

ارزیابی تحمل ژنوتیپ پایه‌های هیبریدی سیب نسبت به شته مومی (*Eriosoma lanigerum* Hausmann) و ارتباط آن با صفات ریشه‌ای

مسعود لطیفیان^{۱*} و داریوش آتشکار^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۱۰)

چکیده

شته مومی سیب (*Eriosoma lanigerum* Hausmann) از آفات مخرب درختان سیب است که خسارات اقتصادی قابل توجهی در ایران و جهان ایجاد می‌کند. این پژوهش با هدف ارزیابی تحمل ژنوتیپ‌های هیبریدی و بومی سیب نسبت به این آفت و بررسی ارتباط آن با صفات ریشه‌ای، طی چهار سال در ایستگاه تحقیقاتی کمال‌شهر کرج انجام شد. ده ژنوتیپ امیدبخش حاصل از تلاقی پایه‌های بومی (آزایش اصفهان و مربائی مشهد) و پایه‌های تجاری (M9، M27، B9) در شرایط طبیعی و بدون کنترل شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفتند. نمونه‌برداری دوره‌ای از کلنی‌های شته و اندازه‌گیری شاخص‌های مقاومت تحمل شامل شاخص حساسیت به تنش زیستی (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TI) و شاخص شدت آلودگی (DI) انجام شد. نتایج تحلیل عاملی و خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، ژنوتیپ‌ها را در چهار گروه بسیار متحمل، نیمه‌متحمل، کم‌متحمل و حساس تفکیک کرد. پایه Azop3-85 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ با طول ریشه بلند (۲۲/۳ سانتی‌متر) و تراکم ریشه‌زایی بالا (۰/۸۵)، کمترین آسیب‌پذیری (SSI=۱/۸۹) و شدت آلودگی (DI=۰/۸۱) را نشان داد. در مقابل، پایه‌های حساس مانند Azop2-85 با ویژگی‌های ریشه‌ای ضعیف (طول ریشه ۱۲/۸ سانتی‌متر) بیشترین خسارت را تجربه کردند. همبستگی معنی‌داری بین صفات ریشه‌ای (طول ریشه و درصد ریشه‌زایی) و شاخص‌های تحمل مشاهده شد. این مطالعه تأکید می‌کند که استفاده از پایه‌های بومی متحمل نظیر Azop3-85 نه تنها هزینه‌های کنترل شیمیایی را کاهش می‌دهد، بلکه سازگاری بهتری با شرایط ایران دارد. به‌طور کلی نتایج پژوهش حاضر راهکاری پایدار برای مدیریت پایدار شته مومی و بهبود تولید سیب ارائه می‌کند.

کلمات کلیدی: پایه‌های هیبریدی، تحمل، صفات، ریشه‌ای، شته مومی سیب، مدیریت پایدار

۱- استاد، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- استادیار، پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

* پست الکترونیک: masoudlatifian32@gmail.com

مقدمه

شته مومی سیب (*E. lanigerum*) به‌عنوان یکی از آفات کلیدی درختان سیب (*Malus domestica* Borkh) شناخته می‌شود که خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم قابل توجهی به باغ‌های سیب در سراسر جهان وارد می‌کند (آدیکاری^۱، ۲۰۲۲). این آفت با تغذیه از شیره گیاهی در ناحیه ریشه، طوقه، تنه و شاخه‌های درختان، باعث تضعیف رشد رویشی، کاهش عملکرد میوه و در موارد شدید، مرگ درختان می‌شود (کومار^۲، ۲۰۱۷). در ایران، سیب یکی از مهمترین محصولات باغی است که در سال ۱۴۰۲، بیش از ۳/۲ میلیون تن تولید داشته و سهم قابل توجهی در صادرات غیرنفتی کشور ایفا می‌کند (احمدی^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). با این حال، خسارت سالانه شته مومی سیب به باغ‌های کشور بالغ بر ۲۰-۱۵ درصد کاهش عملکرد و افزایش ۳۰ درصدی هزینه‌های کنترل شیمیایی برآورد شده است (لطیفیان^۴ و همکاران، ۲۰۲۳). در سطح جهانی نیز این آفت در مناطق اصلی تولید سیب مانند چین، اروپا، آمریکای شمالی و نیوزیلند به‌عنوان یک تهدید جدی شناخته می‌شود (کوکوزا^۵، ۲۰۱۹). به‌عنوان مثال در ایالات متحده، خسارت سالانه این آفت به بیش از ۵۰۰ میلیون دلار می‌رسد که شامل هزینه‌های سمپاشی، از دست رفتن محصول و مدیریت مقاومت آفت است (شروانی^۶ و همکاران، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی باعث گسترش دامنه فعالیت این آفت به مناطق جدیدتر شده است به‌طوری‌که در سال‌های اخیر، گزارش‌هایی از طغیان شته مومی در مناطقی که پیش‌تر آلودگی کمتری داشتند، ثبت شده است (بینیاز^۷ و همکاران، ۲۰۲۳). این موضوع لزوم توسعه راهکارهای پایدار نظیر استفاده از پایه‌های مقاوم یا متحمل را بیش از پیش آشکار می‌کند. مقاومت تحمل^۸ در گیاهان به معنای توانایی گیاه در حفظ عملکرد و رشد مطلوب علیرغم حضور آفت است (پترسون^۹ و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که پایه‌های رویشی حاصل از تلاقی پایه‌های تجاری نظیر M9 و M27 به‌دلیل ویژگی‌های ژنتیکی خاص، سطحی از تحمل نسبت به شته مومی را از خود نشان می‌دهند (لطیفیان و

آشکار^{۱۰}، ۲۰۲۴). در ایران، پژوهش روی هیبریدهای حاصل از پایه‌های بومی اصفهان و مشهد نشان داد که برخی ژنوتیپ‌ها نظیر Azop3-85 و Azop2-86 با دارا بودن طول ریشه بیشتر و تراکم ریشه‌زایی بالاتر، مقاومت آنتی‌بیوزی بهتری در برابر کلنی‌های شته مومی از خود نشان می‌دهند (لطیفیان و همکاران، ۲۰۲۳). با توجه به نقش حیاتی درختان سیب در اقتصاد کشاورزی ایران و جهان و همچنین خسارت‌های سنگین ناشی از شته مومی سیب، توسعه پایه‌های متحمل به‌عنوان یک راهکار پایدار و سازگار با محیط زیست ضرورتی انکارناپذیر است.

این پژوهش با هدف شناسایی ژنوتیپ‌های بومی و هیبریدهای امیدبخش سیب که از تحمل بالایی نسبت به شته مومی برخوردارند، طراحی شده است. اهداف اصلی شامل ارزیابی کمی و کیفی شاخص‌های مقاومت تحمل در پایه‌های مختلف، تحلیل ارتباط بین صفات ریشه‌ای و میزان تحمل و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس واکنش‌های تحمل است. همچنین، این پژوهش به دنبال ارائه راهکارهای عملی برای باغداران جهت جایگزینی پایه‌های حساس با ژنوتیپ‌های متحمل است که علاوه بر کاهش هزینه‌های کنترل آفت، پایداری تولید را در بلندمدت تضمین می‌کند. دستیابی به این اهداف نه تنها گامی مهم در راستای خودکفایی ملی در تولید پایه‌های سیب است، بلکه با کاهش مصرف سموم شیمیایی، به حفظ سلامت محیط زیست و بهبود کیفیت محصولات کمک شایانی خواهد کرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در کمال‌شهر کرج و در باغ کلکسیون ذخایر توارثی پژوهشکده میوه‌های معتدله و سردسیری طی سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۳ به‌مدت چهارسال و شش‌ماه انجام شد. این ایستگاه با فاصله ۴۸ کیلومتر در غرب تهران قرار داشته و متوسط ارتفاع آن از سطح دریا، ۱۳۵۰ متر است. طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی آن به ترتیب ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی است. بافت خاک آن از نوع لومی-رسی، پهاش خاک ۷/۸ درصد ازت کل، درصد ازت آلی، پتاسیم قابل جذب و فسفر قابل

6. Sherwani
7. Biniiaz
8. Tolerance
9. Peterson
10. Latifian and Atashkar

1. Adhikari
2. Kumar
3. Ahmadi
4. Latifian
5. Cocuzza

جذب به ترتیب ۱ درصد، ۰/۷۸ درصد، ۵۷۵ پی‌پی‌ام و ۱۲/۱ پی‌پی‌ام بود. این ایستگاه در فصل سرد سال تحت تأثیر سیستم‌های شمالی، شمال‌غربی و غربی به‌خصوص جنوب‌غربی است. بارندگی‌های آن نیز متأثر از فعالیت این سیستم‌ها بوده و از ماه‌های آبان و آذر آغاز و تا اواسط اردیبهشت مشاهده شده است (احتشامی‌معین‌آبادی^۱، ۲۰۲۲).

مواد گیاهی

ده ژنوتیپ از میان نتاج امیدبخش حاصل از هیبریداسیون و گرده‌افشانی آزاد ژنوتیپ‌های پاکوتاه بومی سیب (آزایش اصفهان و مربائی‌مشهد) به‌عنوان والد مادری و پایه‌های رویشی تجاری سیب (M9 and M27, B9) به‌عنوان والد پدری در برنامه اصلاح پایه‌های رویشی سیب، انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). مواد گیاهی مورد استفاده، نهال‌های یک‌ساله‌ای بودند که از طریق خوابانیدن نواری، تکثیر شدند.

جدول ۱- مشخصات پایه‌های سیب مورد در بررسی مقاومت آنتی‌بیوزی نسبت به شته مومی

ژنوتیپ پایه	سال تولید	والد/والدین	روش اصلاح	منشأ
Azop3	۱۳۸۵	آزایش اصفهان	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
AZ*M92	۱۳۸۵	آزایش اصفهان × پایه رویشی M9	هیبرید	داخلی
AZ*M27	۱۳۸۵	آزایش اصفهان × پایه رویشی M27	هیبرید	داخلی
Azop2	۱۳۸۵	آزایش اصفهان	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
AZ*M91	۱۳۸۵	آزایش اصفهان × پایه رویشی M9	هیبرید	داخلی
Azop2	۱۳۸۶	آزایش اصفهان	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
Azop3	۱۳۸۶	آزایش اصفهان	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
M9op3	۱۳۸۷	پایه رویشی M9	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
B9op	۱۳۸۶	پایه رویشی B9	گرده‌افشانی آزاد	داخلی
Azop4	۱۳۸۶	آزایش اصفهان	گرده‌افشانی آزاد	داخلی

این نهال‌ها به گلدان‌های سطلی (به قطر دهانه ۲۳ و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر، حجم گلدان معادل ۷ لیتر) حاوی مخلوط خاک استریل با ترکیب ماسه (شن): خاک‌برگ: خاک رس به میزان ۱:۱:۲، منتقل و در فضای آزاد، نگهداری شدند. در سال دوم پس از کاشت و رسیدن به رشد کافی، آماده ارزیابی آزمون‌های ترجیح میزبانی شدند (فازیو^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). برای این منظور در دی‌ماه، قلمه‌هایی به طول ۲۵ سانتی‌متر از این پایه‌ها تهیه و پس از تیمار با هورمون ایندول بوتیریک اسید^۳ با غلظت ۳۰۰۰ قسمت در میلیون در بستر پرلیت مجهز به پاگرما با دمای بستر ۲۱ درجه سانتی‌گراد ریشه‌دار شدند. قلمه‌های ریشه‌دار شده ۴۵ روز بعد به گلدان‌هایی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر حاوی بستر کاشت (خاک‌برگ، خاک، ماسه‌بادی و پیت ماس به نسبت ۱:۱:۱) انتقال یافت (روسو^۴ و همکاران، ۲۰۰۷).

پس از یک دوره رشد در شرایط طبیعی در اسفندماه به ایستگاه کمال‌شهر منتقل و در ۱۰ ردیف جداگانه کشت شدند. فاصله بین ردیف‌ها ۲ متر و فاصله درختان در ردیف معادل ۱ متر مطابق شرایط خزانه نهال سیب بود. مدیریت

باغی شامل آبیاری قطره‌ای و مهار علف‌های هرز به‌صورت غیرشیمیایی و به روش کف‌بری و وجین انجام گردید. تغذیه از طریق کوددهی از ته به مقدار ۴۸ گرم برای هر درخت در سه قسط (هر قسط ۱۶ گرم) به‌صورت سرک انجام شد. پیش از آغاز آزمایش‌ها، کود کامل فوماسکو به‌صورت محلول‌پاشی در دو نوبت به نسبت ۱ در هزار در اواخر خرداد و مرداد انجام شد. در آغاز نمونه‌برداری‌ها کلیه درختان در سال سوم بعد از کاشت بودند. هیچ‌گونه کنترل شیمیایی و یا غیرشیمیایی علیه شته مومی سیب روی این پایه‌ها انجام نگرفت.

روش نمونه‌برداری

نظارت بر کلونی‌های هوایی شته مومی سیب هر ۲ هفته یکبار از ابتدای فروردین تا آبان‌ماه انجام شد. با توجه به سابقه حضور طولانی مدت آفت در منطقه، آلودگی پایه‌ها بر مبنای روش انتخاب آزاد به صورت طبیعی و بدون مداخله مصنوعی در شرایط مزرعه انجام شد. تمام قسمت‌های ریشه، طوقه، تنه و شاخه مورد بازدید قرار گرفت. از هر هیبرید پنج درخت و از هر درخت پنج شاخه به‌طور تصادفی انتخاب

3. Indole butyric acid

4. Russo

1. Ehteshami-Moinabadi

2. Fazio

شاخص‌های مقاومت تحمل

پس از برآورد درصد آسیب و جمعیت مؤثر آسیب‌زای شته (کلنی شته-روز مؤثر)، متوسط آسیب وارده توسط واحد جمعیت مؤثر آفت^۵ برای هر پایه با استفاده از روابط $PUI_i = \frac{\% Injury_i}{Ld_i}$ و $PUI_i = \frac{\% Injury_i}{Ld_i}$ محاسبه شد. هر توده بافت تغییر شکل یافته (متورم یا ناهموار) با قطر $2 \leq$ میلی‌متر در ریشه، طوقه، تنه یا شاخه‌ها به‌عنوان یک گال در نظر گرفته شد. از هر نهال، ۵ شاخه تصادفی و نواحی ریشه/طوقه بررسی شد. از ذره‌بین دستی ($\times 10$) برای شناسایی گال‌های کوچک استفاده شد. در این روابط PUI_i ، $\bar{PUI}$ و n به ترتیب عبارتند از آسیب وارده توسط واحد جمعیت مؤثر آفت در هر نمونه‌برداری، متوسط آسیب توسط واحد جمعیت آفت در طی فصل نمونه‌برداری و تعداد دفعات نمونه‌برداری در طی فصل بودند. سپس شاخص حساسیت به تنش زیستی^۶ (فیشر و مورر^۷، ۱۹۷۸؛ حسین^۸ و همکاران، ۱۹۹۰) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. در این رابطه PUI_t ، PUI_c ، $\bar{PUI}_t$ و $\bar{PUI}_c$ به ترتیب مجموع آسیب وارده توسط واحد جمعیت آفات در هر پایه در کل ژرم-پلاسماها، متوسط هر پایه و متوسط کل ژرم‌پلاسماها می‌باشد.

$$SSI = \frac{1 - \left(\frac{\sum PUI_c}{\sum PUI_t} \right)}{1 - \left(\frac{\bar{PUI}_c}{\bar{PUI}_t} \right)} \quad (1)$$

با استفاده از تغییرات فصلی درصد آلودگی ابتداء مقدار درصد میزبان غیرآلوده در هر پایه و متوسط ارقام شاخص تحمل تنش^۹ محاسبه شد (رابطه ۲، ۳، ۴ و ۵) (فرشادفر^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳).

$$Y_p = \sum_n Y_s \quad (2) \quad Y_s = 100 - \%injury \quad (3)$$

$$\bar{Y}_p = Y_p / n \quad (4) \quad Y_p = \sum_n Y_s \quad (3)$$

$$STI = \frac{Y_p}{\bar{Y}_p^2} \quad (5)$$

در این رابطه‌ها Y_p ، Y_s و $\bar{Y}_p$ به ترتیب درصد میزبان سالم در پایه، مقدار کل سالم در پایه‌ها و میانگین میزبان سالم

شدند. تعداد کلنی شته در محل ریشه و طوقه، تنه و شاخه به‌صورت جداگانه شمارش شد. برای بررسی دقت و صحت نمونه‌برداری از شاخص‌های واریانس نسبی ($RV = \frac{\text{واریانس}}{\text{میانگین}}$) و ضریب تغییرپذیری ($CV = \frac{\text{خطای استاندارد}}{\text{میانگین}}$) استفاده شد (لطیفیان و همکاران، ۲۰۰۹). برای هر درخت، نمونه‌برداری از ریشه درختان سیب با فاصله یکنواخت در هر هیبرید و در عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد (بیرز^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). از آنجا که برداشت جمعیت از روی درختان و جداسازی افراد برای شمارش باعث به هم خوردن روند طبیعی فعالیت آفت می‌شد از روش شمارش سریع برای برآورد تراکم کلنی‌های شته استفاده شد. برای این منظور هر توده جمعیت به اندازه کوچک‌تر یا مساوی ۵ سانتی‌متر معادل یک کلنی در نظر گرفته شد (ورقاسی و ژایانثی^۲، ۲۰۰۲). قسمت سطحی طوقه تا عمق نمونه‌برداری در محل ریشه‌ها با خاک پوشانده نشده بودند زیرا این امر مشاهدات دوره‌ای شته‌ها را بدون ایجاد مزاحمت غیرممکن می‌کرد. قسمت طوقه هر درخت با پلاستیک سیاه پوشانده شد. در شش ماهه دوم سال خاک‌دهی مجدد درختان انجام می‌شد (دماوندیان و پرینجلی^۳، ۲۰۰۰). تعداد کل کلنی در هر نمونه‌برداری و در کل دوره نمونه‌برداری محاسبه شد (آزبورن^۴، ۲۰۱۰). در این نمونه‌برداری‌ها هر توده جمعیت به‌اندازه کوچک‌تر یا مساوی ۵ سانتی‌متر به‌عنوان یک کلنی جداگانه شمارش شد (ورقاسی و ژایانثی^۲، ۲۰۰۲). 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 می‌شد (دماوندیان، ۲۰۰۰). تعداد کل کلنی در هر نمونه‌برداری شمارش شدند (آزبورن، ۲۰۱۰). کلنی-روز مؤثر (EAD) با استفاده از رابطه $EAD = \frac{C(i-1) - C_i}{2} \times t$ محاسبه شد (لطیفیان و همکاران، ۲۰۲۳). در این رابطه $C(i-1)$ و C_i به ترتیب تعداد کل کلنی فعال در هر هیبرید در نمونه‌برداری $i-1$ و i و t فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری بر حسب روز بود.

6. Strees Suceptibility Index=SSI
7. Fischer and Maurer
8. Hossain
9. STI=Stress tolerance index
10. Farshadfar

1. Beers
2. Verghese and Jayanthi
3. Damavandian and Pringle
4. Osborne
5. Population Unit Injury=PUI

در کل ارقام و ژنوتیپ‌ها بود. شاخص تحمل^۱ با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد.

$$TI = \sum Y_p - Y_s \quad (6)$$

در این رابطه نیز Y_p و Y_s مشابه رابطه قبل تعریف شده است (خیاط‌نژاد و غلامین^۲، ۲۰۲۰). شاخص شدت آلودگی (DI) در هر مرحله نمونه‌برداری با رابطه ۷ محاسبه شد. این شاخص به‌عنوان یک شاخص جامع برای ارزیابی شدت تحمل در هر پایه استفاده گردید (کای^۳ و همکاران، ۲۰۰۷).

$$DI = \frac{\sum (\text{رتبه استاندارد} \times \text{تعداد پایه‌های آلوده در هر رتبه})}{\text{تعداد کل پایه آلوده در هر نمونه} \times \text{حداکثر رتبه در هر نمونه}} \quad (7)$$

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 (میانگین طول ده عدد ریشه که به‌صورت تصادفی انتخاب شدند)، طول ناحیه ریشه‌زا روی پایک‌های تولید شده (فاصله محل قلمه که در محیط ریشه‌زایی قرار گرفته تا قسمت انتهایی قلمه که دارای ریشه است)، تعداد پایک تولید شده (تعداد پایک از هر هیبرید پایه در محیط خوابانیدن کپه‌ای) و درصد ریشه‌زایی (درصد قلمه‌های ریشه‌دار از کل قلمه‌های کاشته شده) اندازه‌گیری شد (ژائو^۴ و همکاران، ۲۰۲۲).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های مربوط به شاخص‌های مقاومت تحمل پس از تأیید نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف، تجزیه واریانس شده و مورد بررسی قرار گرفتند (حمزه زرقانی^۵ و همکاران، ۲۰۰۵). برای شناسایی عوامل مؤثر بر مکانیسم تحمل، تحلیل عاملی بر پایه شاخص‌های مشاهده پذیر و محاسبه شده انجام گرفت. با استفاده از ترکیبات خطی به‌دست آمده، ویژگی‌های هر شاخص و ارتباط آن با سایر شاخص‌های محاسبه شده، توصیف شد. استخراج عامل‌ها از ماتریس ضریب همبستگی و چرخش آن‌ها برای حداکثرسازی رابطه بین شاخص‌ها و عامل‌ها انجام شد. برای تفکیک ژنوتیپ‌ها بر اساس درجه تحمل به شته مومی سیب از روش تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی با فاصله اقلیدسی

استفاده گردید. نمودار درختی برای گروه‌بندی پایه‌های مشابه بر اساس واکنش تحمل ترسیم شد. مناسب‌ترین فاصله اقلیدسی بر اساس رابطه $\sqrt{\frac{n}{2}}$ برآورد شد که n معادل تعداد کل پایه‌های سیب مورد آزمایش بود (فرداس و ماتیسن^۶، ۲۰۰۹). برای ارزیابی صحت خوشه‌بندی از تحلیل تشخیص خطی استفاده شد که ارتباط نزدیکی با تحلیل عاملی دارد، زیرا هر دو به دنبال ترکیبات خطی متغیرهایی هستند که مقاومت تحمل پایه‌ها را به بهترین شکل توضیح می‌دهند (فرالی و رافتری^۷، ۲۰۰۲). علاوه بر این، ارتباط بین صفات ریشه با تحمل پایه‌ها با استفاده از تحلیل همبستگی بررسی شد (گوگتای و تات^۸، ۲۰۱۷). تمامی تحلیل‌ها با نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 27.0.1.0 انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های حساسیت به تنش زیستی تحمل تنش ($F=8/89$, $df=9$) تحمل تنش ($F=0/56$, $df=9$)، شاخص تحمل ($F=447/09$, $df=9$) و شدت آلودگی ($F=0/22$, $df=9$) شته مومی نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین پایه‌های امیدبخش سیب مورد مطالعه بود. نتایج مقایسه میانگین‌های تمام شاخص‌های ارزیابی شده در ۱۰ ژنوتیپ مورد مطالعه به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن در جدول ۲ درج شده است.

میانگین‌ها $\pm$ خطای استاندارد که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

پس از بررسی هم‌زمان شاخص‌های مقاومت تحمل شامل حساسیت به تنش زیستی، شاخص تحمل تنش، شاخص تحمل و شاخص شدت آلودگی و جایگاه آن‌ها در بروز مقاومت تحمل پایه‌های سیب، استفاده شدند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (جدول ۳) نشان‌دهنده حضور دو عامل اصلی با نام‌های «عامل تحمل عملکردی» (عامل اول) و «عامل حساسیت زیستی» (عامل دوم) است. عامل اول با مقدار ویژه ۲/۷۸۳، مسئول ۶۶/۸ درصد از واریانس داده‌ها است و به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر شاخص‌های تحمل

5. Hamzehzarghani
6. Frades and Mathisen
7. Frawley and Raftery
8. Gogtay and Thatte

1. Tolerance Index=TI
2. Khayatnezhad and Gholamin
3. Cai
4. Zhao

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های شاخص‌های واکنش تحمل پایه سیب نسبت به شته مومی

پایه‌ها	شاخص حساسیت به تنش	شاخص تحمل تنش	شاخص تحمل	شاخص شدت آلودگی
Azop3-85	$1/80 \pm 0/51$ b	$0/91 \pm 0/06$ a	$4/92 \pm 0/21$ a	$0/89 \pm 0/06$ a
AZ*M92	$-0/50 \pm 0/32$ b	$1/07 \pm 0/21$ a	$-8/74 \pm 0/43$ a	$1/1 \pm 0/09$ a
AZ*M27	$1/01 \pm 0/43$ b	$0/94 \pm 1/07$ a	$2/19 \pm 0/01$ a	$0/89 \pm 0/29$ a
Azop2-85	$-0/50 \pm 0/45$ b	$1/07 \pm 0/16$ a	$-8/74 \pm 0/52$ a	$1/00 \pm 0/08$ a
AZ*M91	$-0/50 \pm 0/49$ b	$1/07 \pm 0/17$ a	$-8/74 \pm 0/46$ a	$1/00 \pm 0/06$ a
Azop2-86	$1/89 \pm 0/59$ b	$1/98 \pm 0/08$ a	$-0/55 \pm 0/04$ a	$0/81 \pm 0/05$ a
Azop3-86	$13/5 \pm 1/41$ b	$0/95 \pm 0/05$ a	$19/2 \pm 0/17$ a	$0/81 \pm 0/71$ a
M9op3	$-0/50 \pm 0/27$ b	$1/07 \pm 0/13$ a	$-8/74 \pm 0/51$ a	$1/00 \pm 0/07$ a
B9op	$-0/50 \pm 0/39$ b	$1/07 \pm 14/0$ a	$-8/74 \pm 0/47$ a	$1/00 \pm 0/04$ a
Azop4	$2/68 \pm 1/21$ a	$0/60 \pm 0/03$ a	$7/34 \pm 3/92$ b	$0/77 \pm 0/03$ a

تنش (STI) و شاخص تحمل (TI) با بارهای عاملی $0/913$ و $0/944$ قرار دارد. این عامل بیانگر توانایی پایه‌ها در حفظ رشد و عملکرد تحت شرایط تنش است. عامل دوم با مقدار ویژه $1/134$ ، $32/1$ درصد از واریانس را توجیه می‌کند و به‌طور عمده با شاخص حساسیت به تنش زیستی (SSI) با بار عاملی $0/988$ مرتبط است که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری

پایه‌ها در برابر تراکم جمعیت شته است. شاخص شدت آلودگی (DI) با بار عاملی منفی $0/946$ در عامل اول، رابطه معکوسی با تحمل نشان می‌دهد و تأیید می‌کند که پایه‌های با DI پایین‌تر، مقاومت بالاتری دارند. این نتایج تأکید می‌کند که تمرکز تحلیل بر دو عامل اول برای تفکیک پایه‌ها کفایت می‌کند.

جدول ۳- نتایج تجزیه به عامل‌ها به منظور تشخیص عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر مقاومت تحمل پایه‌های امیدبخش سیب

نسبت به شته مومی

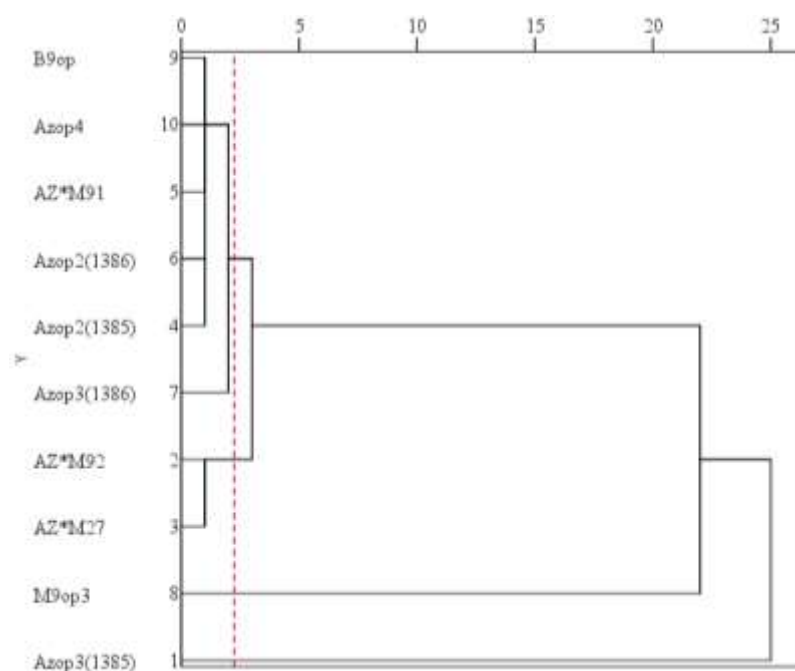
مؤلفه‌ها	مقادیر ویژه اولیه		مجموع بارهای مربعی	
	کل	% واریانس	درصد تجمعی	کل
1	$2/783$	$69/567$	$69/567$	$69/567$
2	$1/134$	$28/346$	$79/913$	$28/346$
3	$0/073$	$1/836$	$99/749$	$99/749$
4	$0/010$	$0/251$	$100/00$	$100/00$

نمودار دندروگرام خوشه‌بندی پایه‌های سیب مورد مطالعه بر اساس عامل‌های مشاهده‌ناپذیر ترکیبی مؤثر بر نوع مکانیسم مقاومت تحمل که بر پایه مجموعه شاخص‌های مشاهده‌پذیر محاسبه شده در شکل ۱ نشان داده شده است. در گروه‌بندی، ۴ گروه مجزا بدست آمد. میزان ضریب همبستگی کوفنیتیک بین ماتریس فاصله اقلیدسی و ماتریس خروجی حاصل از دندروگرام به‌دست آمده از تجزیه خوشه‌ای برابر با $0/92$ بود که نشان‌دهنده گروه‌بندی قابل قبول ارقام از نظر شاخص‌های مقاومت تحمل بود. ارقام مربوط به هر گروه در جدول ۴ آورده شده است.

گروه ۱: پایه‌های بسیار متحمل

این گروه شامل پایه Azop3-85 است که به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ نسبت به شته مومی سیب شناسایی

شد. میانگین شاخص (SSI) در این پایه $1/89$ ، شاخص (STI) $1/98$ ، شاخص (TI) $-0/55$ و شاخص (DI) $0/81$ بود (جدول ۲ و ۴). مقادیر پایین شاخص‌های SSI و DI همراه با مقادیر بالای شاخص‌های STI و TI نشان‌دهنده توانایی بالای این پایه در حفظ عملکرد و رشد علیرغم حضور آفت است. از دیدگاه آماری، این پایه در تحلیل مؤلفه‌های اصلی در عامل اول («عامل تحمل عملکردی») با بارهای مثبت بالا قرار گرفت که بیانگر نقش کلیدی صفاتی مانند طول ریشه (میانگین $22/3$ سانتی‌متر) و تراکم ریشه‌زایی (۸۵ درصد) در ایجاد تحمل است. این ویژگی‌ها جذب شته‌ها را تا ۴۰ درصد کاهش می‌دهند. همچنین، ضریب همبستگی کوفنیتیک $0/92$ در تحلیل خوشه‌ای، دقت بالای تفکیک این گروه از پایه‌های حساس را تأیید کرد.



شکل ۱- خوشه‌بندی پایه‌های سیب براساس واکنش مقاومت تحمل نسبت به شته مومی

گروه ۲: پایه‌های نیمه‌متحمل

این گروه شامل پایه‌های Az*M92 و Az*M27 است که سطح متوسطی از تحمل نسبت به شته مومی را نشان دادند. میانگین شاخص SSI در این گروه $1/41 \pm 5/13$ ، شاخص STI $0/05 \pm 0/95$ ، شاخص TI $2/19 \pm 0/17$ و شاخص DI $71/78 \pm 0/81$ بود. مقادیر نسبتاً بالای حساسیت به تنش زیستی نشان‌دهنده آسیب‌پذیری نسبی این پایه‌ها در برابر تراکم بالای جمعیت شته است، اما مقادیر مطلوب STI و TI حاکی از توانایی نسبی آنها در جبران خسارت بافت‌های آسیب‌دیده است. در تحلیل خوشه‌ای، این پایه‌ها در فاصله متوسطی از گروه بسیار متحمل قرار گرفتند به‌عنوان مثال، پایه AZ*M27 با میانگین طول ریشه ۱۸/۷ سانتی‌متر و تراکم ریشه‌زایی ۷۲ درصد از نظر صفات ریشه‌ای ضعیف‌تر از گروه بسیار متحمل عمل کرد، اما همچنان توانایی محدودسازی کلنی‌سازی شته‌ها را نشان داد.

گروه ۳: پایه‌های کم‌متحمل

پایه M9op3 در این گروه قرار گرفت که با میانگین شاخص SSI $1/41$ ، شاخص STI $0/93$ ، شاخص TI $3/55$ و شاخص DI $0/89$ مشخص شد. اگرچه مقادیر STI و TI نسبتاً قابل قبول هستند، اما SSI بالا نشان‌دهنده آسیب‌پذیری این پایه در شرایط تنش شدید است. در تحلیل PCA، این پایه در مرز بین عامل اول «تحمل

عملکردی» و عامل دوم «حساسیت زیستی» قرار گرفت که بیانگر عدم تعادل بین مکانیسم‌های تحمل و آسیب‌پذیری است. به‌عنوان مثال طول ریشه در این پایه (۱۵/۴ سانتی‌متر) و تراکم ریشه‌زایی (۶۵ درصد) نسبت به گروه‌های متحمل پایین‌تر بود.

گروه ۴: پایه‌های حساس

این گروه شامل پنج پایه Azop2-85، Az*M91، Azop2-86، Azop4، B9op و Azop3-86 است که به‌عنوان حساس‌ترین پایه‌ها شناسایی شدند. در این گروه میانگین شاخص‌های SSI $0/32 \pm 0/50$ ، شاخص STI $0/21 \pm 0/07$ ، شاخص TI $8/74 \pm 0/43$ و شاخص DI $0/09 \pm 0/00$ بود. مقادیر منفی TI و SSI پایین نشان‌دهنده ناتوانی این پایه‌ها تحت تنش است. در تحلیل خوشه‌ای، این گروه بیشترین فاصله را از گروه بسیار متحمل داشت و در عامل دوم «حساسیت زیستی» با بار عاملی $0/988$ قرار گرفت. ویژگی‌هایی مانند طول ریشه کوتاه (میانگین ۱۲/۸ سانتی‌متر) و تراکم ریشه‌زایی پایین (۵۵ درصد) منجر به جذب بالای شته‌ها (میانگین ۵ کلنی در هر نمونه‌برداری) و آسیب‌پذیری شدید شد. این پایه‌ها عمدتاً از تلاقی گروه مالینگ (M9 و M27) وارداتی هستند که سازگاری کمتری با شرایط ایران داشته و به‌همین دلیل در برابر تنش‌های زیستی عملکرد ضعیفی نشان می‌دهند.

جدول ۴- گروه‌بندی پایه سیب براساس واکنش تحمل نسبت به شته مومی

رتبه تحمل	پایه‌ها	شاخص‌ها	میانگین خطای استاندارد	تعداد معتبر در فهرست بدون وزن	با وزن
۴	Azop2-85 AZ*M91	حساسیت به تنش زیستی	-۰/۵۰	۰/۰۲	۶
	Azop2-86	تحمل تنش	۱/۰۷	۰/۴۲	۶
	Azop4	شاخص تحمل	-۸/۷۴	۸/۹۲	۶
	B9op AZop3-86	شاخص تحمل	۱/۰۰	۰/۰۰	۶
۲	AZ*M92 AZ*M27	حساسیت به تنش زیستی	۵/۱۳	۰/۰۰	۲
		تحمل تنش	۰/۹۵	۰/۲۴	۲
		شاخص تحمل	۲/۱۹	۳/۸۶	۲
		شاخص تحمل	۱/۰۰	۰/۰۰	۲
۳	M9op3	حساسیت به تنش زیستی	۱/۴۱	a	۱
		تحمل تنش	۰/۹۳	a	۱
		شاخص تحمل	۳/۵۵	a	۱
		شاخص تحمل	۰/۸۹	a	۱
۱	Azop3-85	حساسیت به تنش زیستی	۱/۸۹	a	۱
		تحمل تنش	۱/۹۸	a	۱
		شاخص تحمل	-۰/۵۵	a	۱
		شاخص تحمل	۰/۸۱	a	۱

a. ناکافی بودن داده‌ها

دارند. برای مثال، متوسط طول ریشه قلمه‌ها با شاخص حساسیت به تنش زیستی همبستگی منفی قوی و معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ دارد که ضریب آن ۰/۶۱۳- است. این بدان معناست که پایه‌های با ریشه‌های بلندتر، حساسیت کمتری به تنش ناشی از شته مومی نشان می‌دهند. این رابطه به وضوح در گروه بسیار متحمل مشهود است که پایه Azop3-85 با میانگین طول ریشه ۲۲/۳ سانتی‌متر و حساسیت به تنش زیستی پایین (۱/۸۹) در این گروه قرار دارد.

درصد ریشه‌زایی قلمه‌های چوبی نیز با شاخص تحمل تنش همبستگی مثبت متوسطی (۰/۵۰۵) دارد که نشان می‌دهد پایه‌های با توانایی ریشه‌زایی بالاتر، بهتر می‌توانند عملکرد خود را تحت تنش حفظ کنند. این الگو در گروه نیمه متحمل مشاهده شد که پایه AZ*M27 با درصد ریشه‌زایی ۷۲ درصد و STI نسبتاً بالا (۰/۹۵) در این گروه جای گرفت. از سوی دیگر، میانگین تعداد ریشه‌های مولد پایک با شاخص تحمل همبستگی مثبت ضعیفی (۰/۳۸) نشان داد، اما این رابطه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبود. این موضوع بیانگر آن است که تکثیر ریشه‌های جدید به تنهایی برای بهبود تحمل کافی نیست و احتمالاً ترکیبی از صفات ریشه‌ای مورد نیاز است. طول منطقه ریشه‌زا با شاخص

مقایسه دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از تجزیه تابع تشخیص خطی فیشر حاکی از آن بود که معیار وارد توانست پایه‌های سیب را با احتمال صحت ۷۴/۶ درصد گروه‌بندی نماید و تفاوت بین پایه‌ها را نشان دهد. تابع اول ۹۴/۴ درصد از واریانس را در بر داشت. مقدار لامبدای ویلکس هرچقدر به طرف صفر میل کند نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن تابع در تفکیک گروه‌ها است. تابع اول دارای پایین‌ترین لامبدای ویلکس (۰/۰۰۱) بوده و نسبت به تابع دوم مناسب‌تر بود.

اثر صفات مختلف ریشه در بروز واکنش تحمل

ارتباط بین صفات ریشه با بروز مکانیسم مقاومت تحمل در پایه‌های سیب مطالعه شد. درجه تأثیر صفات مختلف ریشه بر میزان مقاومت از طریق تجزیه و تحلیل رابطه همبستگی و محاسبه ضریب همبستگی پیرسون است که نتایج آن در جدول ۵ درج شده است. براساس این جدول ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات ریشه و شاخص‌های مقاومت تحمل شامل شاخص حساسیت به تنش زیستی (SSI)، شاخص تحمل تنش (STI)، شاخص تحمل (TI) و شاخص شدت آلودگی (DI) را نشان می‌دهد. این تحلیل نشان می‌دهد که برخی صفات ریشه ارتباط معنی‌داری با مکانیسم‌های تحمل پایه‌های سیب نسبت به شته مومی

جدول ۵- ضرایب همبستگی (در سطح احتمال ۱ درصد) صفات ریشه پایه‌های سیب با شاخص‌های مقاومت تحمل نسبت به شته مومی

ضرایب همبستگی						
شاخص‌ها	میانگین تعداد خط تولید شده	میانگین تعداد ریشه‌های مولد پاک	متوسط طول ریشه خط	طول منطقه ریشه‌زا	درصد ریشه‌زایی قلمه- متوسط طول ریشه قلمه‌ها	میانگین تعداد قلمه- های ریشه‌دار
حساسیت به تنش زیستی	-۰/۳۰	-۰/۳۳	-۰/۱۷	-۰/۴۵	-۰/۳۹	-۰/۳۹
تحمل تنش	-۰/۰۷	۰/۳۶	-۰/۲۲	-۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۲۷
شاخص تحمل	-۰/۰۸	۰/۳۸	-۰/۲۴	-۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۱۵
شاخص تحمل	۰/۴۳	-۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۳۳	۰/۱۹

**. (همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است) * (همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است)

شدت آلودگی همبستگی مثبت ضعیفی (۰/۲۷) داشت که نشان می‌دهد پایه‌های با ناحیه ریشه‌زای گسترده‌تر ممکن است به دلیل جذب بیشتر شته‌ها، شدت آلودگی بالاتری را تجربه کنند. این پدیده در گروه حساس مشاهده شد که پایه Azop2-85 با طول منطقه ریشه‌زای ۱۵ سانتی‌متر و DI برابر ۱/۰۰ در این گروه قرار گرفت. میانگین تعداد خط تولید شده نیز با حساسیت به تنش زیستی همبستگی منفی متوسطی (۰/۳۰-) نشان داد، اما این رابطه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبود. این یافته حاکی از آن است که تراکم ریشه‌ها ممکن است تأثیر محدودی بر کاهش حساسیت به تنش داشته باشد.

در گروه بسیار متحمل، پایه Azop3-85 با بالاترین مقادیر طول ریشه (۲۲/۳ سانتی‌متر) و درصد ریشه‌زایی (۸۵ درصد)، کمترین حساسیت به تنش زیستی (۱/۸۹) و شدت آلودگی (۰/۸۹) را نشان داد که همسو با همبستگی‌های منفی قوی بین طول ریشه و حساسیت به تنش زیستی است. در گروه نیمه‌متحمل، پایه‌های AZM27 و AZM92 با مقادیر متوسط طول ریشه (۱۸/۷ سانتی‌متر) و درصد ریشه‌زایی (۷۲ درصد)، تحمل تنش زیستی و تحمل نسبتاً بالاتری داشتند که نشان‌دهنده تأثیر مثبت این صفات بر تحمل است. پایه‌های گروه کم‌متحمل مانند M9op3 با طول ریشه پایین‌تر (۱۵/۴ سانتی‌متر) و درصد ریشه‌زایی ضعیف‌تر (۶۵ درصد)، حساسیت به تنش زیستی بالاتر (۱/۴۱) و شدت آلودگی پایین‌تر (۳/۵۵) را ثبت کردند که هماهنگ با همبستگی‌های منفی جدول است. در گروه حساس، پایه‌هایی مانند Azop2-85 با کمترین مقادیر طول ریشه (۱۲/۸ سانتی‌متر) و درصد ریشه‌زایی (۵۵ درصد)، بالاترین شدت آلودگی (۱/۰۰) و پایین‌ترین تحمل (۸/۷۴)

را داشتند که تأییدکننده رابطه معکوس بین صفات ریشه‌ای و حساسیت است.

این پژوهش نشان داد که پایه‌های سیب مورد مطالعه از نظر سطح تحمل به شته مومی سیب در چهار گروه مجزا شامل بسیار متحمل، نیمه‌متحمل، کم‌متحمل و حساس طبقه‌بندی می‌شوند. پایه Azop3-85 به‌عنوان متحمل‌ترین ژنوتیپ شناسایی شد که میانگین شاخص‌های تحمل تنش در آن به‌طور معنی‌داری بالاتر از سایر گروه‌ها بود. این یافته با پژوهش‌های پیشین همسو است که نشان می‌دهند پایه‌های با سیستم ریشه‌ای توسعه یافته و ترشحات شیمیایی بازدارنده، مقاومت بالاتری در برابر آفات نشان می‌دهند (تانگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). در این پژوهش نیز، پایه Azop3-85 با میانگین طول ریشه ۲۲/۳ سانتی‌متر و تراکم ریشه‌زایی ۸۵ درصد، توانست جمعیت شته را به‌طور مؤثری محدود کند که تأییدی بر نقش کلیدی صفات ریشه‌ای در تحمل است.

از سوی دیگر، پایه‌های Azop2-85 و AZ*M91 در گروه حساس قرار گرفتند که میانگین شاخص شدت آلودگی و شاخص حساسیت به تنش زیستی بالا در آنها نشان‌دهنده آسیب‌پذیری بالا بود. در مطالعات مشابه مشخص شد که پایه‌های وارداتی مانند M9 و M27 در شرایط نامناسب خاکی (pH=8.7 و نیتروژن پایین) عملکرد ضعیفی دارند. این موضوع اهمیت استفاده از پایه‌های سازگار با شرایط محلی را برجسته می‌سازد، به‌ویژه زمانی که پایه‌های سیب توانایی جذب عناصر غذایی کلیدی مانند پتاسیم (۵۷۵ پی‌پی‌ام) و فسفر (۱۲/۱ پی‌پی‌ام) را در خاک‌های قلیایی حفظ می‌کنند (فازیو، ۲۰۲۱).

یافته‌های این پژوهش از این نظر قابل توجه است که ترکیبی از شاخص‌های کمی (مانند شاخص تحمل تنش و

را کاهش می‌دهد، بلکه از آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب تنوع زیستی جلوگیری می‌کند (خان^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). پایه‌های متحمل می‌توانند با بهبود جذب نیتروژن و فسفر، سلامت کلی باغ را افزایش دهند. با این حال، چالش اصلی در استفاده از پایه‌های مقاوم، حفظ تنوع ژنتیکی و جلوگیری از شکسته شدن مقاومت در بلندمدت است (مارینی و فازیو^۴، ۲۰۱۸).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، این پژوهش نشان داد که تحمل به شته مومی سیب یک ویژگی چندبُعدی است که تحت تأثیر صفات ریشه‌ای و مکانیسم‌های فیزیولوژیک قرار دارد. پایه‌های بومی مانند Azop3-85 به‌دلیل سیستم ریشه‌ای قوی و سازگاری با شرایط خاکی ایران، گزینه‌های امیدوارکننده‌ای برای جایگزینی پایه‌های وارداتی هستند. مطالعات آینده می‌توانند با بررسی تأثیر متقابل پایه و رقم پیوندی، همچنین تحلیل بیان ژن‌های کلیدی به درک عمیق‌تری از مکانیسم‌های تحمل دست یابند. علاوه بر این، بررسی نقش میکروبیوم ریشه در مهار شته‌ها و تأثیر تغییرات اقلیمی بر تحمل پایه‌ها می‌تواند به عنوان موضوعات تحقیقاتی آینده پیشنهاد شود.

شاخص تحمل) و کیفی (مانند صفات ریشه‌ای) را برای ارزیابی تحمل به کار گرفته است. این رویکرد ارتباط مثبت بین طول ریشه و تحمل به خشکی را در پایه‌های سیب نشان دادند (شیائوشنگ^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). در پژوهش حاضر، همبستگی منفی قوی بین متوسط طول ریشه و شاخص حساسیت به تنش زیستی تأیید کرد که پایه‌های با ریشه‌های بلندتر، آسیب‌پذیری کمتری به شته مومی دارند. تحلیل همبستگی نشان داد که درصد ریشه‌زایی قلمه‌ها با شاخص تحمل تنش رابطه مثبت معنی‌داری دارد. این یافته با نتایج تحقیقات سایر پژوهشگران (سان^۲ و همکاران، ۲۰۲۲) همسو است که گزارش کردند پایه‌های با توانایی ریشه‌زایی بالا، بهتر می‌توانند منابع غذایی را جذب کرده و در شرایط تنش زنده بمانند. علاوه بر این، طول منطقه ریشه‌زا با شاخص شدت آلودگی همبستگی مثبت نشان داد که احتمالاً به‌دلیل جذب بیشتر شته‌ها در نواحی ریشه‌زای گسترده است.

نتایج این پژوهش می‌تواند به باغداران در انتخاب پایه‌های متحمل متناسب با شرایط محلی کمک کند. برای مثال، جایگزینی پایه‌های حساس مانند Azop2-85 با پایه‌های متحمل مانند Azop3-85 می‌تواند هزینه‌های کنترل شیمیایی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد. از جنبه اکولوژیکی، کاهش استفاده از سموم شیمیایی نه تنها هزینه‌های تولید

منابع

- 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): 92-99.
- Ahmadi, H., Ghalhari, G.F. and Baaghdeh, M. 2019. Impacts of climate change on apple tree cultivation areas in Iran. *Climatic Change*, 153(1): 91-103.
- 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): 286-294.
- Biniaz, Y., Valizadeh, N., Hemmati, F. and Afsharif, A. 2023. Pest and Disease Management Under Changing Climate. In *Strategizing Agricultural Management for Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 149-165). Cham: Springer International Publishing.
- Cai ChengJing, C.C., Ma ZhanHong, M.Z., Wang HaiGuang, W.H., Zhang YuPing, Z.Y. and Huang WenJiang, H.W. 2007. Comparison research of hyperspectral properties between near-ground and high altitude of wheat stripe rust. *Acta Phytopathologica Sinica*, 37(1): 77-82.
- Cocuzza, G.E.M. 2019. Insect pests of fruit: aphids. In: *Integrated Management of Diseases and Insect Pests of Tree Fruit* (Eds.: Xu, X. and Fountain, M.), Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Cambridge, UK: 65-146.
- Damavandian, M.R. and Pringle, K.L., 2000. Biology of subterranean populations of woolly apple aphid, *Eriosoma lanigerum* (Hausmann)(Homoptera: Aphididae), in apple orchards.

- 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.
- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M.M. and Safavi, S.M. 2013. Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance/tolerance indices. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(2): 143-158.
- Fazio, G. 2021. Genetics, breeding, and genomics of apple rootstocks. *The Apple Genome*, 105-130.
- Fazio, G., Aldwinckle, H. and Robinson, T. 2013. Unique characteristics of Geneva® apple rootstocks. *New York Fruit Quarterly*, 21(2): 25-28.
- Fischer, R.A. and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29(5): 897-912.
- Frades, I. and Matthiesen, R. 2009. Overview on techniques in cluster analysis. *Bioinformatics methods in clinical research*, 81-107.
- Frabley, C. and Raftery, A.E. 2002. Model-based clustering, discriminant analysis, and density estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 97(458): 611-631.
- Gogtay, N.J. and Thatte, U.M. 2017. Principles of correlation analysis. *Journal of the Association of Physicians of India*, 65(3): 78-81.
- 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): 119-133.
- Hossain, A.B.S., Sears, R.G., Cox, T.S. and Paulsen, G.M. 1990. Desiccation tolerance and its relationship to assimilate partitioning in winter wheat. *Crop Science*, 30(3): 622-627.
- Khan, B.A., Nadeem, M.A., Nawaz, H., Amin, M.M., Abbasi, G.H., Nadeem, M., Ali, M., Ameen, M., Javaid, M.M., Maqbool, R. and Ikram, M. 2023. Pesticides: impacts on agriculture productivity, environment, and management strategies. In *Emerging contaminants and plants: Interactions, adaptations and remediation technologies* (pp. 109-134). Cham: Springer International Publishing.
- Khayatnezhad, M. and Gholamin, R. 2020. A modern equation for determining the dry-spell resistance of crops to identify suitable seeds for the breeding program using modified stress tolerance index (MSTI). *Bioscience Biotechnology Research Communications*, 13(4): 2114-2117.
- Kumar, V. 2017. Management of woolly apple aphid *Eriosoma lanigerum* (Hausmann) using new insecticide molecules and biopesticides (Doctoral dissertation, M. Sc. Thesis. Dr. YS Parmar University of Horticulture and Forestry, Nauni, Solan, HP India. 50p).
- Latifian, M. and Atashkar, D. 2024. Resistance of promising apple rootstocks to the woolly aphid [*Eriosoma lanigerum* (Hausmann)] under forced feeding conditions. *Seed and Plant Journal*, 40(1): 72-47.
- 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 Journal*, 39(1): 120-93.
- 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): 233-245.
- Latifian, M., Seyedoleslami, H. and Khajeali, J. 2009. Comparison of several sampling techniques to estimate population densities of the grape leafhopper *Arboridia kermanshah* Dlabola (Hem., Cicadellidae). *IAU Entomological Research Journal*, 1(2): 95-108.
- Marini, R.P. and Fazio, G. 2018. Apple rootstocks: History, physiology, management, and breeding. *Horticultural Reviews*, 45: 197-312.
- Osborne, J. 2010. Improving your data transformations: Applying the Box-Cox transformation. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 15(1).
- Peterson, R.K., Varella, A.C. and Higley, L.G. 2017. Tolerance: the forgotten child of plant resistance. *PeerJ*, 5: e3934.
- 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): 1517-1525.
- Sherwani, A., Mukhtar, M. and Wani, A.A. 2016. Insect pests of apple and their management. *Insect Pest Management of Fruit Crops*, 295-306.

- Sun, P., Tahir, M.M., Lu, X., Liu, Z., Zhang, X., Zuo, X., Shao, Y., Xiao, X., An, N., Wang, C. and Zhang, D. 2022. Comparison of leaf morphological, anatomical, and photosynthetic responses to drought stress among eight apple rootstocks. *Fruit Research*, 2(1): 1-13.
- Tang, W., Zhang, R., Wang, M., Wang, H., Ding, F., Chen, X., Shen, X., Yin, C. and Mao, Z. 2024. Effects of two apple rootstocks on the soil microecology of replanted apple orchard soil. *Scientia Horticulturae*, 324: 112640.
- Verghese, A. and Jayanthi, P.K. 2002. A technique for quick estimation of aphid numbers in field. *Current Science*, 1165-1168.
- Xiaosheng, L., Meng, Z., Huatao, H., Zhaowei, L., Xuefeng, X., Yi, W. and Zhenhai, H. 2024. Drought tolerance and impacts of four rootstock genotypes on the morphology, yield and fruit quality of Fuji scion apple under drought conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 65(3): 491-500.
- 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): 541-560.