



ارزیابی صفات فنولوژیکی و باروری، و تعیین خودسازگاری در دورگ‌های امیدبخش زردآلو (*Prunus armeniaca* L.)

Evaluation of Phenological and Reproductive Traits, and Determination of Self-Compatibility in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Promising Hybrids

رحیم قره‌شیخیات*

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۲۶

چکیده

قره‌شیخیات، ر. ۱۴۰۵. ارزیابی صفات فنولوژیکی و باروری، و تعیین خودسازگاری در دورگ‌های امیدبخش زردآلو (*Prunus armeniaca* L.). نهال و بذر ۴۲: ۳۷-۵۷

زردآلو (*Prunus armeniaca* L.) یکی از محصولات میوه‌ای مهم مناطق معتدل با سازگاری اقلیمی وسیع در ایران است. به‌منظور دستیابی به ژنوتیپ‌های جدید خودسازگار، هفت هیبرید امیدبخش زردآلو در سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ از نتاج حاصل از تلاقی بین ارقام تجاری بومی (شمس، شاهرودی و اردوباد) با چهار والد گرده‌دهنده خودسازگار خارجی (پالوما، سن کسترزه، کافونا و ویتیلو) انتخاب شدند. پس از ارزیابی‌های مقدماتی مبتنی بر شاخص‌های مورفولوژیک، خصوصیات کمی و کیفیت میوه و مهمتر از همه صفت خودسازگاری، این ژنوتیپ‌ها برای بررسی دقیق‌تر صفات فنولوژیک و باروری، شامل زمان آغاز شکوفه‌دهی، طول دوره شکوفه‌دهی، جوانه‌زنی دانه‌گرده و درصد میوه‌بندی پس از خودگرده‌افشانی، مورد مطالعه قرار گرفتند. در سال ۱۳۹۵ باغ آزمایشی با تعداد سه اصله از هر کدام در ایستگاه تحقیقات باغبانی مشکین‌دشت (کرج) احداث شد. تحلیل داده‌های دو سال متوالی باردهی، ضمن تایید ژنوتیپ و فنوتیپ خودسازگار این دورگ‌ها، تفاوت بسیار معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بین ژنوتیپ‌ها از نظر زمان آغاز شکوفه‌دهی، طول دوره شکوفه‌دهی و درصد میوه‌بندی ناشی از خودگرده‌افشانی نشان داد. اثر متقابل ژنوتیپ × سال نیز معنی‌دار بود. میانگین طول دوره شکوفه‌دهی در این هیبریدها ۱۳ روز و میانگین میوه‌بندی بعد از خودتلقیحی بیش از ۲۷٪ ثبت شد. میانگین میزان جوانه‌زنی دانه‌گرده (۴۸٪) و بالاتر از میانگین والدین بود. نتایج این پژوهش نشان داد که هیبریدهای امیدبخش زردآلو مورد ارزیابی از میزان باروری بالایی، در شرایط خودگرده‌افشانی، برخوردار بودند.

واژه‌های کلیدی: زردآلو، به‌نژادی، فنولوژی، گرده‌افشانی، لوله‌گرده، آلل Sc



مقدمه

زردآلو با نام علمی *Prunus armeniaca* L. سازگاری اقلیمی بسیار وسیع در ایران دارد و با سطح زیرکشت حدود ۶۰ هزار هکتار و میانگین تولید سالیانه بیش از ۳۰۰ هزار تن (Anonymous, 2023)، جایگاه سوم را در میان تولید کنندگان این محصول در دنیا دارد (FAO, 2024) و بنابراین، ارزش اقتصادی قابل توجهی در بخش باغبانی ایران دارد. تنوع ارقام و نمونه‌های بومی مناسب و سازگار با تنوع اقلیم در ایران امکان احداث باغ‌های اقتصادی زردآلو را تقریباً در اغلب استان‌های کشور، فراهم کرده است.

مقدار تولید و جایگاه جهانی ایران در تولید زردآلو عمدتاً بنابر سطح زیرکشت این محصول و گستردگی آن در سطح کشور است، لیکن به دلیل خودناسازگاری ارقام بومی که بسیاری واجد ارزش تجاری هستند، میانگین عملکرد میوه آن در کشور بین ۵ تا ۸ تن در هکتار گزارش شده است (Gharesheikhhayat et al., 2025). این محدودیت پس از تعیین وضعیت خود(نا)سازگاری ارقام، با استفاده از ترکیب‌های تلاقی‌پذیر و نیز جایگزینی ارقام سنتی خودناسازگار با ارقام جدید قابل اصلاح بوده و افزایش میزان تولید را با اعمال مدیریت گرده افشانی و بدون افزایش سطح زیرکشت عملی می‌کند.

در درختان میوه خانواده گلسرخی‌ها (*Rosaceae*)، عموماً گل‌ها کامل و در شرایط مناسب قادر به گرده افشانی و تلقیح هستند

(Adams et al., 2008). برای تولید اقتصادی در باغ‌های این گروه از میوه‌ها، گرده افشانی ضروری است (Westwood, 1993). علیرغم عمومیت این موضوع برای اغلب گیاهان باغبانی، خودناسازگاری تلقیحی در کنار خودناسازگاری ناشی از شرایط ساختاری گل‌ها و نیز تفاوت زمانی در بلوغ مادگی و آزاد شدن دانه‌های گرده که اصطلاحاً دیکوگامی (Dichogamy) نامیده می‌شود و همچنین نرعیمی در تعدادی از درختان میوه، وضعیتی به وجود می‌آید که گیاهان گلدار از آن برای تنوع ژنتیکی سود می‌برند و در مسیر تکامل ژنتیکی آنها موثر بوده است (Pedryc 2009). اما در باغداری نوین برای احداث بلوک‌های یکدست از ارقام واحد (Solid Blocks)، این صفت به صورت یک معضل خود را نشان داده، باعث محدودیت در تامین گرده سازگار و به دنبال آن تولید میوه می‌شود.

گل‌های ارقام خودناسازگار (Self-incompatible) توسط دانه گرده خودی قابلیت تلقیح و باروری را ندارند بنابراین بدون یک رقم گرده‌زای سازگار، تشکیل میوه به شدت کاهش یافته، عملاً میوه اقتصادی تولید نمی‌شود. در مقابل برای ارقام خودسازگار (Self-compatible)، این نگرانی وجود ندارد.

ارقام درختان میوه هسته‌دار و دانه‌دار با ملاحظه زیرگروه‌ها و خاستگاه جغرافیایی و تنوع ارقام، می‌توانند خودسازگار یا خودناسازگار باشند (Halász, 2010). طبیعی است با شناسایی وضعیت

تلاقی پذیری ارقام در گروه های مختلف میوه، می توان گرده افشانی در باغ را مدیریت کرد. تعیین گروه های تلاقی پذیر در احداث باغ ارقام درختان میوه ای که رفتارهای خودناسازگاری را نشان می دهند، به دلیل تاثیر آن در عملکرد و ویژگی های کمی و کیفیت محصول از اقدامات ضروری است (Samnegård *et al.*, 2019). در این راستا، تحقیقات متعددی انجام گرفته است تا ترکیب های تلاقی پذیر برای کشت و کار توصیه شوند. این موضوع همچنین در برنامه های به نژادی پژوهشگران باغبانی همواره موضوع درخور توجه بوده و در صورت انجام برنامه های دورگ گیری هدفمند، بررسی والدین پیش از اقدام به دورگ گیری ضرورت دارد.

تعیین وضعیت خودسازگاری زردآلو و سایر میوه های جنس *Prunus* به عنوان درختان میوه ای که رفتار خودناسازگاری تلقیحی را نشان می دهند یک ضرورت در توصیف و معرفی ارقام است. در این خصوص شیوه نامه های متعددی وجود دارد. این شیوه نامه ها مبتنی بر روش های مکمل یکدیگر و براساس شیوه نامه های تائید شده صورت می باشند. مولائی و همکاران (Molaei *et al.*, 2014) به منظور تعیین خودناسازگاری ارقام زردآلو در چهار رقم "بادامی"، "شاهرودی"، "شکرپاره"، و "دانشکده" از روش های تلاقی های کنترل شده در باغ و آزمایش های مولکولی به کمک آغازگرهای اختصاصی استفاده کردند. نتایج نشان داد همه ارقام خودناسازگار هستند.

زرین بال و همکاران (Zarrinbal *et al.*,

2018) خودسازگاری بیست و دو ژنوتیپ زردآلو (هجده ژنوتیپ ایرانی و چهار ژنوتیپ با منشأ اروپایی) را براساس بررسی های میدانی و میکروسکوپی بررسی کردند. تشکیل میوه نهایی پس از خودگرده افشانی در باغ از ۱/۱۶ درصد در رقم معرفی شده "آبیاتان" تا ۶۲/۰ درصد در رقم "سن کسترزه" (San Castrese)، یک رقم اروپایی متغیر بود که تفاوت معنی داری را بین زردآلوهای ارزیابی شده نشان داد. آنها خودسازگاری در هیبرید جدید زردآلو امیدبخش AD731 و همچنین ارقام اروپایی "کانینو" (Canino)، "سن کسترزه"، "پالوملا" (Palumella) و "کافونا" (Cafona)، را در این پژوهش تایید کردند. این یافته فراوانی ناسازگاری را در بین ارقام بومی خاطر نشان می سازد.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2018) در مطالعه ای بر روی ده ژنوتیپ زردآلو بومی چین به کمک شش آغازگر *S-RNase* (شامل سه آغازگر طراحی شده و سه آغازگر عمومی)، و توالی یابی و تطابق نتایج در سایت (National Center for Biotechnology Information) NCBI همچنین تائید داده های بدست آمده از تشکیل میوه و میزان رشد لوله گرده در خامه و تعیین ده آلل خودناسازگاری (*S-allele*)، گزارش کردند که شش ژنوتیپ خودناسازگار و چهار ژنوتیپ خودسازگار شناسایی شدند. هرا و همکاران (Herrera *et al.*, 2018) ضمن اعلام اینکه تاکنون تمامی ارقام اروپایی زردآلو خودسازگار گزارش شده اند، با روش مطالعه ملکولی و تعقیب رشد

لوله گرده بر روی چهل و چهار ژنوتیپ، موفق شدند با استفاده از پنج جفت آغازگر از جمله SRC-F/R، با تشخیص آلل خودسازگاری، پانزده ژنوتیپ خودسازگار را شناسایی کنند. باقیمانده ژنوتیپ های مطالعه شده، در گروه خودناسازگار طبقه بندی شدند و سه گروه خودناسازگار را برای اولین بار گزارش کردند.

بنابر مطالعات متعدد انجام گرفته روی ژرم پلاسما زردآلوی های بومی ایران، می توان با قاطعیت اعلام کرد که تقریباً همه ارقام بومی خودناسازگار بوده و برای تولید میوه اقتصادی نیاز به گرده افشانی با ارقام سازگار دارند. در این ارتباط، به دلیل ناشناخته بودن وضعیت ژنوتیپی خودناسازگاری و نبود گروه بندی ترکیب های تلاقی پذیر برای ارقام مورد کشت و کار، معمولاً به استفاده از چند رقم در احداث باغ در کنار هم به منظور اطمینان از تامین دانه گرده سازگار در زمان گرده افشانی توصیه می شود و به این ترتیب احداث باغ های یکدست و قطعات/بلوک های یکدست از ارقام واحد ممکن نیست. این توصیه اگر چه برای تولید قابل قبول میوه یک راهبرد پذیرفته شده است، اما با ملاحظه انتظارات در باغداری نوین یک ضعف محسوب می شود. این نحوه کشت و کار درختان میوه از جمله زردآلو باعث تولید میوه های غیریکنواخت از ارقام مختلف که معمولاً بدون ملاحظه تاریخ مناسب رسیدن میوه، همزمان برداشت و در بازار تازه خوری یا صنایع تبدیلی ارائه می شوند، چندان خوشایند نیست (Rizzo et al., 2023).

به منظور رفع این مشکل و با در نظر گرفتن ضرورت پرداختن به این موضوع و دستیابی به ارقام خودسازگار، یک برنامه به نژادی در بخش تحقیقات باغبانی موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر و در ادامه با سازماندهی جدید در پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری تعریف و اجرا شد. ورود ارقام خودسازگار اروپایی که در قالب همکاری های علمی-تحقیقاتی به منظور مطالعه سازگاری اقلیمی آنها در کشور، امکان استفاده از آنها در برنامه دورگ گیری به منظور انتقال صفت خودسازگاری و تعدادی صفات متمایز آنها و البته حفظ ویژگی های کیفیت میوه کاملاً متمایز ارقام بومی را فراهم آورد که با اجرای پروژه های پژوهشی نتایج قابل توجهی فراهم شده است.

هدف این پژوهش ارزیابی صفات فنولوژیکی و باروری، و تعیین خودسازگاری در هفت هیبرید امیدبخش حاصل از برنامه ملی به نژادی زردآلو بود.

مواد و روش ها

در این پژوهش هفت هیبرید امیدبخش زردآلو در سنین باردهی مستقر در باغ آزمایشی نتاج گزینش شده حاصل از برنامه به نژادی دستیابی به ارقام برتر خودسازگار زردآلو، مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. این هفت ژنوتیپ با داشتن میوه با اندازه ۴۰ گرم و بالاتر، بازارپسندی خوب به دلیل رنگ پذیر مناسب و درصد قند بالای ۱۷٪ که مصارف تازه خوری و خشکباری آن را تضمین می کند، از میان نتاج تلاقی بین والدین

ایرانی "شمس"، "شاهرودی" و "اردوباد" به عنوان والدین مادری که براساس اطلاعات باردهی و میوه شناختی ارقام بومی کشور موجود در کلکسیون ارقام تجاری زردآلو در ایستگاه تحقیقات باغبانی کمالشهر و با ملاحظه قدرت سازگاری اقلیمی، پایداری صفات و عملکرد مناسب آنها، جهت انجام تلاقی ها انتخاب شده بودند و چهار رقم زردآلوی تجاری ایتالیایی "پالوملا" (Palumella)، "سن کسترزه" (San Castrese)، "کافونا" (Cafona) و "ویتیلو" (Vitillo) به عنوان والدین گرده دهنده با لحاظ نتایج ارزیابی های سازگاری این ارقام در کشور، به دست آمدند. خصوصیات کلی درخت و میوه والدین بومی و خارجی در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

ژنوتیپ های هیبریدگرینش شده براساس پایه مادری مورد استفاده به صورت شاهرود-۰۶ (SHAR-06)، شاهرود-۵۱ (SHAR-51)، شاهرود-۵۷ (SHAR-57)، شاهرود-۶۴ (SHAR-64)، شمس-۲۶ (SHMS-26)، شمس-۶۵ (SHMS-65) و شمس-۸۸ (SHMS-88) کدگذاری و در یک قطعه زمین با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع با بافت خاک لوم-شنی مناسب کشت درختان زردآلو در ایستگاه تحقیقات باغبانی مشکین دشت کرج کشت شدند.

سه اصله درخت جوان سالم از هر ژنوتیپ که حتی الامکان با تربیت و هرس کاملاً مشابه دارای اندازه تاج همگن بودند، در کنار سایر ژنوتیپ های انتخابی سری اول برنامه به نژادی،

با فاصله ۴ × ۵ متر و در قالب طرح بلوک های تصادفی تصادفی در سه تکرار همراه با دو شاهد "شمس" و "شاهرودی" (از والدین مادری) استقرار یافتند. مراقبت های باغبانی شامل آبیاری، تغذیه و دفع علف های هرز به طور یکسان برای درختان در طول دوره مطالعات به عمل آمد. در طول ارزیابی ها هیچ تیمار شیمیایی موثر بر فنولوژی و باروری درختان اعمال نشد. درختان در زمان مطالعه در مرحله بلوغ و باردهی قابل قبول بودند.

برای انجام آزمایشات ملکولی تعیین ال خودسازگاری (Sc-allele) به منظور تأیید اولیه وراثت ال خودسازگاری در ژنوتیپ های مورد مطالعه، با استفاده از شیوه نامه CTAB (Cetyltrimethylammonium bromide) از برگ های سالم، دی.ان.ای استخراج و پس از تهیه غلظت مناسب به کمک آغازگرهای عمومی PaconsI (F+R) و SRc (F+R) که هردو برای شناسایی قطعات اختصاصی ال خودسازگاری در ایترون اول ژن Sc-RNase جنس *Prunus* کاربرد موثر دارند، آزمایش پی.سی.آر (PCR) و الکتروفورز انجام شد. تطابق اندازه باندهای تکثیر شده با مراجعه به گزارش های موجود در مرکز اطلاعات بیوتکنولوژی آمریکا (National Center for Biotechnology = NCBI Information) و نیز آزمایشگاه بیولوژی ملکولی اروپا (European Molecular Biology Laboratory = EMBL) به عمل آمد.

جدول ۱- نام و برخی از ویژگی‌های میوه ارقام زردآلوی بومی / محلی تجاری (والدین مادری)

Table1. Name and some important vegetative and fruit characteristics of local commercial apricot cultivars (female parents)

باروری	Fertility	ویژگی مهم	Important characteristic	رقم	Cultivar
خودناسازگار	Self-incompatible	فرم درخت جامی با شاخه های گسترده، رشد طولی تا چهار متر، میوه قلبی شکل، رنگ پوست کرم روشن با لکه های قرمز، رنگ گوشت سفید، هسته آزاد	Vase-shaped tree with spreading branches, grows up to four meters tall, heart-shaped fruit, light cream skin with red speckles, white flesh, freestone	شمس	Shams
خودناسازگار	Self-incompatible	فرم درخت جامی با شاخه های گسترده، ارتفاع متوسط تا پنج متر، میوه آبدار و کشیده رنگ پوست و گوشت کرم با رنگ روئی قرمز، طعم شیرین، هسته آزاد	Vase-shaped tree with spreading branches, medium height (up to five meters), juicy and elongated fruit with cream-colored skin and flesh, a red blush, and sweet flavor, freestone	شاهرودی	Shahroudi
خودناسازگار	Self-incompatible	فرم درخت جامی با شاخه های نیمه گسترده، ارتفاع متوسط درخت تا پنج متر، میوه بزرگ، با رنگ پوست و گوشت میوه زرد، درصد قند بالا، هسته آزاد	Vase-shaped tree with semi-spreading branches; medium height (up to 5 meters), large fruit with yellow skin and flesh, high sugar content, freestone	اردوباد	Ordoubad

جدول ۲- نام و ویژگی های مهم ارقام زردآلوی وارداتی از ناپولی ایتالیا (والدین پدری).

Table 2. Name and some important characteristics of apricot cultivars imported from Napoli, Italy (pollen donors)

وضعیت باروری	Fertility	ویژگی مهم	Important characteristic	رقم	Cultivar
خودبارور	Self- fertile	قدرت رشد متوسط؛ عملکرد بالا و پایدار، میوه کشیده و با اندازه متوسط، پوست زرد تیره همراه با سایه رنگ قرمز، گوشت نارنجی روشن؛ بافت بسیار سفت، میزان قند متوسط.	Moderate growth vigor, high and consistent yield, elongated and medium sized fruit, dark yellow skin with a red blush, light orange flesh, very firm, moderate sugar content	پالوملا	Palumella
خودبارور	Self- fertile	قدرت رشد زیاد، تاج باز، باردهی زیاد و ثابت، اندازه میوه متوسط تا بزرگ و کروی، زرد مات، با گوشت نارنجی، بافت سفت، قند و عطر متوسط	Vigorous growth, open tree canopy, high and consistent yield, medium to large sized fruit, spherical, and dull yellow, flesh is light orange with a very firm texture, moderate sugar content and aromatic	سن کسترزه	San Castrese
خودبارور	Self- fertile	قدرت رشد بالا، گسترده گی متوسط تاج، باردهی خوب و ثابت، میوه متوسط تا کوچک، کشیده تخم مرغی، زرد روشن و سفتی میوه متوسط	High growth vigor, moderately spreading canopy, good and consistent yield, small to medium sized fruit, elongated-ovoid, light yellow and medium firmness.	کافونا	Cafona
خودبارور	Self- fertile	رشد رویشی متوسط با باردهی زیاد و یکنواخت-باردهی روی شاخه های یکساله و اسپور چندساله با میوه بزرگ و تخم مرغی کشیده، زرد نارنجی با رو رنگ قرمز در قسمت انتهایی، رنگ گوشت پررنگ، خیلی سفت با کیفیت چشائی بالا و معطر	Moderate vegetative growth with heavy, uniform bearing fruit on one-year-old shoots and perennial spurs, with large, elongated-ovoid, and orange-yellow fruits with red blush at the tip, deep orange flesh, very firm, aromatic, and of high taste quality	ویتیلو	Vitillo

آزمایش های تعیین جوانه زنی دانه های گرده جهت اطمینان از باروری آن ها مطابق پروتکل های رایج انجام و مورد تأیید قرار گرفت. شاخه های گل ایزوله شده با دانه گرده خودی دو نوبت در طول یک هفته با استفاده از قلم موی آلوده به دانه گرده خودی، گرده افشانی شدند و مجدداً با کیسه ها پوشانده شدند. دو هفته پس از ریزش کامل گلبرگ های درخت و همزمان با باز کردن کیسه های ایزولاسیون، میزان میوه بندی در هر شاخه به صورت تعداد میوه چه های تشکیل شده نسبت به تعداد گل های تلقیح شده شمارش و به صورت درصد ثبت شد.

برای تعیین قوه نامیه دانه های گرده که به صورت درصد جوانه زنی در این مقاله گزارش شده است، در محیط کشت جامد حاوی ۱۰ گرم در لیتر آگار، ۱۵۰ گرم در لیتر ساکارز، ۰/۰۲ گرم در لیتر اسید بوریک و ۰/۳ گرم در لیتر نترات کلسیم کشت شدند و در انکوباتور با دمای ۲۲ درجه سلسیوس قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت درصد جوانه زنی دانه گرده با استفاده از میکروسکوپ نوری در پنج میدان دید مختلف مشاهده و میانگین درصد جوانه زنی محاسبه گردید (Asma, 2008).

در آزمایشگاه برای تعقیب رشد لوله گرده پس از انجام خود گرده افشانی دستی کنترل شده گل ها، از شیونامه های رایج (Gharesheikhsbayat, 2010) برای تثبیت نمونه های مادگی، ۷۲ ساعت پس از گرده افشانی و رنگ آمیزی آنها با آنیلین بلو و معاینه با میکروسکوپ فلئورسنت استفاده شد (Nikon, Model: Eclips TE300). برای هر ژنوتیپ حداقل

پنج نمونه مادگی تهیه و مورد معاینه میکروسکوپی قرار گرفتند و تعداد مادگی هایی که نفوذ لوله گرده در تخمدان قابل ردگیری بود، ثبت شد. برای ارزیابی های فنولوژی گل از هر ژنوتیپ سه درخت و برای هر درخت چهار شاخه در جهات جغرافیایی چهارگانه با برجسب مشخص شدند. آغاز گلدهی، ۱۰٪ درصد شکوفایی در تاج درخت، تا ۸۰٪ درصد شکوفایی معادل اوج گلدهی و و ریزش ۹۰٪ گلبرگ ها برابر پایان گلدهی ثبت شد. دوره شکوفه دهی که به تعداد روز بیان می شود، بین آغاز و پایان محاسبه شد (BBCH-scale, stone fruit). این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد.

برای بررسی خودسازگاری در دورگ های مورد ارزیابی، جوله های گل درختان مورد مطالعه با دقت مورد پایش قرار گرفت. در باغ، گل های شاخه های بارده علامت گذاری شده در مرحله بادکنکی (Ballon stage) با کیسه های نابافت (Spunlace) پوشانده شدند. برای تهیه دانه گرده جهت استفاده برای خود گرده افشانی دستی و نیز انجام آزمایش های تعیین درصد جوانه زنی آنها در ژنوتیپ های مورد مطالعه، شاخه گل از هر ژنوتیپ تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه اقدام به جمع آوری دانه گرده از آنها شد. توده دانه گرده جمع آوری و داخل ویال شیشه ای تا زمان استفاده در هر آزمایش داخل یخچال با دمای چهار درجه سانتیگراد نگهداری شد.

داده های جوانه زنی دانه گرده بر اساس موازین طرح کاملاً تصادفی و داده های فنولوژیکی براساس طرح بلوک های کامل تصادفی، با استفاده

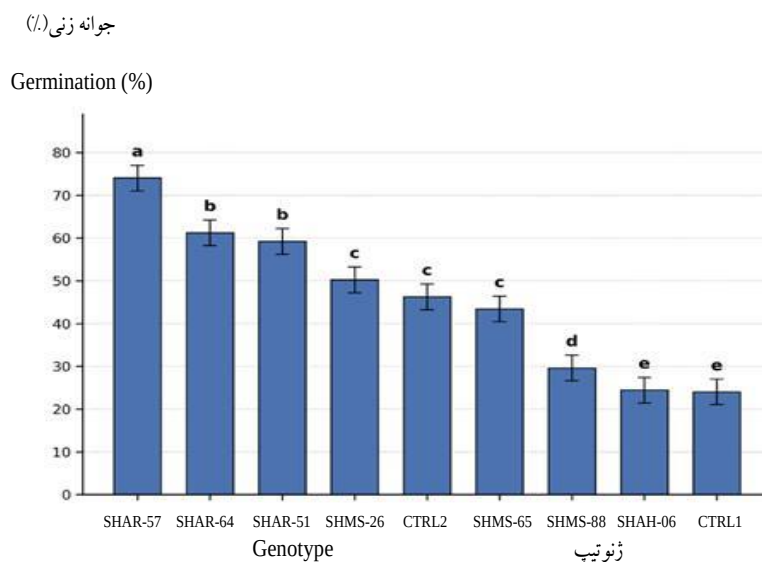
از نرم افزار SAS 9.1، به ترتیب تجزیه واریانس ساده و مرکب شدند. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون های چند دامنه ای دانکن و حداقل تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

جوانه زنی دانه های گرده

تجزیه واریانس داده ها نشان داد که بین

ژنوتیپ های زردآلو مورد بررسی از نظر میزان جوانه زنی دانه گرده تفاوت بسیار معنی دار در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول تجزیه واریانس ارائه نشده است). مقایسه میانگین های درصد جوانه زنی دانه گرده نشان داد که ژنوتیپ های زردآلوی مورد بررسی تفاوت معنی دار داشتند (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین برای درصد جوانه زنی دانه گرده ژنوتیپ های زردآلو. ستون های دارای حروف مشابه بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

Fig. 1. Mean comparison for the mean pollen germination percentage of apricot genotypes. Columns with similar letter are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan's Multiple Range Test.

مقایسه میانگین داده ها تشکیل پنج گروه را نشان داد. هیبرید "شاهرود-۵۷" بالاترین میانگین (۷۲٪) را دارد. "شاهرودی" به عنوان یکی از والدین مادری (شاهد ۲)، همراه با چهار ژنوتیپ دیگر با درصد جوانه زنی مطلوب در گروه های میانی قرار

می گیرد. ژنوتیپ هیبرید امیدبخش "شاهرود-۰۶" و والد مادری "شمس"، پایین ترین درصد جوانه زنی را داشتند. باید در نظر داشت حتی کمترین درصد جوانه زنی در این ژنوتیپ و رقم، قدرت باروری با درجه متوسط را نشان می دهند و برای

باروری یک رقم خودسازگار مناسب است. یامان و توران سیرکه (Yaman and Turan Sirke, 2021) دامنه جوله زنی دلنه گرده را در چند رقم زردآلوی رقم تجاری ترکیه از ۸ تا ۵۹ درصد گزارش کردند. نرعقیمی در زردآلو گزارش شده است (Burgos *et al.*, 2004) اما در مورد ژنوتیپ های مورد مطالعه در این پژوهش هیچکدام نرعقیم نبودند.

طول دوره گلدهی و خودسازگاری

تجزیه واریانس مرکب داده ها نشان داد

که اثر سال بر شروع گلدهی در سطح احتمال یک درصد و بر درصد میوه بندی در سطح احتمال پنج درصد معنی دار بود. در حالیکه اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ $\times$ سال بر کلیه صفات فنولوژی گل شامل آغاز شکوفه دهی، طول دوره شکوفه دهی و درصد میوه بندی حاصل از خودتلقیحی، در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای صفات آغاز گلدهی، طول دوره شکوفه دهی و میزان میوه بندی بعد از خودتلقیحی کنترل شده، آغاز شکوفه دهی و طول دوره شکوفه دهی

Table 3. Analysis of variance for fruit set rate after controlled polination, blooming onset and blooming duration of blooming in studied promising apricot hybrids

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی df	آغاز شکوفه دهی Blooming onset	طول دوره شکوفه دهی Blooming duration	میزان میوه بندی Fruit set rate
Year (Y)	سال	1	177.85**	0.17	16.78*
Replication/Y	تکرار/سال	4	0.35	0.11	1.61
Genotype (G)	ژنوتیپ	8	55.53**	5.62**	1157.10**
Y $\times$ G	سال $\times$ ژنوتیپ	8	17.47**	2.79**	14.81*
Error	خطا	32	0.85	0.61	4.82
CV (%)	درصد ضریب تغییرات	-	19.93	6.25	15.94

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

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

مقایسه میانگین ها نشان داد که آغاز شکوفه دهی در سال دوم زودتر از سال دوم بود و تفاوت آن با رقم شاهد زودرس کوتاه تر شد، ولی میزان میوه بندی در سال اول بیشتر از سال دوم بود (جدول ۴). طول دوره شکوفه دهی در دو سال تفاوت معنی دار نداشت. این نتایج نشان دهنده حساسیت صفات فنولوژیکی ژنوتیپ های زردآلو را به شرایط آب و هوایی سال های آزمایش بود. ژنوتیپ های زردآلوی مورد بررسی از نظر

صفات فنولوژیکی تفاوت معنی دار داشتند (جدول ۵). همچنین بین ژنوتیپ های هیبرید و ارقام شاهد نیز تفاوت معنی دار وجود داشت (در این آزمایش، رقم "شمس" به عنوان زودگلده ترین رقم و شاهد دوم یعنی "شاهرودی" به عنوان دیرگلده ترین منظور شدند و آغاز شکوفه دهی ژنوتیپ های امیدبخش نسبت به این شاهد زودگل ثبت شد. ژنوتیپ های مورد مطالعه از این حیث در حد واسطه این دو والد مادری

قرار گرفتند. هیبرید امیدبخش "شمس-۶۵" در دیرگل ترین و هیبید امیدبخش "شاهرود-۵۱"، دو سال متوالی همراه با رقم شاهرودی زودگل ترین ژنوتیپ بعد از رقم "شمس" بودند.

جدول ۴- مقایسه میانگین برای آغاز شکوفه دهی (روز بعد از شاهد زودرس)، طول دوره شکوفه دهی و میزان میوه بندی ژنوتیپ های هیبرید زردآلوی مورد مطالعه در سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹

Table 4. Mean comparison for blooming onset (days after early-flowering control) and blooming duration and fruit set rate of apricots hybrid genotypes in 2019 and 2020

سال Year	آغاز شکوفه دهی (روز) Blooming onset (day)	طول دوره شکوفه دهی (روز) Blooming duration (day)	میزان میوه بندی (%) Fruit set (%)
2019	6.40a	12.40a	14.30a
2020	2.80b	12.60a	13.20b

میانگین هایی، در هر ستون، که دارای حروف یکسان می باشند، بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند.

Means, in each column, followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level-using Duncan Multiple Range Test.

جدول ۵- مقایسه میانگین برای آغاز شکوفه دهی (روز بعد از شاهد زودرس)، طول دوره شکوفه دهی و میزان میوه بندی در ژنوتیپ های زردآلو

Table 5. Mean comparison for blooming onset, blooming duration and fruit set rate of apricot genotypes

ژنوتیپ Genotype	آغاز شکوفه دهی (روز) Blooming onset (day)	طول دوره شکوفه دهی (روز) Blooming duration (day)	میزان میوه بندی (%) Fruit set (%)
Shams شمس	8.5	13.0	0.0
SHAR-06	2.5	11.0	44.2
SHAR-51	1.0	12.0	25.1
SHAR-57	5.5	11.0	10.5
SHAR-64	4.0	12.5	8.0
SHMS-26	6.5	13.0	17.85
SHMS-65	8.5	13.5	7.7
SHMS-88	6.5	13.5	10.7
Shahrودي شاهرودی	0.0	13.0	0.0
LSD5%	1.53	1.30	3.65

باید در نظر داشت در مورد درختان زردآلو در یک منطقه، تنوع و تفاوت های فنوتیپی قلیل توجه و دامنه وسیع در آغاز شکوفه دهی گزارش نشده است. برای طول دوره شکوفایی بین ژنوتیپ ها تفاوت بسیار معنی دار به دست آمد. در میان این هفت ژنوتیپ هیبرید خودسازگار، "شاهرود-۸۵" و "شمس-۶۵"، میانگین طولانی ترین دوره گل دهی را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). لازم به ذکر نیست که دوره گلدهی طولانی شانس تلقیح گل ها را در شرایط نامساعد محیطی افزایش

می دهد و یک مزیت بیولوژیک محسوب می شود. همچنین عدم تنوع در دامنه زمانی آغاز شکوفایی از محدودیت های سازگاری اقلیمی زردآلو بوده و در صورت دستیابی به پنجره وسیع تر برای این صفت، امکان فرار از سرمای دیررس بهاره، را به همراه دارد. کلیه ژنوتیپ های مورد ارزیابی در این پژوهش دارای دامنه زمانی نسبتاً وسیع شکوفایی گل ها بودند که دارای ارزش بالایی است.

خودگرده افشانی کنترل شده در باغ

به منظور تایید خودسازگاری ژنوتیپ های هیبرید مورد بررسی در شرایط باغ، درصد میوه بندی بعد از گرده افشانی با دانه گرده خودی (Self-pollination) طی دو سال و دو مرحله در باغ آزمایشی ثبت شد. در ژنوتیپ های هیبرید زردآلوی مورد مطالعه، میزان تشکیل میوه بین ۸ تا ۴۴ درصد بود (جدول ۵) که در مقایسه با ارقام تجاری، بیانگر کارایی مناسب خودتلقیحی در این ژنوتیپ ها است. اگرچه ممکن است در مواردی این مقادیر کمتر از میزان مورد انتظار در شرایط گرده افشانی آزاد به نظر برسند، اما با توجه به محدودیت های آزمایشی ناشی از گرده افشانی مصنوعی، نتایج مطلوبی محسوب می شوند. طبق نظر وست وود (Westwood, 1993)، تشکیل میوه در درختان میوه مناطق معتدله به شدت به شرایط ریزاقلیمی حساس است، به طور خاص، محیط محصور درون کیسه های ایزولاسیون اغلب منجر به ایجاد تنش گرمایی، کاهش تهویه و محدودیت در بازه زمانی گرده افشانی می شود. در مقایسه با دوره طولانی و متناوب گلدهی در

شرایط آزاد، دست کاری گل ها، استفاده از کیسه های ایزولاسیون و پوشش گلها و میکروکلیمای داخل کیسه، گرده افشانی محدود و عدم تکرار آن در طول دوره شکوفه دهی (وضعیتی که در شرایط طبیعی بارها می تواند توسط حشرات گرده افشان تکرار شود)، می تواند حداکثر تشکیل میوه مورد انتظار را سرکوب کند. بنابراین، حداقل بازه مشاهده شده در دامنه ۸ تا ۴۴ درصد در این مطالعه، نشان دهنده پتانسیل خودسازگاری قابل اطمینان بوده و پیشنهاد می کند که این ژنوتیپ ها از ثبات باروری کافی برای برنامه های به نژادی و جایگزینی ارقام تجارتي ناخودسازگار برخوردارند. نتایج به دست آمده برای درصد میوه بندی حاصل از خودتلقیحی و آغاز شکوفه دهی یک نتیجه قابل قبول و رضایت بخش است (جدول ۵). زردآلو محصول بسیار حساس به شرایط اقلیمی و نوسانات دمایی پایان سال است. اگر چه به لحاظ خودسازگاری، از شرایط آب و هوایی تاثیر گذار در فعالیت حشرات و دریافت دانه گرده سایر درختان تاثیر پذیر نیست، اما حدوث سرماهای نزدیک صفر درجه سانتیگراد در زمان تلقیح گل ها و بعد از تشکیل میوه (که هنوز در شمارش اولیه میوه ها لحاظ نشده) به شدت گزارش میوه بندی را تحت تاثیر قرار داده و از سالی به سال دیگر می تواند متفاوت باشد.

همچنانکه قبلاً اشاره شد، خودسازگاری یکی از صفات نامطلوب در درختان میوه هسته دار، محسوب می شود. ارقام خودسازگار را نمی توان به تنهایی در یک باغ پرورش داد و

حضور ارقام گرده دهنده سازگار ضروری است. در صورت عدم وجود رقم گرده دهنده مناسب عملکرد میوه این ارقام کم خواهد بود. (Jamshidi et al., 2021). ارقام زردآلو در صورتی خودسازگار تلقی می‌شوند که میزان تشکیل میوه پس از خودگرده‌افشانی در باغ بیش از پنج درصد باشد (Audergon et al., 1999).

درصد میوه‌بندی ثبت شده در هفت ژنوتیپ مورد مطالعه برای تشخیص خودسازگاری آنها کافی است اگر چه به نظر می‌رسد در شرایط گرده‌افشانی در شرایط باغ، تولید بیشتر نیز ممکن است (Westwood, 1993). البته باید در نظر داشت که عوامل محیطی مانند دما، منبع گرده، فعالیت زنبور عسل، و فیزیولوژیکی وابسته به ژنوتیپ مانند زیست‌شناسی گل و باروری که بر تشکیل و عملکرد میوه تاثیر گذارند (McLaren et al., 1996; Ruiza and Egea, 2008) و همکاران (Nekounam et al., 2011) درصد پایین تشکیل میوه در دو رقم نوری و نصیری در شمارش دوم میوه را مربوط به ویژگی‌های ژنتیکی رقم برای کم بارده بودن، خطا در گرده‌افشانی دستی یا شرایط نامناسب ایجاد شده مانند دمای بالا در اثر کیسه گذاری شاخه‌های حاوی گل‌های گرده‌افشانی شده اعلام کردند.

درصد میوه‌بندی اولیه و نهایی ژنوتیپ‌ها در هر دو سال موید خودسازگاری آنهاست. هر دو شاهد کاملاً خودناسازگارند که با گزارش نجاتیان (Nejatian, 2008) منطبق است. تفاوت نتایج دوسال برای این صفت می‌تواند ناشی از عوامل

اجرائی آزمایش و شرایط محیطی باشد. تغییرات سالانه در تشکیل میوه در زردآلو توسط کداد و همکاران (Kodad et al., 2013) گزارش شده‌است. این پژوهشگران دریافتند بیشترین ریزش میوه در دوهفته اول پس از گرده افشانی رخ داد و پس از آن حدود ۶٪ از میوه‌ها تا زمان رسیدن ریزش داشتند. ریزش گل و میوه در مراحل اولیه، مشکل اصلی در کاهش عملکرد میوه درختان زردآلو است (Zarrinbal et al., 2018). ریزش اصلی میوه از ۱۲ تا ۳۵ روز پس از شکوفایی بوده و بیشترین ریزش میوه در ارقام زردآلو سه تا چهار هفته پس از مرحله تمام گل رخ می‌دهد. بعد از آن ریزش میوه به شدت کاهش می‌یابد و به عدم گرده‌افشانی و لقاح مربوط نمی‌شود (Lichou et al., 1995).

تعقیب لوله‌گرده در آزمایشگاه

برای کلیه ژنوتیپ‌های هیبرید امیدبخش تایید شده برای صفت خودسازگاری در مرحله مطالعه باغ، ۷۲ ساعت پس از خودگرده‌افشانی گل‌های روی شاخه‌های بریده در آزمایشگاه، رشد لوله‌گرده خودی از سطح کلالة تا ورودی تخمدان توسط میکروسکوپ فلورسنت، مورد بررسی قرار گرفت و با توجه به میزان نفوذ لوله‌گرده، خودسازگاری ژنوتیپ‌ها تعیین گردید (جدول ۶). میزان جوانه زنی دانه‌های گرده در سطح کلالة قابل توجه بود و قدرت جوانه زنی آنها متوسط (۲۰-۳۰) دانه گرده قابل شمارش) تا زیاد (بیش از ۳۰ دانه گرده قابل شمارش) تایید شد (جدول ۶). بر این اساس، ژنوتیپ‌های گروه نخست در شرایط آزمون خودسازگار و دو رقم شاهد خودناسازگار طبقه‌بندی بودند.

جدول ۶- درصد مادگیهای با نفوذ لوله گرده به داخل تخمدان گل ها پس از خودتلقیحی

Table 6. Pistils percentage with pollen tubes reached to the ovary after self-pollination

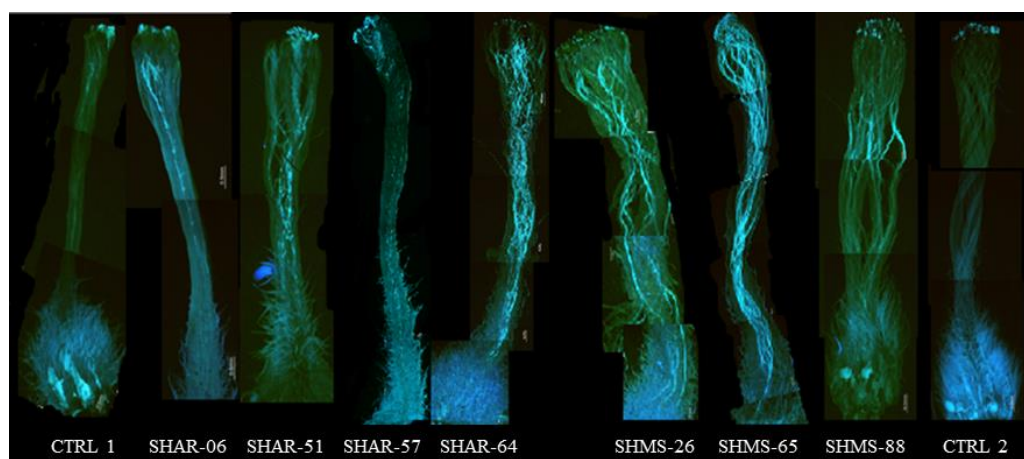
Genotypes	ژنوتیپ	Self-pollination status	وضعیت خودگرده افشانی	درصد مادگی های با نفوذ لوله گرده به داخل تخمدان* Pistils with pollen tube reached to the ovary (%)*
SHAR-06		Self-compatible	خودسازگار	100
SHAR-51			خودسازگار	75
SHAR-57			خودسازگار	100
SHAR-64			خودسازگار	90
SHMS-26			خودسازگار	72
SHMS-65			خودسازگار	58
SHMS-88			خودسازگار	43
Shams	شمس	Self-incompatible	خودناسازگار	0
Shahroudi	شاهرودی	Self-incompatible	خودناسازگار	0

*از نسبت تعداد مادگی هایی که در آن ها لوله گرده به تخمدان رسیدند به تعداد کل مادگی های تلقیح شده محاسبه شد.

*Calculated based on the ratio of the number of pistils with pollen tube reached the ovary to the total number of pollinated pistils.

ژنوتیپ و در چهار منظر (مقطع طولی) از سطح کلاله تا تخمدان به عمل آمد و عکسبرداری شد. بررسی رشد لوله های گرده پس از خودگرده افشانی نشان داد که در کلیه ژنوتیپ های مورد مطالعه، لوله گرده در بخشی از مادگی های بررسی شده تا تخمدان پیشروی کرد، در مقابل، در ارقام شاهد شمس و شاهرودی چنین نفوذی مشاهده نشد (شکل ۲).

در ژنوتیپ های خودناسازگار، رشد لوله گرده عموماً تا بخش های ابتدایی تا میانی خامه قبل تعقیب بود و پس از آن هیچ نشانه ای از ادامه رشد دیده نشد. در وضعیت خودسازگاری لوله گرده تا تخمدان اثر پیشروی خود را به کمک فلئورسانس نشان می دهد. این بررسی برای کلیه ژنوتیپ های هیبرید امیدبخش در این پژوهش و حداقل برای پنج مادگی برای هر



شکل ۲- تصویر میکروسکوپی فلورسنت از مادگی خودگرده افشانی شده در ژنوتیپ های خودسازگار زردآلو (دورگ های مورد مطالعه) و دو شاهد خودناسازگار

Fig. 4. Fluorescent microscopic image of self-pollinated pistils in self-compatible genotypes (studied hybrids) and two self-incompatible control cultivars

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که خودگرده‌افشانی در بین ژنوتیپ‌های زردآلوی مورد مطالعه متفاوت بود. در ژنوتیپ‌های هیبرید مورد مطالعه، نفوذ کامل لوله گرده تا تخمدان در تعداد قابل توجهی از مادگی‌های ارزیابی شده ثبت شد که معیار طبقه‌بندی آن‌ها به‌عنوان خودسازگار بود، در حالی که در ارقام شاهد شمس و شاهرودی لوله گرده در هیچ‌یک از مادگی‌ها به تخمدان نرسید و این دو رقم خودناسازگار بودند. درصد‌های گزارش شده در جدول ۶ فراوانی مادگی‌های دارای نفوذ کامل در نمونه آزمایشی را نشان می‌دهد و نباید به‌عنوان درجه خودسازگاری تفسیر شوند. در مطالعات پیشین روی ژنوتیپ‌های زردآلو، بررسی میکروسکوپی فلورسنت رشد لوله گرده در کنار ارزیابی میزان میوه‌بندی برای تعیین وضعیت سازگاری به کار رفته و رسیدن لوله گرده به تخمدان پس از گرده‌افشانی کنترل شده به‌عنوان تائید خودسازگاری در نظر گرفته شده است.

براساس این رویکرد، معیار نهایی در پژوهش حاضر نیز مشاهده نفوذ کامل لوله گرده تا تخمدان پس از خودگرده‌افشانی بود. توقف رشد لوله‌های گرده ناسازگار معمولاً بلافاصله بعد از کلاله و یا در یک سوم بالایی خامه مشاهده می‌شود. اگرچه آندرس و دوران (Andres and Duran, 1998) و میل‌توویچ (Milatović *et al.*, 2013) گزارش کردند که رشد لوله‌های گرده ناسازگار در زردآلو معمولاً در سه چهارم تحتانی خامه متوقف می‌شود. با در نظر گرفتن شرایط اجرای این گونه آزمایش‌ها، مدت زمان رشد لوله گرده که از ۷۲ تا

۹۶ ساعت پس از گرده‌افشانی دستی توسط پژوهشگران مختلف اعمال می‌شود، مشاهده میزان نفوذ دانه گرده در تلاقی‌های خودناسازگار ممکن است متفاوت گزارش شود.

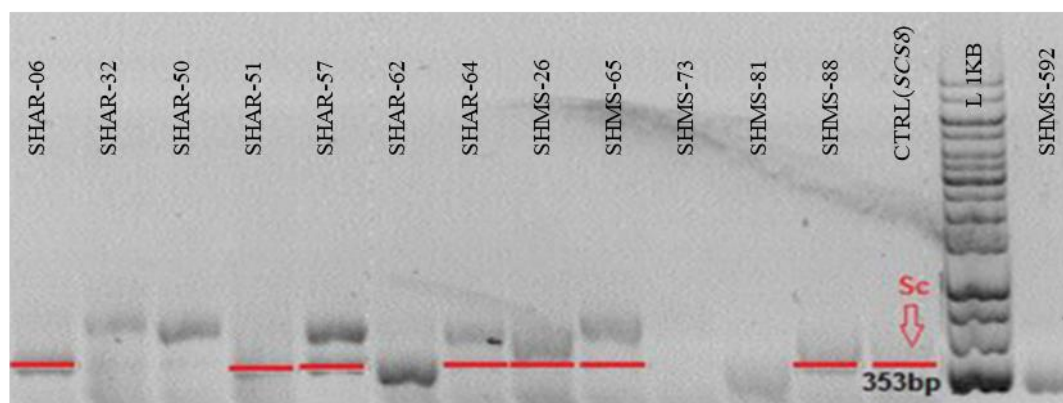
به‌هرحال توقف رشد لوله گرده با تجمع کالوز در انتهای لوله با رنگ آمیزی مناسب کاملاً مشهود و قابل تشخیص است و تبحر پژوهشگر در تفسیر نتایج ضروری است. تفاوت درصد‌های مشاهده‌شده در میان ژنوتیپ‌های خودسازگار (۴۳ تا ۱۰۰ درصد) را نمی‌توان بر مبنای داده‌های حاضر به‌سازوکار ژنتیکی یا فیزیولوژیکی مشخصی نسبت داد، زیرا این تفاوت‌ها می‌تواند بازتاب تغییرپذیری نمونه‌ها و شرایط اجرای آزمایش باشد و تعیین علت آن نیازمند داده‌های تکمیلی است. از این رو، با توجه به اینکه هدف اصلی پژوهش حاضر تایید فنوتیپ خودسازگاری بوده است، گزارش درصد‌ها به‌صورت توصیفی انجام شد و از مقایسه آماری میانگین‌ها و گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها اجتناب شد.

شناسایی آلل Sc با انجام PCR

برای تعیین الل Sc با مراجعه به بانک ژنی NCBI و EMBL، اندازه باندهای ظاهر شده در الکتروفورز ژل آگارز مشخص شدند. بر اساس اطلاعات موجود در این منابع، قطعه تکثیر شده از آلل خودسازگاری توسط آغازگر SRC-F/SRC-R معادل ۳۵۳ جفت باز و توسط آغازگر PaConsI-PaConsI-F/R برابر ۴۱۸ جفت باز گزارش شده است (Halasz *et al.*, 2007). به این ترتیب باندهای تشکیل شده با اندازه‌های فوق‌الذکر

با اندازه های گزارش شده پس از توالی یابی و ملاحظه اندازه دقیق با شمارش نوکلئوتیدها، همخوانی دارد (شکل ۳).

با ملاحظه سایر شواهد موید تشکیل میوه در باغ و تعقیب میکروسکوپی لوله گرده، به آلل خودسازگاری نسبت داده شد. نتایج به دست آمده



شکل ۳- الگوی الکتروفورز محصول پی.سی.آر با استفاده از آغازگر SRc(F+R) برای شناسایی آلل Sc در ژنوتیپ های زردآلوی مورد مطالعه همراه با شاهد (CTRL) رقم خودسازگار ایتالیایی با ژنوتیپ ScS8. خطوط قرمز باندهای هم اندازه آلل Sc را مطابق با شاهد نشان می دهند

Fig. 3. Agarose gel electrophoresis of PCR products using SRc (F+R) primer to identify Sc allele in studied apricot genotypes together with control (CTRL) self-compatible Italian cultivar with ScS8 genotype. The red color bands with the same size of the control (ScS8) indicate amplified fragment related to the Sc allele

سپاسگزاری

نگارنده بدین وسیله از همکاری مسئولین آزمایشگاه بخش تحقیقات نانوتکنولوژی پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران برای همکاری در انجام مطالعات میکروسکوپی و همینطور از دکتر کتایون اروچی سلماسی برای همکاری در اجرای بخشی از آزمایشات مربوط به این پروژه پژوهشی، سپاسگزاری می کند.

تعارض منافع

نگارنده اعلام می دارد که هیچگونه تعارض منافی با سایر اشخاص حقوقی/حقیقی ندارد.

خودسازگاری و دیرگلدی از مهمترین

اهداف بهنژادی در برنامه های تولید ارقام جدید زردآلو است. در این پژوهش، هدف انتقال صفت خودسازگاری به ژنوم ارقام زردآلوی محلی محقق شد و ژنوتیپ های هیبرید مورد مطالعه واجد ویژگی های مطلوب از جمله خودسازگاری و طول دوره شکوفایی مناسب بودند، و پس از تکمیل اطلاعات پومولوژی، می توانند در برنامه های بهنژادی زردآلو مورد استفاده قرار گیرند.

References

- Adams, C.R., Bamford, K.M. and Early, M.P. 2008.** Principles of Horticulture. Fifth Edition. Elsevier. Linacre House, Jordan Hill, Oxford, United Kingdom. 413 pp.
- Anonymous, 2023.** Agricultural Statistics, Volume 3. Horticultural Products. Center for Statistics, Information and Communication Technology. Deputy of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agricultural Jihad. 400 pp.
- Andres, M.V. and Duran, J.M. 1998.** Self-incompatibility in Spanish clones of apricot (*Prunus armeniaca* L.) tree. *Euphytica*, 101, pp.349-355. DOI: 10.1023/A:1018325517208
- Asma, B.M. 2008.** Determination of pollen viability, germination ratios and morphology of eight apricot genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(23), pp.4269-4273. DOI: 10.4314/ajb.v7i23.59562
- Audergon, J.M., Guerriero, R., Monteleone, P. and Viti R. 1999.** Contribution to the study of inheritance of the character self-incompatibility in apricot. *Acta Horticulturae*. 488, pp.275-280. DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.488.43
- Burgos, L., Alburquerque, N. and Egea, J. 2004.** Review: flower biology in apricot and its implications for breeding. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2(2), pp.227-241. DOI: 10.5424/sjar/2004022-77
- FAO. 2024.** FAO statistical data. Available on: www.faostat.org
- Gharesheikhhayat, R. 2010.** Self-incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.); new achievements and molecular aspects of *S*-locus allele segregation. Ph. D Thesis, University of Bologna. Bologna, Italy. 164 pp. DOI: 10.6092/unibo/amsdottorato/2997
- Gharesheikhhayat, R., Dejampour, J. and Zarrinbal, M. 2025.** Apricot. Pp. 152-175. In: Mahmoodi, R. and Tavakoli, A.R. (eds.) *Productivity and Production Management of Horticultural Crops on National Cropping Pattern*. Horticultural Sciences Research Institute publication. Karaj, Iran. (in Persian).
- Halász, J., Pedryc, A. and Hegedus, A. 2007.** Origin and dissemination of the pollen-part mutated SC haplotype that confers self-compatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *New Phytology*, 176(4), pp.792-803. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2007.02220
- Halász, J., Pedryc, A., Ercisli, S., Yilmaz, K.U. and Hegedús, A. 2010.** S-genotyping supports the genetic relationships between Turkish and Hungarian apricot germplasm. 2010. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 135(5), pp.410-417.

DOI: 10.21273/JASHS.135.5.410

- Herrera, S., Rodrigo, J., Hormaza, J. and Lora, J., 2018.** Identification of self-incompatibility alleles by specific PCR analysis and *S-RNase* sequencing in apricot. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(11), 3612, pp.1-13. DOI: 10.3390/ijms19113612
- Jamshidi, A.R., Imani, A. and Miri, S.M. 2021.** Identification of the pollinizer for a new almond genotype 'Karaj 33'. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 4(4), pp.521-528. DOI: 10.22077/jhpr.2021.4477.1226
- Kodad, O., Halász, J., Hegedus, A., Messaoudi, Z., Pedryc, A. and Socias i Company, R. 2013.** Self-(in)compatibility and fruit set in 19 local Moroccan apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), pp.457-461. DOI:10.1080/14620316.2013.11512991
- Lichou, J., Audubert, A., Jay, M. and Costes, E. 1995.** Influence of floral fertility and pollination on fruit drop and productivity of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Acta Horticulturae*, 384, pp.333-338. DOI: 10.17660/ActaHortic.1995.384.51
- Liu, M., Hou, P., Zhang, L., Dong, Y. and Zong, W. 2018.** S-genotype characterization of 10 Kernel-apricots native to China. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(2), pp.237-242. DOI: 10.1080/14620316.2018.1478679
- McLaren, G.F., Fraser, J.A. and Grant, J.E. 1996.** Some factors influencing fruit set in 'Sundrop' apricot. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 24(1), pp.55-63. DOI: 10.1080/01140671.1996.9513935
- Milatović, D., Nikolić, D., Fotirić-Akšić, M. and Radović, A. 2013.** Testing of self-(in)compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(6), pp.103-113. DOI: 10.1080/14620316.2007.11512215
- Molaei, S., Soleimani, A., Zeinolabedini, M. and Maleki, B. 2014.** Study of self-incompatibility in some apricot genotypes (*Prunus armeniaca* L.) using classical and molecular methods. *Seed and Plant Improvement*, 30-1(4): pp.777-790.
- Nejatian, M.A., 2008.** Iranian apricot. Nashr-e-Amoozesh Keshavarzi. Karaj, Iran. 441 pp. (in Persian).
- Nekounam, F., Fattahi Moghaddam, M. and Ebadi, A. 2011.** An evaluation of the states of incompatibility and sterility in four Iranian commercial apricot cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 42(1), pp. 1-9.

- Pedryc, A., Ruthner, Sz. Hermán, R. Krska, B. Hegedű, A. and Halász, J. 2009.** Genetic diversity of apricot revealed by a set of SSR markers from linkage group G1. *Scientia Horticulturae*, 121, pp.19–26. DOI: 10.1016/j.scienta.2009.01.014
- Rizzo, M., Marcuzzo, M., Zangari, A., Gasparetto, A. and Albarelli, A. 2023.** Fruit ripeness classification: a survey. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 7, pp.44-57. DOI: 10.1016/j.aiia.2023.02.004
- Ruiza, D. and Egea, J. 2008.** Analysis of the variability and correlations of floral biology factors affecting fruit set in apricot in a Mediterranean climate. *Scientia Horticulturae*, 115(2), pp.154-163. DOI: 10.1016/j.scienta.2007.08.016
- Westwood, M. N. 1993.** Temperate-zone pomology: physiology and culture. 3rd Edition. Portland, OR: Timber Press. 523 pp.
- Yaman, M. and Turan Sirke, S. 2021.** Determination of pollen viability and germination ratios in Mersin ecology of some early apricot. *Current Trends in Natural Sciences* 10(19), pp.166-169. DOI: 10.47068/ctns.2021. V10i19.021
- Zarrinbal, M., Soleimani, A., Baghban Kohnehrouz, B. and Dejampour, J. 2018.** Self-compatibility in some apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes. *Crop Breeding Journal*, 8(1 & 2), pp.49-59. DOI: 10.22092/cbj.2018.122435.1025
- Zarrinbal, M., Baghban Kohnevarz, B., Soleymani A. and Dejampour J. 2019.** Assessment of fruit set percentage and pollen compatibility status in different apricot cultivars. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2), pp.205-221 (in Persian).

RESEARCH ARTICLE

DOI: 10.22092/spj.2026.374213.1484

Evaluation of Phenological and Reproductive Traits, and Determination of Self-Compatibility in Apricot (*Prunus armeniaca* L.) Promising Hybrids

R. Gharesheikhbayat* 

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

ABSTRACT

Gharesheikhbayat, R. 2026. Evaluation of phenological and reproductive traits, and determination of self-compatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.) promising hybrids. *Seed and Plant*, 42, pp.37-57 (in Persian).

Apricot (*Prunus armeniaca* L.) is a temperate fruit crop of high horticultural and economic value, exhibiting high adaptability to different climatic conditions across Iran. To develop new self-compatible genotypes, seven promising hybrid genotypes were selected between 2011 and 2012 from crosses between local commercial cultivars (Shams, Shahroudi, and Ordoubad) and four foreign self-compatible pollen parents (Palumella, San Castrese, Cafona and Vitilo). The experimental orchard was established in 2016 at the Meshkin-Dasht Horticultural Research Station, Karaj, Iran. Data analysis over two consecutive fruiting years, 2019 and 2020, confirmed the self-compatibility genotype and phenotype of the hybrid genotypes. Significant differences ($p < 0.05$ and $p < 0.01$) were observed among genotypes as well as significant genotype $\times$ year interactions for bloom onset, bloom duration, and self-pollinated fruit set. The average blooming duration was about 13 days, and the average fruit set following self-pollination was more than 17%. These traits are important for commercial apricot production. The mean pollen germination rate of 48% indicated that these hybrids had high fertility potential under self-pollination conditions.

Keywords: Apricot, phenology, pollination, pollen tube, Sc-allele, breeding.

Introduction

Pollination is very important for economic fruit production in the Rosaceae family, particularly for apricot. While self-incompatibility serves as an evolutionary strategy for genetic diversity, it presents a significant challenge in modern, single-cultivar orchards by limiting fruit set. Consequently, effective pollination management such as planting cross-compatible cultivars or adopting self-compatible cultivars is essential to maximize fruit yield without expanding cultivation area. Recent research highlights the importance of identifying self-compatibility in various apricot genotypes. Zarrinbal *et al.* (2018) confirmed self-compatibility in some apricot genotypes, including the Iranian hybrid AD731 and European cultivars, Canino, San Castrese, Palumella and Cafona. Furthermore, molecular advancements have strengthened these efforts. Liu *et al.* (2018) utilized *S-RNase* primers to identify *S-alleles* in Chinese apricot genotypes, distinguishing between self-incompatible and self-compatible types. To overcome the economic constraints imposed by self-incompatibility (SI) in local apricot cultivars in Iran, crossbreeding scheme has been design designed and implemented.

The objective of this research was to evaluate the phenological and reproductive traits, and determination self-compatibility of seven apricot hybrid genotypes.

Materials and Methods

Seven apricot hybrid genotypes, selected from a crossbreeding program aimed at developing superior self-compatible genotypes, were evaluated in an experimental orchard in Meshkin-Dasht Research Field Station, Horticultural Sciences Research Institute, Karaj, Iran. These genotypes were derived from crosses between Iranian local apricot cultivars; Shams, Shahroudi, and Ordoubad as female parents and four Italian commercial cultivars; Palumella, San Castrese, Cafona, and Vitillo as pollen donors. For the purpose of further testing and reporting, the studied hybrids are designated as SHAR-06, SHAR-51, SHAR-57, SHAR-64, SHMS-26, SHMS-65, and SHMS-88, considering their maternal lineage.

Phenological traits were recorded based on the percentage of open flowers on the canopy. Onset of blooming was defined when 10% of flowers were open and the end of blooming (petal fall) stage was recorded when approximately 80-90% of the petals had abscised from the flowers, in accordance with the BBCH-scale; stone fruit. Self-compatibility was evaluated by bagging branches for controlled self-pollination and recording final fruit set under field conditions (Burgos *et al.*, 1993).

Pollen viability was verified through 'in vitro' germination on standard agar media, and pollen tube growth in self-pollinated pistils was monitored on cut branches using aniline blue fluorescence microscopy. Finally, *S-alleles* were determined via PCR-based *S-RNase* genotyping following the specific consensus primer protocols established for apricot.

Results and Discussions

The results revealed significant ($P<0.05\%$) differences in fruit set among the studied apricot genotypes. Genotype SHAR-06 exhibited the highest fruit set, whereas control

cultivars showed significantly lower values. This variation in fruit set is a critical factor in apricot breeding, as it often reflects the level of self-compatibility or the efficiency of pollen-pistil interactions. The observed differences in fruit set could be attributed to the genetic variation in S-alleles, which governs self-incompatibility (SI) in *Prunus armeniaca* (Andres and Duran, 1998). Higher fruit set percentages in certain genotypes suggest a higher potential for self-compatibility, a trait highly sought after in intensive orchard management (Zarrinbal *et al.*, 2018).

Significant differences were also observed in the timing of blooming. The timing of blooming is a genetically controlled trait influenced by environmental factors such as temperature. The mean blooming onset varied from 1 to 8.5 days after early flowering control cultivar. Furthermore, the blooming duration (flowering period) showed significant differences among genotypes. Genotypes with a prolonged blooming period, such as SHMS-26 and SHMS-65 might provide a wider window for successful pollination, which could potentially mitigate the risks of environmental stresses during flowering stage. The relationship between blooming onset and duration is a key component of the flowering phenology that determines the synchronization of pollen availability and stigma receptivity (Milatović *et al.*, 2013).

In conclusion, the significant variation in phenological traits and fruit set among the seven apricot hybrid genotypes indicated wide genetic basis for these traits. The genotypes that showed stable blooming onset and duration combined with high fruit set should be considered for being used in apricot breeding programs for development of self-compatible apricot hybrids.

References

- Andres, M.V. and Duran, J.M. 1998.** Self-incompatibility in Spanish clones of apricot (*Prunus armeniaca* L.) tree. *Euphytica*, 101, pp.349-355. DOI: 10.1023/A:1018325517208
- Liu, M., Hou, P., Zhang, L., Dong, Y. and Zong, W. 2018.** S-genotype characterization of 10 Kernel-apricots native to China. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 94(2), pp.237-242. DOI: 10.1080/14620316.2018.1478679
- Milatović D., Nikolić D., Fotirić-Akšić M. and Radović A. 2013.** Testing of self-(in)compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 12(6), pp.103-113. DOI: 10.1080/14620316.2007.11512215
- Zarrinbal, M., Soleimani, A., Baghban Kohnehrouz, B. and Dejampour, J. 2018.** Self-compatibility in some apricot (*Prunus armeniaca* L.) genotypes. *Crop Breeding Journal*, 8(1 & 2), pp.49-59. DOI: 10.22092/cbj.2018.122435.1025

*Corresponding author: r.bayat@areeo.ac.ir

Tel.: +982636702541

Received: 01 March 2026

Accepted: 16 May 2026



2026© The Authors. 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.