress. Investigating the response of plants to drought stress using physiological indicators has been proven in many studies. The main goals of improving apple rootstocks is tolerance to drought stress. Tolerant rootstocks can transfer drought tolerance to the cultivars grafted onto them. 5. Selection for fire blight tolerance Fire blight is transmitted to the tree through rootstocks, and if the rootstock is susceptible, the disease spreads rapidly in the tree and the tree dries up.

Therefore, in apple rootstock breeding programs, fire blight resistance is considered one of the first and most important rootstock screenings criteria. 6. Selection for tolerance to apple woolly aphid The apple woolly aphid is not usually controlled with pesticides because aphids often reside in bark crevices, which reduces their exposure to pesticides, and the protection provided by the waxy secretion on their bodies minimizes the effectiveness of chemical control. Today, many apple rootstock breeding programs emphasize resistance to apple woolly aphid and diseases in addition to desirable horticultural traits. 7. Selection for dwarfing and early fruiting. The evaluation of the dwarfing and the growth ability of the progeny are considered to be the most important indicators for the selection of promising clonal rootstocks (Johnson, 2000).

The best method for evaluating the dwarfing ability of rootstocks is to graft apple varieties onto them and evaluate them in the orchard. To achieve apple rootstocks with adaptability to soil conditions in apple growing areas, crosses between native Iranian dwarf apple genotypes (Azayesh Isfahan and Morabaei Mashhad) as maternal parents and M9, M27, and B9 rootstocks as paternal parents have been carried out from 2005 to 2008, and a population of over 4000 seedlings resulting from the crossing and open pollination of the parents reached the evaluation stage. Primary evaluation for selection of easy rooting apple rootstocks in mound bed layering condition in two stages (from 2009 to 2015) was carried out.

Among 4000 hybrid and open pollinated seedlings, 245 genotypes with high rooting ability were selected. These progenies remained for continuing screening in second phase

of project included: rooting ability of hard wood cutting, in the second screening 27 genotype with high rooting ability was selected. The results showed that in different cross combination, progenies of Azayesh×M27, Azayesh×M9 and Azayesh open pollinated had high rooting ability, and progenies of Morabaei had low rooting. In addition to progenies of Azayesh have good characteristics as rootstock than progenies of Morabaei. Rooting type of progeny was very different, the number of deep root in open pollination progeny of native genotypes was more than commercial apple rootstocks. This characteristic is very important for drought tolerance and adaptability of rootstocks. Then the level of tolerance to biotic and abiotic stresses, including crown and root rot disease, fire blight, woolly apple aphid (*Eriosoma lanigerum*), drought stress tolerance, micro-propagation, and dwarfing ability of the promising genotypes were tested. It is expected that four promising apple rootstocks will be commercially released and available to apple growers in Iran.

References

- Fazio, G., Aldwinckle, H.S. and Robinson T.L. 2022.** Selection of apple rootstock breeding families for Phytophthora crown rot resistance. *Acta Horticulturae*, 1346, pp.717-722. DOI: 10.17660/ActaHortic.2022.1346.90.
- James, N.C. and Aldwinckle, H. 1983.** Breeding Rootstocks. *Plant Breeding Reviews*, 1, pp. 295-394.
- Johnson. W.C. 2000.** Methods and results of screening for disease and insect apple rootstocks. *The Compact Fruit Tree*, 33, pp.108-111.
- Robinson, T.L., Fazio, G. and Aldwinckle, H.S. 2012.** December. Characteristics and performance of four new apple rootstocks from the Cornell-USDA apple rootstock breeding program. *Acta Horticulturae*, 1058, pp.651-656. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1058.85
- Wang, Y., Li, W., Xu, X., Qiu, C., Wu, T., Wei, Q., Ma, F., and Han, Z. 2019.** Progress of apple rootstock breeding and its use. *Horticultural Plant Journal*, 5(5), pp.183–191. DOI: 10.1016/j.hpj.2019.06.001

*Corresponding author: d.atashkar@areeo.ac.ir

Tel.: +982636702541

Received: 31 October 2024

Accepted: 02 January 2025



2023© Seed and Plant. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.