

Study of Cross-(in) compatibility and introduction of the best Pollinizer in four almond Promising Genotypes to achieve Sustainable Crop Production

Mohammad Zarrinbal^{1*}, Jalil Dejampour², Hossein Fathi³

Received: 22 February 2023 Accepted: 24 January 2024

1, 2 and 3-Assist. Prof., Assoc. Prof. and Researcher of Crop and Horticultural Science Research Department, East Azerbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tabriz, Iran.

*Corresponding Author Email: : m.zarrinbal@areeo.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This study was conducted to determine the pollen (in) compatibility of seven commercial cultivars in crossing with four almond (*Prunus dulcis* Mill.) promising genotypes and to select the best pollinizer with the aim of ensuring fruit set and stable production.

Materials and Methods: The percentage of initial and final fruit set of almond promising genotypes was evaluated after controlled pollination with pollinizers on experimental orchard in Sahand horticultural research station (East Azerbaijan) in two consecutive years. Also, the pollen tube growth inside the pistil of recipient genotypes was tracked using fluorescent microscope. Observing at least one pollen tube inside the ovary was considered as compatibility and stopping the pollen tube through style was considered as incompatibility.

Results: All of pollinizers including Azar, Sahand, Fragness, A200, Araz, Eskandar and Tono had pollen compatibility with recipient genotypes. The highest percentage of final fruit set for AL721 was achieved when it was pollinated with Azar and Eskandar (59% and 56%, respectively), for AL1310 with Azar (41%), Sahand and Eskandar (39%), for NP2 with Eskandar and Azar (57% and 54%, respectively) and for KH2 with Eskandar and Araz (44% and 43%, respectively).

Conclusion: Assessment of final fruit set after controlled pollination in orchard determined suitable pollinizers of new promising genotypes. The genotypes AL721 and AL1310 (with 59% and 25% fruit set, respectively) had the highest and lowest fertility potential. Microscopic observations of pollen tube growth inside the pistil confirmed the orchard evaluations.

Keywords: Almond, Final Fruit Set, Fluorescent Microscope, Pollen Compatibility, Pollen Tube Growth

مطالعه دگر(نا) سازگاری و معرفی بهترین والد گرده‌زا در چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام برای دستیابی به تولید محصول پایدار

محمد زرین‌بال^{۱*}، جلیل دژم‌پور^۲، حسین فتحی^۳

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۴

۱، ۲ و ۳ بترتیب: استادیار، دانشیار و محقق بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، AREEO، تبریز، ایران
* مسؤل مکاتبه: Email: m.zarrinbal@areeo.ac.ir

چکیده

اهداف: این مطالعه به منظور تشخیص دگر(نا)سازگاری دانه گرده هفت رقم تجاری در تلاقی با چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام (*Prunus dulcis* Mill.) و انتخاب بهترین رقم گرده‌زا برای تضمین میوه‌بندی و تولید پایدار محصول انجام گردید.

مواد و روش‌ها: درصد میوه‌بندی اولیه و نهایی ژنوتیپ‌های امیدبخش بادام پس از گرده‌افشانی کنترل شده با ارقام گرده‌زا در شرایط باغی در ایستگاه تحقیقات باغبانی سهند (آذربایجان شرقی) طی دو سال متوالی ارزیابی گردید. همچنین رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا درون مادگی گل ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده به کمک میکروسکوپ فلئورسنت ردیابی شد. مشاهده حداقل یک لوله گرده در حال رشد درون تخمدان نشانه سازگاری و توقف رشد لوله گرده درون خامه نشانه ناسازگاری منظور شد.

یافته‌ها: ارقام گرده‌زای آذر، سهند، فرانسیس، A200، آراز، اسکندر و تونو با ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده از سازگاری دانه گرده برخوردار بودند. بیشترین درصد میوه‌بندی نهایی برای ژنوتیپ AL721 با استفاده از گرده ارقام آذر و اسکندر (به ترتیب ۵۹٪ و ۵۶٪)، برای ژنوتیپ AL1310 با استفاده از گرده ارقام آذر (۴۱٪)، سهند و اسکندر (۳۹٪)، برای ژنوتیپ NP2 با استفاده از گرده ارقام اسکندر و آذر (به ترتیب ۵۷٪ و ۵۴٪) و برای ژنوتیپ KH2 با استفاده از گرده ارقام اسکندر و آراز (به ترتیب ۴۴٪ و ۴۳٪) به دست آمد.

نتیجه‌گیری: با ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، ارقام گرده‌زا برای ژنوتیپ‌های امیدبخش انتخاب شدند. ژنوتیپ‌های AL721 با میوه‌بندی ۵۹٪ و AL1310 با میوه‌بندی ۲۵٪ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین پتانسیل باروری بودند. مشاهدات میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی نتایج ارزیابی‌های باغی را تایید نمود.

واژه‌های کلیدی: بادام، رشد لوله گرده، سازگاری دانه گرده، میکروسکوپ فلئورسنت، میوه‌بندی نهایی

مقدمه

تولید پایدار در باغ اهمیت ویژه‌ای دارد و همچنین از نظر افزایش کارایی و سرعت برنامه‌های به‌نژادی دارای اهمیت است (دژم‌پور و همکاران ۲۰۱۱). امروزه به

آگاهی کافی از روابط سازگاری دانه گرده و مادگی بین ارقام مختلف از مهم‌ترین جنبه‌های فرآیند باردهی درختان میوه معتدله می‌باشد که از نظر میوه‌کاری برای انتخاب مطلوب درختان گرده‌زا با هدف دستیابی به

ژن بعنوان پروتئین F-box شناخته می‌شود (انتانی و همکاران ۲۰۰۳). برهمکنش این دو ژن به ناتوانی رشد لوله گرده درون خامه می‌انجامد.

مکان ژنی ویژگی ناسازگاری^۵ هر دو فرآیند خود ناسازگاری و دگر ناسازگاری در درختان میوه را کنترل می‌کند (سانزول ۲۰۰۹). در حقیقت این مکان ژنی که مسئول کنترل خود ناسازگاری است، دگر ناسازگاری را نیز کنترل می‌کند (دنتانکورت ۲۰۰۱). ارقامی که آللهای خود ناسازگاری مشابهی دارا هستند، یک گروه دگر ناسازگاری تشکیل می‌دهند که توانایی گرده‌افشانی و باروری یکدیگر را ندارند (ویلانووا و همکاران ۲۰۰۵). این ارقام برای تولید میوه کافی بایستی با دانه گرده حاوی آلل متفاوت و سازگار گرده‌افشانی شوند. گزارشات متعددی از دگر ناسازگاری ارقام در درختان میوه هسته‌دار وجود دارد (رومرو و همکاران ۲۰۰۴). به نظر می‌رسد دلیل افزایش این پدیده استفاده از ارقام محدود بعنوان والدهای پدری و مادری در برنامه‌های به‌نژادی باشد که تنوع ژنتیکی ارقام را محدود نموده است (جکوامارت ۲۰۰۷). در بادام نیز وجود گروه‌های دگر ناسازگار گزارش شده است (حسین‌آوا، ۲۰۱۵؛ آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵؛ سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷). در اولین مطالعات در این زمینه، کستر و همکاران (۱۹۹۴) در کالیفرنیا با مطالعه خود ناسازگاری و دگر ناسازگاری در بادام، چند گروه دگر ناسازگار ارقام بادام را تعیین کردند.

تشخیص دگر(نا)سازگاری بین ارقام در برنامه‌های به‌نژادی کلاسیک با ارزیابی میوه‌بندی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط مزرعه‌ای انجام می‌شود. برآورد عملکرد درخت و مقایسه بین ارقام گرده‌زا در شرایط واقعی باغ از مزایای این روش نسبت به روش‌های آزمایشگاهی می‌باشد (اورتگا و دیسنتا ۲۰۰۶). به دلیل اینکه میزان تشکیل میوه تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیولوژیکی درخت و شرایط محیطی در سال‌های مختلف در نوسان می‌باشد، لذا تکرار تلاقی‌های کنترل شده و ارزیابی میوه‌بندی برای حداقل دو سال متوالی

هنگام معرفی ارقام جدید، وضعیت خود(نا)سازگاری^۱ و دگر(نا)سازگاری^۲ والدهای مادری و پدری تعیین می‌شود تا در زمان احداث باغ با گزینش والدین مناسب و به دنبال آن انجام گرده‌افشانی موفق، تولید محصول تجاری تضمین شود (زرین‌بال ۲۰۱۹). ویژگی خود ناسازگاری یک راهبرد تکاملی در گیاهان گلدار است که با هدف جلوگیری از خود باروری^۳ و گرایش به دگر باروری^۴ توسعه یافته است. در این پدیده با استفاده از مکانیسم شناسایی دانه گرده-مادگی، از رشد لوله گرده‌ای که توسط مادگی به‌عنوان خودی^۵ شناخته شده است، به شکل انتخابی جلوگیری شده و در نتیجه از خود باروری گل ممانعت به عمل می‌آید. در واقع، با وجود کارآمد بودن هر دو اندام جنسی نر و ماده، گیاه از توانایی باروری و تشکیل بذر پس از خود گرده‌افشانی برخوردار نمی‌باشد (دنتانکورت ۲۰۰۱؛ هالاسز و همکاران ۲۰۰۷).

بادام (*Prunus dulcis* Mill.) که به نظر می‌رسد بومی فلات ایران باشد، در طول جاده ابریشم و از مسیر آسیای میانه تا اروپا پراکنش یافته است (سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۲). بادام از مهمترین میوه‌های خشک مناطق معتدله بوده و اکثر ارقام آن با ویژگی خود ناسازگاری شناخته شده‌اند و برای تولید میوه تجاری به گرده‌افشانی با دانه گرده مناسب و سازگار نیاز دارند (فلاح و همکاران، ۲۰۱۷؛ سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۷). خود ناسازگاری در بادام مانند دیگر گونه‌های جنس پرونس^۶ به شکل گامتوفیتی است که توسط یک مکان ژنی با آللهای مختلف کنترل می‌شود (ساترلند و همکاران ۲۰۰۸؛ سوسیاس آی کمپانی و همکاران ۲۰۱۷). در این نوع ناسازگاری در صورتی که آللهای مشابه در دانه گرده و مادگی وجود داشته باشند، رشد لوله گرده درون خامه متوقف می‌شود (بورگوس و همکاران ۱۹۹۸). در واقع، با بیان شدن ژن خود ناسازگاری در خامه، پروتئین S-RNase تولید می‌شود که فعالیت ریبونوکلازی^۷ دارد (ویلانووا و همکاران ۲۰۰۶). در حالیکه در دانه گرده محصول این

⁵ Self

⁶ *Prunus*

⁷ Ribonuclease activity

⁸ S-locus

¹ Self-(in)compatibility

² Cross-(in)compatibility

³ Self-fertilization

⁴ Cross-fertilization

پژوهش حاضر با هدف تشخیص دگر (نا)سازگاری و انتخاب بهترین والد گرده‌زا در چند ژنوتیپ امیدبخش بادام با ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط باغی و همچنین ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی: چهار ژنوتیپ امیدبخش بادام به عنوان والد گرده‌گیرنده و هفت رقم تجاری به عنوان والد گرده‌زا از میان ژنوتیپ‌های امید بخش حاصل از برنامه به‌نژادی بادام (دژم پور و همکاران ۲۰۱۷، زرین‌بال و همکاران ۲۰۲۰) مورد مطالعه قرار گرفتند. گرده‌افشانی آزاد والد‌های گرده‌گیرنده بعنوان شاهد در نظر گرفته شد. این ژنوتیپ‌ها روی پایه بذری قرار داشته و در ایستگاه تحقیقات باغبانی سهند وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی کاشته شده‌اند. درختان ۹-۱۰ ساله بوده و عملیات باغی یکسانی بر روی آنها انجام گردید. منشاء، شجره و ویژگی مهم این ارقام و ژنوتیپ‌ها در جدول یک آورده شده است. این مطالعه در دو سال متوالی ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ انجام شد.

توصیه می‌شود (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ ب). ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون خامه با کاربرد میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت روش دقیق‌تری در تشخیص دگر (نا)سازگاری بین ارقام می‌باشد. در این شیوه زمانی که در اکثر مادگی‌های در حال مطالعه حداقل یک لوله گرده به تخمدان برسد، بعنوان تلاقی سازگار محسوب می‌شود و اگر رشد لوله گرده درون خامه متوقف شده و تشکیل کالوز انتهایی مشاهده شود، به عنوان تلاقی ناسازگار تلقی خواهد شد (اورتگا و دیستتا ۲۰۰۳، ۲۰۰۶). از آنجایی که این روش کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد، در مقایسه با مطالعه میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی در شرایط مزرعه‌ای، ارزیابی دقیق‌تری را امکان‌پذیر ساخته (جکوا و مارت ۲۰۰۷) و نیز نسبت به روش‌های مولکولی مبتنی بر پی سی آر^۱ که در سال‌های اخیر گسترش یافته‌اند، بسیار مقرون به صرفه است (زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۶). ویژگی دگر (نا)سازگاری بین ارقام با استفاده از این روش در گیلان (سونولد و همکاران ۲۰۰۳؛ رسولی و همکاران ۲۰۱۰ الف)، بادام (اورتگا و همکاران ۲۰۰۲؛ آلونسو و سوسپاس آی کمپانی ۲۰۰۵)، آلو (نیکولیک و میلاتوویک ۲۰۱۰) و زردآلو (میلاتوویک و نیکولیک ۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفته است.

جدول ۱- اسامی، شجره، منشاء و ویژگی مهم ارقام و ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده و گرده‌زای مورد مطالعه بادام

ردیف	ژنوتیپ/رقم	شجره	منشاء	ویژگی مهم
۱	AL721	ژنوتیپ بومی	ایران	دیرگل و پوست کاغذی
۲	AL1310	شکوفه × A200	ایران	متوسط گل و پوست کاغذی
۳	NP2	ژنوتیپ بومی	ایران	دیرگل و پوست کاغذی
۴	KH2	ژنوتیپ بومی	ایران	متوسط گل و نیمه پوست کاغذی
۱	آذر	Ai × Cristo Morto	ایران	دیر گل و نیمه پوست کاغذی
۲	آراز	AH50 × Non Pariel	ایران	خیلی دیر گل و پوست کاغذی
۳	اسکندر	Fragness × Non Pariel	ایران	خیلی دیر گل و پوست کاغذی
۴	سهند	ژنوتیپ بومی	ایران	خیلی دیرگل و پوست سخت
۵	تونو	رقم ایتالیایی	ایتالیا	خود سازگار، دیرگل و پوست سخت
۶	A200	رقم اسپانیایی	اسپانیا	دیرگل و پوست سخت
۷	فرانیس	رقم فرانسوی	فرانسه	دیرگل و پوست نیمه‌سخت
۸	شاهد	گرده‌افشانی آزاد	-	-

¹ Polymerase Chain Reaction (PCR)

شاخه‌ها در مرحله غنچه بسته انتخاب و با استفاده از پنس گلبرگ‌ها و پرچم‌ها حذف شدند تا گل‌ها اخته شوند (جکوا و مارت ۲۰۰۷؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۹). همچنین در مرحله ایزوله کردن درختان توسط قفس توری، گل‌های باز شده و گل‌هایی که قبل از مرحله غنچه بسته بودند، حذف شدند. در زمان باز شدن گل‌ها و زمانی که کلاله گل آمادگی پذیرش دانه گرده را داشت، دگر گرده‌افشانی مصنوعی با استفاده از گرده رقم مورد نظر توسط قلم مو انجام شد. برای اجتناب از آلودگی برای هر تیمار یک قلم موی جداگانه انتخاب شد و نیز دست‌ها با الکل ۷۰٪ ضدعفونی می‌شدند. گرده‌افشانی مصنوعی پس از ۴۸ ساعت تکرار شد تا از تلاقی گل‌ها اطمینان حاصل شود (جکوا و مارت ۲۰۰۷). با سپری شدن دو هفته قفس‌های توری بزرگ برداشته شدند. پس از گذشت دو هفته از انجام گرده‌افشانی میزان میوه‌بندی اولیه و پس از هشت هفته میزان میوه‌بندی نهایی با شمارش تعداد میوه‌های تشکیل شده و محاسبه نسبت آنها به تعداد گل‌های تلقیح شده به دست آمد (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۹). همچنین به منظور تعیین پتانسیل باروری ارقام مادری، گرده افشانی آزاد گل‌ها در شرایط طبیعی در باغ انجام شد و میزان میوه‌بندی اولیه و نهایی با شمارش تعداد میوه‌های تشکیل شده و محاسبه نسبت آنها به تعداد گل‌های تلقیح شده به دست آمد (فوتیریک آکسیک و همکاران ۲۰۱۴). برای اطمینان از نتایج به دست آمده، این مطالعه در دو سال تکرار گردید.

دگر گرده افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و ردیابی لوله گرده درون مادگی: جهت اطمینان از نتایج مطالعات باغی، مطالعات آزمایشگاهی و میکروسکوپی دگر(نا)سازگاری برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه انجام گردید. بدین منظور، شاخه‌های دارای تعداد کافی جوانه گل (حدود ۴۰ گل) از درختان گرده‌گیرنده در مرحله بالونی^۲ برداشت شده و به آزمایشگاه با دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. انتهای شاخه‌ها درون سطل‌های

تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده: به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده، شاخه‌های دارای جوانه گل از درختان گرده‌زا در مرحله^۱ D فلکینگر^۱ (غنچه بسته) انتخاب و درون کیسه‌های پلاستیکی سربسته به آزمایشگاه منتقل شده و در سطل‌های ۲۰ لیتری حاوی آب قرار گرفتند تا گل‌ها باز شوند. بساک‌ها پیش از باز شدن گل با استفاده از پنس جدا شده و گرده‌ها پس از آزاد شدن جمع‌آوری و درون لوله‌های شیشه‌ای درب‌دار در یخچال نگهداری شدند (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ بورگوس و همکاران ۲۰۰۴). سپس گرده‌ها درون پتری دیش روی محیط کشت حاوی ۱٪ آگار، ۱۵٪ ساکارز و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید بوریک با استفاده از قلم‌مو به‌صورت یکنواخت کشت شده و در اتاقک کشت و در شرایط کنترل شده از نظر دما (۲۲±۲ درجه سانتی‌گراد)، نور (۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی) و رطوبت نسبی (۷۵٪) قرار گرفتند. پس از ۲۴ ساعت فرآیند جوانه‌زنی با اضافه کردن چند قطره کلروفورم متوقف شده و درصد تندش دانه گرده با استفاده از میکروسکوپ نوری در چهار میدان دید مختلف بررسی گردید (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ رومرو و همکاران ۲۰۰۴). برای جلوگیری از ایجاد اثر توده‌ای^۲ (تحریک تندش و رشد لوله گرده زمانی که تعداد دانه گرده در واحد سطح زیاد باشد) شمارش دانه‌های گرده جوانه زده از میان میدان‌های دیدی صورت گرفت که دانه‌های گرده بصورت یکنواخت توزیع شده بودند (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ الف).

دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ: برای انجام دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، درختان گرده‌گیرنده انتخاب شده و حدود ۱۴ روز قبل از زمان تقریبی باز شدن گل‌ها، با استفاده از قفس‌های توری بزرگ ایزوله شدند تا از گرده افشانی ناخواسته جلوگیری شود. در هر درخت سه شاخه در جهت‌های مختلف که دارای موقعیت نسبی، تعداد گل و سطح برگ تقریباً مشابهی بودند از قسمت میانی تاج درخت انتخاب شدند. این

³ Balloon stage

¹ Flekinger

² Mass effect

میکروسکوپی در هر تکرار که بطور تصادفی از هر نمونه انتخاب شدند، استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل درصد میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در باغ، از طرح فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳۲ تیمار (ترکیب تلاقی‌ها شامل ۷ والد پدری بعلاوه گرده‌افشانی آزاد در تلاقی با ۴ والد مادری) در ۳ تکرار استفاده شد. هر تکرار شامل یک درخت بوده و در هر درخت سه شاخه در جهت‌های مختلف از قسمت میانی تاج درخت و در کل دارای تعداد تقریباً ۳۰۰ گل انتخاب شدند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها از نرم‌افزارهای SPSS ver. 23 و MSTATC استفاده شد. برای دگرگرده‌افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی، تعداد دانه گرده روی کلاله و تعداد لوله گرده در یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم پایینی خامه و نیز درون تخمدان شمارش شدند. در بررسی‌های میکروسکوپی وجود حداقل یک لوله گرده نفوذ کرده به درون مادگی تلاقی سازگار و توقف رشد لوله گرده در طول خامه و چند شاخه‌ای شدن آن تلاقی ناسازگار منظور گردید.

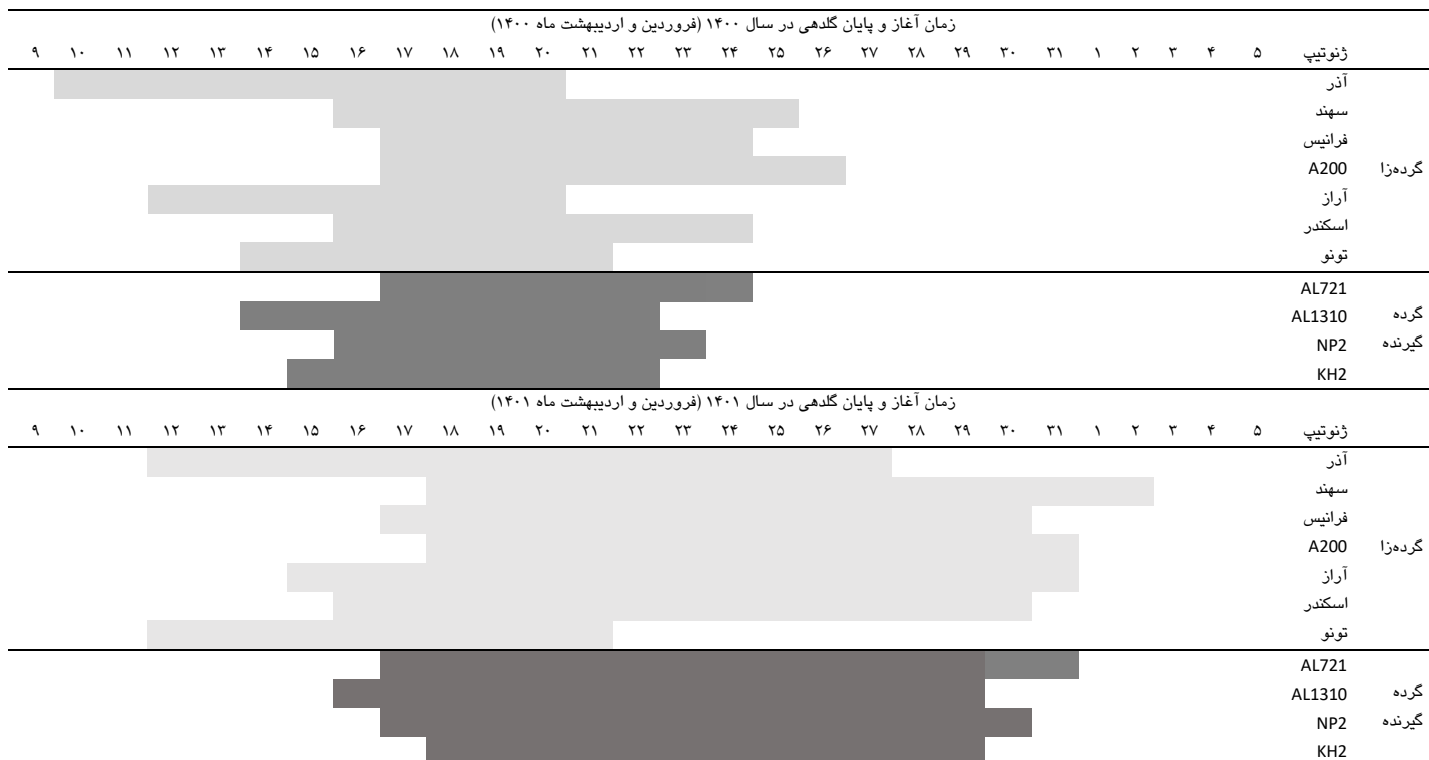
نتایج

همپوشانی دوره گلدهی: مطالعه زمان آغاز و پایان گلدهی در دو سال متوالی نشان داد که گلدهی ارقام گرده‌زا با ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده به مدت پنج روز همزمان بودند. ارقام آذر و تونو نسبت به سایر ارقام و ژنوتیپ‌های گرده‌زا و گرده‌گیرنده مورد مطالعه اندکی زودگل‌تر بوده ولی در هر دو سال مورد بررسی از همپوشانی کافی با ژنوتیپ‌های مادری از نظر زمان گلدهی برخوردار بودند. آغاز و پایان گلدهی در دو سال مورد بررسی به دلیل تغییر در شرایط آب و هوایی متفاوت بوده ولی الگوی گلدهی این ژنوتیپ‌ها تقریباً ثابت بود (شکل ۱).

۲۰ لیتری محتوی محلول ۵٪ ساکارز قرار گرفتند. پس از باز شدن گل‌ها و پذیرا بودن کلاله، گل‌ها با استفاده از گرده والد پدری به کمک قلم مو تلقیح شدند. با گذشت ۹۶ ساعت از گرده‌افشانی، مادگی گل‌ها جدا شده و درون محلول تثبیت کننده FAA^۱ (حاوی ۹۰ درصد اتانول ۷۰ درصد، ۵ درصد فرم آلدئید ۴۰ درصد و ۵ درصد اسید استیک گلاسیال) به مدت ۲۴ ساعت تثبیت شده و سپس تا زمان انجام بررسی‌های میکروسکوپی در اتانول ۷۰ درصد و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (رومرو و همکاران ۲۰۰۴؛ هارتمن و همکاران ۲۰۱۴). نمونه‌ها سه مرتبه و هر بار به مدت یک ساعت با آب مقطر شستشو داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۲ ساعت در محلول NaOH چهار مولار قرار داده شدند تا بافت آنها نرم شود. پس از شستشوی مجدد در آب مقطر، نمونه‌ها جهت رنگ‌آمیزی به مدت ۴۸ ساعت در محلول آنیلین بلو ۱٪ و فسفات دی‌هیدروژن پتاسیم ۰/۱ نرمال در دمای آزمایشگاه و در تاریکی قرار گرفتند. پس از شستشوی مجدد با استفاده از آب مقطر، هر مادگی بصورت جداگانه روی لام قرار داده شده و جهت شفافیت بهتر تصویر، یک قطره گلیسرین روی آن ریخته شد و توسط لامل به آرامی له گردید. در نهایت با استفاده از میکروسکوپ مجهز به نور فلورسنت (Olympus-CX31, GD-100) روند رشد لوله گرده درون خامه و رسیدن آن به تخمدان مورد مطالعه قرار گرفت (میلاتویک و همکاران ۲۰۱۳ الف). برای هر تلاقی هفت مادگی مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفتند و تعداد دانه گرده روی کلاله، تعداد لوله گرده نفوذ کرده در یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم بخش پایینی خامه و درون تخمدان شمارش شدند (نیکولیک و میلاتویک ۲۰۱۰؛ میلاتویک و همکاران ۲۰۱۳ ب).

تجزیه داده‌ها: به منظور تعیین درصد جوانه‌زنی دانه گرده از طرح کاملاً تصادفی با ۱۱ تیمار شامل نوع رقم/ژنوتیپ در سه تکرار و چهار میدان دید

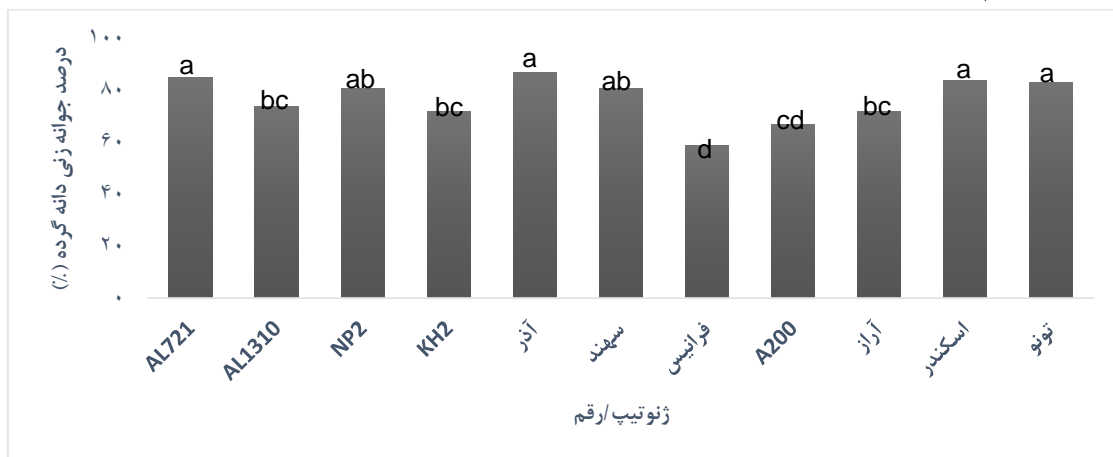
¹ Formaldehyde Acetic Acid (FAA)



شکل ۱- همپوشانی زمان آغاز و پایان گلدهی ارقام گرده‌زا و ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده بادام در دو سال متوالی

دانه گرده را به خود اختصاص دادند (شکل ۲). هرچند که بین ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف از نظر درصد جوانه‌زنی دانه گرده اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ولی همه آنها از درصد جوانه‌زنی دانه گرده قابل قبولی برخوردار بودند (حاجیلو و همکاران، ۲۰۰۶ الف؛ کولیک و همکاران، ۲۰۱۰).

درصد جوانه‌زنی دانه گرده: درصد جوانه‌زنی دانه گرده در کشت درون شیشه‌ای ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بادام از ۵۹-۸۲٪ متفاوت بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که ارقام و ژنوتیپ‌های AL721، آذر، اسکندر و تونو بیشترین و رقم فرانیس کمترین درصد جوانه‌زنی



شکل ۲- درصد جوانه‌زنی دانه گرده ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بادام در شرایط درون شیشه‌ای. حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

AL1310 با گرده رقم فرانیس کمترین درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی را داشتند (جدول ۲). در سال ۱۴۰۱، ژنوتیپ NP2 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ AL1310 با گرده رقم فرانیس کمترین درصد تشکیل میوه اولیه را دارا بودند. از طرف دیگر ژنوتیپ AL721 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ AL1310 با گرده رقم A200 کمترین درصد تشکیل میوه نهایی را دارا بودند (جدول ۲).

دگر گرده/افشانی کنترل شده در باغ: ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه پس از تلاقی با ارقام گرده‌زا از نظر درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در سطح احتمال ۱٪ با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان دادند. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل ارقام گرده‌زا با ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده برای درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در جدول ۲ آورده شده است. در سال ۱۴۰۰ ژنوتیپ AL721 با گرده رقم آذر بیشترین و ژنوتیپ

جدول ۲- مقایسه میانگین‌های اثر منابع مختلف دانه گرده بر درصد تشکیل میوه اولیه و نهایی در ژنوتیپ‌های بادام

وضعیت سازگاری	سال ۱۴۰۱		سال ۱۴۰۰		رقم گرده‌زا	ژنوتیپ گرده‌گیرنده	
	میوه‌بندی نهایی %	میوه‌بندی اولیه %	میوه‌بندی نهایی %	میوه‌بندی اولیه %			
سازگار	۵۹/۷۱±۸/۲۳ a	۸۴/۵۰±۷/۹۱ ab	۵۳/۲۷±۵/۱۲ a	۸۶/۴۸±۴/۹۴ a†	آذر	AL721	
سازگار	۴۸/۲۶±۶/۳۷ de	۸۲/۵۲±۵/۶۴ bc	۴۴/۷۳±۹/۸۸ b-e	۷۶/۶۵±۹/۸۵ e-h	سهند		
سازگار	۳۹/۷۶±۶/۴۰ g-j	۷۸/۱۶±۵/۵۰ c-e	۳۴/۴۷±۴/۱۱ h-k	۶۸/۴۲±۳/۸۷ i-l	فرانیس		
سازگار	۴۰/۴۴±۷/۶۹ g-j	۷۵/۳۳±۸/۱۹ e-g	۳۵/۷۷±۷/۱۴ g-j	۷۱/۵۵±۷/۱۴ h-j	A200		
سازگار	۴۶/۷۱±۳/۱۳ ef	۷۹/۵۷±۲/۹۳ b-e	۴۳/۲۴±۲/۸۲ b-f	۸۲/۳۶±۳/۳۷ a-e	آراز		
سازگار	۵۶/۵۳±۸/۳۸ a-c	۸۲/۲۷±۸/۳۰ bc	۵۲/۱۹±۱۱/۷۸ a	۸۶/۰۴±۹/۰۹ ab	اسکندر		
سازگار	۵۲/۲۸±۳/۱۵ cd	۸۴/۳۰±۴/۹۲ ab	۴۵/۳۷±۴/۷۳ bc	۷۹/۶۵±۵/۲۸ c-f	تونو		
سازگار	۵۷/۱۴±۴/۷۷ ab	۸۳/۱۴±۴/۱۷ a-c	۵۱/۴۹±۵/۷۴ a	۸۴/۸۹±۷/۷۲ a-c	گرده‌افشانی آزاد		
سازگار	۴۱/۴۹±۵/۲۷ g-i	۷۰/۴۳±۵/۱۲ gh	۳۸/۵۰±۴/۹۹ f-i	۷۱/۳۵±۴/۸۱ h-j	آذر		AL1310
سازگار	۳۹/۱۷±۹/۲۱ h-j	۵۹/۶۲±۱۰/۸۸ i	۳۳/۳۵±۳/۳۶ i-l	۶۳/۱۸±۳/۱۶ lm	سهند		
سازگار	۲۹/۳۹±۸/۶۵ lm	۴۵/۵۶±۱۰/۰۳ j	۲۵/۱۷±۹/۶۶ m	۴۹/۹۹±۷/۹۶ o	فرانیس		
سازگار	۲۵/۹۸±۳/۹۱ m	۴۸/۸۹±۴/۵۷ j	۲۸/۴۰±۳/۳۱ lm	۵۶/۲۱±۳/۹۱ n	A200		
سازگار	۳۷/۴۶±۱۰/۰۷ ij	۵۶/۳۵±۹/۹۵ i	۳۱/۵۵±۵/۸۱ j-l	۶۰/۳۵±۵/۵۴ mn	آراز		
سازگار	۳۹/۴۵±۴/۰۰ h-j	۶۹/۴۶±۳/۶۵ h	۳۸/۰۳±۵/۹۵ f-i	۶۴/۴۶±۶/۸۶ k-m	اسکندر		
سازگار	۳۷/۲۰±۴/۹۵ ij	۶۷/۲۸±۶/۳۳ h	۳۴/۵۷±۸/۲۵ h-j	۷۱/۳۹±۸/۰۴ h-j	تونو		
سازگار	۳۹/۲۵±۲/۷۶ h-j	۶۶/۹۱±۱۰/۴۰ h	۳۸/۳۰±۷/۶۵ f-i	۶۷/۶۶±۴/۸۷ j-l	گرده‌افشانی آزاد		
سازگار	۵۴/۱۵±۷/۸۸ bc	۸۸/۵۶±۷/۸۱ a	۴۸/۳۶±۲/۶۹ ab	۷۷/۹۶±۲/۹۷ d-g	آذر	NP2	
سازگار	۴۱/۲۹±۴/۸۵ g-i	۸۲/۸۳±۴/۸۶ a-c	۳۹/۶۵±۶/۷۶ d-h	۷۹/۶۴±۶/۹۷ c-f	سهند		
سازگار	۳۵/۷۸±۸/۹۷ jk	۷۶/۳۳±۶/۸۵ d-f	۳۵/۴۲±۳/۶۵ g-j	۶۹/۰۶±۳/۸۸ i-k	فرانیس		
سازگار	۳۷/۴۰±۴/۲۳ ij	۷۵/۶۱±۳/۵۹ e-g	۳۲/۰۷±۷/۹۷ j-l	۷۳/۴۰±۹/۲۳ g-i	A200		
سازگار	۴۰/۱۵±۶/۸۹ g-j	۷۲/۳۸±۶/۹۹ f-h	۳۴/۲۸±۲/۵۸ h-k	۸۲/۴۴±۴/۰۲ a-d	آراز		
سازگار	۵۷/۶۱±۶/۸۴ ab	۸۳/۵۲±۵/۸۵ a-c	۵۱/۵۹±۹/۷۵ a	۸۰/۶۴±۹/۸۷ b-f	اسکندر		
سازگار	۴۸/۳۴±۹/۳۵ de	۸۱/۵۴±۸/۹۵ b-d	۳۹/۴۰±۴/۶۹ e-h	۷۹/۴۰±۴/۹۴ c-f	تونو		
سازگار	۵۳/۴۶±۶/۸۹ bc	۸۱/۶۰±۴/۱۶ b-d	۴۸/۲۰±۵/۷۱ a-c	۷۸/۱۲±۴/۸۴ d-g	گرده‌افشانی آزاد		
سازگار	۴۲/۵۵±۵/۳۳ f-h	۸۴/۵۱±۴/۶۹ ab	۴۳/۱۶±۳/۹۹ b-f	۷۷/۵۱±۳/۸۶ d-g	آذر		KH2
سازگار	۴۰/۱۹±۷/۹۰ g-j	۸۰/۳۳±۸/۶۶ b-e	۳۴/۴۶±۷/۰۹ h-k	۷۲/۴۴±۶/۸۱ g-j	سهند		
سازگار	۳۱/۴۰±۵/۶۱ kl	۷۵/۷۲±۵/۳۳ e-g	۳۲/۶۶±۷/۹۲ i-l	۷۵/۰۸±۷/۰۱ f-h	فرانیس		
سازگار	۳۵/۵۱±۸/۰۰ jk	۷۰/۶۱±۸/۰۳ gh	۲۸/۷۶±۵/۰۶ k-m	۶۱/۶۸±۴/۶۶ m	A200		
سازگار	۴۳/۳۶±۵/۷۸ f-h	۸۴/۵۷±۶/۱۳ ab	۳۸/۰۹±۸/۵۱ f-i	۷۹/۳۰±۸/۹۳ c-f	آراز		
سازگار	۴۴/۷۲±۷/۶۷ e-g	۸۵/۲۸±۶/۹۱ ab	۴۲/۶۲±۳/۹۲ c-f	۷۵/۵۵±۳/۵۳ f-h	اسکندر		
سازگار	۴۱/۵۱±۶/۷۰ g-i	۸۴/۶۶±۷/۹۸ ab	۴۳/۴۶±۶/۴۳ b-f	۸۲/۳۹±۶/۶۵ a-e	تونو		
سازگار	۴۰/۰۰±۶/۶۶ g-j	۸۰/۰۵±۳/۲۶ b-e	۴۰/۹۰±۱۰/۰۴ d-g	۷۶/۲۱±۱۰/۷۴ f-h	گرده‌افشانی آزاد		
-	۴/۳۳	۵/۰۲	۵/۰۴	۴/۹۵	-	LDS 1%	

†حروف غیر مشابه در هر ستون نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ توسط آزمون چند دامنه‌ای

دانکن می‌باشد. میانگین‌ها همراه با خطای استاندارد از میانگین (±SE) ارائه شده‌اند.

چهارم بالایی خامه از ۲۹ تا ۴۶ عدد، در بخش میانی خامه از ۱۸ تا ۳۵ عدد، در سه چهارم پایینی خامه از ۱۱ تا ۲۳ عدد، در بخش پایینی خامه از ۹ تا ۱۹ عدد و نهایتاً در درون تخمدان از ۴ تا ۱۰ عدد متغیر بود. در همه این تلاقی‌ها تعداد لوله گرده در حال رشد با دور شدن از سطح کلاله به سوی تخمدان کاهش یافت ولی رشد لوله گرده تا درون تخمدان مشاهده گردید.

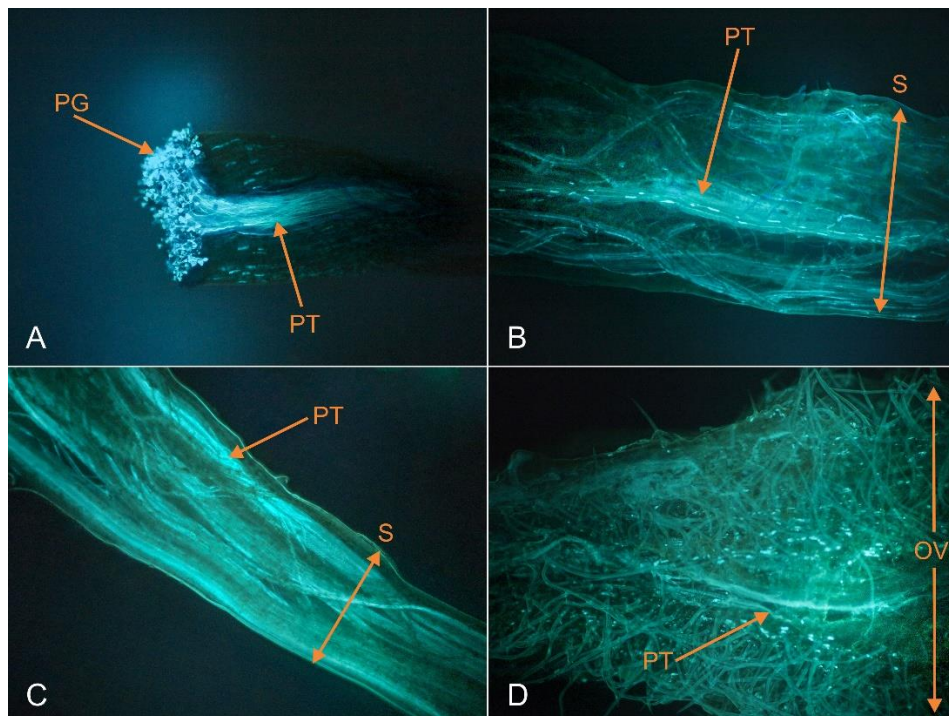
رديابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی: روند تغییرات رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا در سطح کلاله، یک چهارم بالایی خامه، یک دوم میانی خامه، سه چهارم پایینی خامه، قاعده خامه و درون تخمدان ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده در جدول ۳ نشان داده شده است. تعداد دانه گرده روی کلاله از ۳۶ تا ۵۵ عدد، دانه گرده جوانه زده از ۳۳ تا ۵۱ عدد، لوله گرده رشد کرده در یک

جدول ۳ - رديابی رشد لوله گرده ارقام گرده‌زا درون مادگی ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده بادام

گرده‌گیرنده	گرده‌زا	تعداد مادگی	تعداد دانه گرده روی کلاله	تعداد دانه گرده جوانه زده	تعداد لوله گرده در ۱/۴ بالایی	تعداد لوله گرده در ۱/۲ میانی	تعداد لوله گرده در ۳/۴ پایینی	تعداد لوله گرده در انتهای خامه	تعداد لوله گرده درون تخمدان	وضعیت رشد (نا)سازگاری
AL721	آذر	۷	۴۷	۴۴	۴۱	۲۸	۱۸	۹	۷	دگر سازگار
	سهند	۷	۵۱	۴۸	۴۶	۲۹	۱۷	۱۲	۱۰	دگر سازگار
	فرانسیس	۷	۴۴	۴۰	۳۶	۲۴	۱۲	۱۰	۶	دگر سازگار
	A200	۷	۵۴	۴۸	۴۴	۳۱	۱۸	۱۱	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۴۷	۴۳	۴۰	۲۹	۱۷	۱۲	۶	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۹	۳۵	۳۱	۱۹	۱۵	۱۱	۶	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۷	۴۱	۳۵	۲۱	۱۵	۹	۴	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۸	۴۵	۴۱	۲۳	۱۷	۱۱	۷	دگر سازگار
AL1310	آذر	۷	۵۵	۵۱	۴۶	۳۰	۱۹	۱۴	۹	دگر سازگار
	سهند	۷	۴۶	۴۲	۳۶	۲۴	۱۱	۹	۵	دگر سازگار
	فرانسیس	۷	۴۰	۳۷	۳۲	۲۵	۱۴	۱۰	۷	دگر سازگار
	A200	۷	۴۷	۴۳	۳۸	۲۷	۲۱	۱۲	۶	دگر سازگار
	آراز	۷	۴۱	۳۸	۳۵	۲۴	۱۳	۷	۴	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۶	۳۳	۲۹	۱۸	۱۲	۱۰	۷	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۴	۴۰	۳۶	۱۹	۱۳	۹	۵	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۱	۳۸	۳۴	۲۱	۱۷	۱۳	۸	دگر سازگار
NP2	آذر	۷	۵۳	۴۹	۴۶	۳۵	۲۲	۱۷	۱۰	دگر سازگار
	سهند	۷	۵۲	۴۷	۴۴	۳۰	۲۳	۱۹	۹	دگر سازگار
	فرانسیس	۷	۴۹	۴۴	۳۹	۲۶	۱۹	۱۲	۶	دگر سازگار
	A200	۷	۴۷	۴۱	۳۶	۲۵	۱۷	۱۳	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۵۰	۴۸	۴۴	۳۰	۱۸	۱۱	۵	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۶	۳۳	۳۱	۲۳	۱۶	۱۳	۸	دگر سازگار
	تونو	۷	۴۸	۴۴	۴۰	۲۸	۱۷	۹	۴	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۹	۴۶	۴۲	۲۹	۲۲	۱۳	۷	دگر سازگار
KH2	آذر	۷	۴۸	۴۵	۴۱	۳۱	۱۸	۹	۵	دگر سازگار
	سهند	۷	۴۰	۳۵	۳۲	۲۴	۱۶	۱۳	۷	دگر سازگار
	فرانسیس	۷	۴۹	۴۴	۴۱	۲۷	۱۶	۱۲	۷	دگر سازگار
	A200	۷	۴۶	۴۲	۳۷	۲۸	۱۷	۱۱	۵	دگر سازگار
	آراز	۷	۵۰	۴۷	۴۳	۳۳	۲۱	۱۴	۸	دگر سازگار
	اسکندر	۷	۳۸	۳۴	۳۱	۲۵	۱۹	۱۳	۷	دگر سازگار
	تونو	۷	۳۶	۳۳	۲۹	۲۰	۱۵	۹	۵	دگر سازگار
	گرده‌افشانی آزاد	۷	۴۰	۳۷	۳۱	۲۲	۱۷	۱۱	۶	دگر سازگار

تصاویر مربوط به جوانه‌زنی دانه گرده و رشد لوله گرده در سطح کلاله، یک چهارم بالایی خامه، یک دوم

خامه، پایین خامه و درون تخمدان پس از دگر گرده افشانی در شکل ۳ آورده شده است



شکل ۳ - تصویر میکروسکوپی دانه‌های گرده جوانه زده در سطح کلاله و لوله‌های گرده در حال رشد در یک چهارم بالایی خامه (A)، یک دوم میانی خامه (B)، سه چهارم پایینی خامه (C)، و درون تخمدان (D). دانه‌های گرده با PG، لوله‌های گرده با PT، خامه گل با S، و تخمدان گل با OV نشان داده شده‌اند.

بحث

بر خودناسازگاری، دگرناسازگاری گل‌ها نیز در بروز آن موثر است (آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵). محققین پیشنهادات مختلفی در رابطه با روش و مراحل نموی میوه در ارزیابی میوه‌بندی و تشخیص ناسازگاری در درختان میوه ارائه داده‌اند. با این حال، ارزیابی میوه‌بندی نهایی (هشت هفته پس از مرحله تمام‌گل) به دنبال تلاقی کنترل شده به عنوان مهمترین شاخص در تشخیص دگرناسازگاری ارقام در بیشتر مطالعات دو دهه اخیر گزارش شده است (وانگ و همکاران ۲۰۱۳). ارقام بادام از نظر سازگاری دانه گرده به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند: سازگار ($\geq 5\%$) و ناسازگار ($\leq 3\%$) که مبنای آن درصد تشکیل میوه نهایی پس از خود یا دگرگرده‌افشانی در باغ می‌باشد (کولیک و همکاران ۲۰۱۰؛ رسولی و همکاران، ۲۰۱۰ ب). بر این اساس همه ارقام گرده‌زای مورد مطالعه در این تحقیق با

جوانه‌زنی دانه گرده به میزان ۵۹-۸۲٪ بیانگر قدرت باروری مناسب ارقام گرده‌زا و عدم وجود نر عقیمی در آنها بود. مقادیر کمتر جوانه‌زنی دانه گرده در برخی ارقام به دلیل اختلاف در پتانسیل ژنتیکی آنها بوده است. بررسی‌ها با استفاده از میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت نیز نشان داد که تندش دانه گرده در سطح کلاله و رشد لوله گرده درون خامه در همه ارقام گرده‌زای مورد مطالعه به صورت مطلوبی صورت گرفته است. اغلب ارقام بادام دانه‌های گرده خیلی زیاد با زیوایی خوب تولید می‌کنند که در محدوده وسیعی از دمای هوا لوله‌های گرده را پدید می‌آورند (سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷).

ریزش میوه‌چه‌ها در مراحل اولیه نمو میوه از مهم‌ترین مشکلات تولید بادام محسوب می‌شود که علاوه

میکروسکوپ مجهز به نور فلئورسنت برای تشخیص سازگاری دانه گرده توسط محققین به کار گرفته شده است (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۰؛ دوردویک و همکاران ۲۰۱۰، ۲۰۱۴). با کاربرد این ابزار، در تلاقی‌های سازگار حداقل یک لوله گرده در حال رشد درون تخمدان مشاهده می‌شود، درحالی‌که در تلاقی‌های ناسازگار رشد لوله گرده در سه چهارم تحتانی خامه توقف یافته، چند شاخه‌ای شدن نوک لوله گرده و ایجاد پلاک‌های کالوز قابل مشاهده است (اورتگا و دیسنتا ۲۰۰۳؛ سادرلند و همکاران ۲۰۰۸). در این تحقیق به دنبال تلاقی‌های کنترل شده با ارقام گرده‌زا، رشد لوله گرده تا درون تخمدان ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده ردیابی گردید و سازگاری دانه گرده بین ارقام گرده‌زا و گرده‌گیرنده به اثبات رسید. این مشاهدات با نتایج حاصل از مطالعه میوه‌بندی نهایی پس از دگر گرده‌افشانی در شرایط باغی مطابقت داشت. تعداد دانه‌های گرده جوانه زده در سطح کاله و لوله‌های گرده در حال رشد درون خامه در ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده متفاوت بود که بر میوه‌بندی آنها تأثیر داشت. مطالعات پیشین نشان می‌دهند که هر چه تعداد لوله‌های گرده در حال رشد درون خامه بیشتر باشد، شانس موفقیت در باروری درختان میوه افزایش می‌یابد (اگه و بورگوس ۱۹۹۹).

روش‌های رنگ‌آمیزی لوله گرده درون خامه پیش از این توسط محققین توصیف شده‌اند (اگه و بورگوس ۱۹۹۶؛ بورگوس و همکاران ۱۹۹۷). دیواره سلولی لوله گرده دو لایه اصلی با ساختمان پلی ساکاریدی^۱ دارا است که لایه داخلی آن واجد مقادیر زیادی کالوز یا ۱ و ۳-بتا گلوکان^۲ می‌باشد (نیو بیگین و همکاران ۱۹۹۳). زمانی که لایه کالوز با استفاده از آنیلین بلو^۳ رنگ‌آمیزی شود، به دنبال تابش با نور ماورای بنفش به صورت فلئورسانس درمی‌آید. مقادیر کالوز در لوله‌های گرده ناسازگار نسبت به سازگار بسیار بیشتر است، و نیز مقادیر خیلی بیشتری از کالوز در نوک متورم شده لوله‌های گرده ناسازگار تجمع می‌یابد (میلاتوویک و همکاران ۲۰۱۳ الف). گزارشات مختلفی از مدت زمان

ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده از سازگاری دانه گرده مناسبی برخوردار بودند و مشاهدات میکروسکوپی نیز دگرسازگاری در آنها را تأیید نمود. از طرف دیگر اختلاف آماری معنی‌داری از نظر تشکیل میوه نهایی در ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده با توجه به نوع رقم گرده‌زا مشاهده شد. بطوریکه از میان ارقام گرده‌زای مورد مطالعه، ارقام آذر و اسکندر برای ژنوتیپ‌های AL721 و NP2، ارقام آذر، سهند و اسکندر برای ژنوتیپ AL1310 و نهایتاً ارقام آذر، اسکندر، آراز و تونو برای ژنوتیپ KH2 به عنوان مناسب‌ترین ارقام گرده‌زا از نظر سازگاری دانه گرده و همچنین همپوشانی زمان گل‌دهی تعیین شدند. در مجموع، دانه گرده ارقام آذر و اسکندر سازگاری بیشتر و ارقام فرانیس و A200 سازگاری کمتری با ژنوتیپ‌های والد مادری نشان دادند ولی در میان ارقام مورد مطالعه دگر ناسازگاری کامل مشاهده نگردید. از سوی دیگر ژنوتیپ AL721 دارای پتانسیل باروری بیشتر (۵۹٪ میوه‌بندی) و ژنوتیپ AL1310 دارای پتانسیل باروری کمتری (۲۵٪ میوه‌بندی) بودند. در مطالعه حاضر، ضمن تأکید بر درصد میوه‌بندی نهایی، نتایج درصد میوه‌بندی اولیه نیز آورده شده است. با وجود اینکه درصد میوه‌بندی اولیه در گل‌های دگر گرده‌افشانی شده والدهای مادری چشمگیر بود، ولی به علت عدم تلقیح کامل گل‌ها و تشکیل نشدن جنین، ریزش میوه‌چه‌ها مشهود بوده و میوه‌بندی نهایی کاهش قابل ملاحظه‌ای داشت. ریزش اولیه میوه‌چه‌ها معمولاً سنگین‌ترین ریزش بوده و طی آن میوه‌چه‌های ریز و نمو نیافته حاصل از تلقیح ناقص گل‌ها ریزش می‌کنند (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ ب؛ زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۸). به علاوه، مقادیر درصد میوه‌بندی اولیه و نهایی به دنبال گرده‌افشانی آزاد گل‌ها با هدف نشان دادن پتانسیل باروری ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه در شرایط باغی آورده شده است. درصد تشکیل میوه نهایی پس از گرده‌افشانی آزاد طی دو سال متوالی اندکی متفاوت بود که با تغییر دمای هوا، بارندگی، وزش باد و نوسان در فعالیت حشرات گرده‌افشان مرتبط بوده است.

³ Aniline Blue

¹ Polysaccharide

² 1,3 beta Glucan

میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی‌های کنترل شده در شرایط باغی در دو سال متوالی و نیز ردیابی میکروسکوپی لوله‌گرده درون خامه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تلاقی ♂ A9.7 × تونو ♀ (با ۶۰/۵۲ درصد تشکیل میوه و ۱۰/۹۷ درصد نفوذ لوله‌گرده به تخمدان)، تلاقی ♂ تونو × ♀ A9.7 (با ۶۶/۶۷ درصد تشکیل میوه و ۱۰/۴ درصد نفوذ لوله‌گرده به تخمدان) و تلاقی A1.16 ♂ × شکوفه ♀ (با ۷۴/۹۲ درصد تشکیل میوه و ۱۴/۴۰ درصد نفوذ لوله‌گرده به تخمدان) بیشترین سازگاری را در گروه‌های مختلف داشتند. همچنین تلاقی‌های ♂ تونو × ♀ A230 (با ۳۰/۹ درصد تشکیل میوه و ۳ درصد نفوذ لوله‌گرده به تخمدان) و ♂ تونو × سهند ♀ (با ۲۹/۲ درصد تشکیل میوه و ۱/۸ درصد نفوذ لوله‌گرده به تخمدان) کمترین سازگاری را بین تلاقی‌های انجام شده دارا بودند (فلاح و همکاران، ۲۰۱۷).

درستکار و همکاران (۲۰۱۱) خود (نا)سازگاری ۵۴ رقم و ژنوتیپ بادام را در منطقه زرقان استان فارس تعیین کرده و گرده‌دهنده‌های مناسب برای شش رقم تجاری دیرگل را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که به غیر از رقم تونو، سایر ارقام و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه خودناسازگار بودند. همچنین برای رقم کاپاریل^۱ به ترتیب ارقام مرسد^۲ با ۶۹/۵، تونو^۳ با ۶۷/۵ و کریستومورتو^۴ با ۶۳/۵، برای رقم کریستومورتو رقم تونو با ۶۸/۶۲، برای رقم تونو به ترتیب ارقام کاپاریل با ۴۷/۲۵، تونو با ۴۰/۸۷ و مرسد با ۴۱/۳۷، برای رقم فرانیس به ترتیب ارقام آی^۵ با ۴۷/۲۰ و کاپاریل با ۴۶/۵۰، برای رقم مرسد به ترتیب ارقام کریستومورتو با ۷۵/۵۰ و تونو با ۶۴/۷۵ و برای رقم آی به ترتیب ارقام تونو با ۷۰/۵۰ و کریستومورتو با ۶۵/۲۰ درصد تشکیل میوه، با در نظر گرفتن همپوشانی زمان گلدهی بهترین والد گرده‌دهنده بودند. حسین‌آوا (۲۰۱۵) دگر(نا)سازگاری چند رقم تجاری بادام را در مناطق مشکین‌شهر و کرج مورد مطالعه قرار داد. پایه‌های مادری شامل ارقام آیدین، آراز و صبا بودند که با دانه‌گرده ارقام A200، آیدین، شاهرود^۲، شکوفه، سهند،

لازم برای رسیدن لوله‌گرده به تخمدان در گل‌های درختان میوه معتدله در دسترس می‌باشد. گوریرو و بارتولینی (۱۹۹۵) بیان کردند که برای رسیدن لوله‌های گرده‌سازگار به تخمدان ۷۲ ساعت از زمان گرده‌افشانی باید سپری شود، ولی دیگر محققین معتقد بودند که این مدت زمان به نوع رقم بستگی داشته و در برخی از ارقام کافی نمی‌باشد (میلاتویک و نیکولیک ۲۰۰۷). اودرگون و همکاران (۱۹۹۹) در مطالعه چند ژنوتیپ زردآلو زمانی که تثبیت مادگی ۹۶ ساعت پس از گرده‌افشانی صورت گرفت، نتایج بهتری به دست آوردند. مطالعه حاضر نشان داد که ۹۶ ساعت برای رسیدن لوله‌های گرده‌سازگار به تخمدان در بادام کافی است. رشد لوله‌های گرده‌سازگار معمولاً بلافاصله بعد از کالاه و یا در یک سوم بالایی خامه متوقف می‌شود که در گیلان (رادیسویک و همکاران ۲۰۱۳)، آلبالو (تابوت و همکاران ۲۰۰۴)، بادام (کولیک و همکاران ۲۰۱۰) و زردآلو (حاجیلو و همکاران ۲۰۰۶ الف؛ ۲۰۰۶ ب) گزارش شده است.

پیش از این بررسی‌های مربوط به ناسازگاری ارقام درختان میوه تنها با محاسبه درصد میوه‌بندی پس از دگر گرده‌افشانی کنترل شده در شرایط باغی انجام می‌شد (بورگوس و همکاران ۱۹۹۳). سپس ردیابی میکروسکوپی رشد لوله‌گرده درون خامه پس از گرده‌افشانی کنترل شده در آزمایشگاه و در شرایط کنترل شده دما، رطوبت و فتوپریود برای تشخیص دگر(نا)سازگاری مرسوم گردید. این روش نتایج دقیق و قابل اعتمادی ارائه داده و همچنین در مقایسه با روش‌های مولکولی مبتنی بر پی سی آر که بعدها گسترش یافتند، مقرون به صرفه می‌باشد (میلاتویک و همکاران ۲۰۱۳ الف؛ دوردویک و همکاران ۲۰۱۴). اگرچه، تعیین پتانسیل باردهی ارقام و مقایسه آنها با یکدیگر در این روش قابل ارزیابی نیست. در یک مطالعه، خود(نا)سازگاری و دگر(نا)سازگاری چند رقم بادام شامل تونو، شکوفه، سهند و ژنوتیپ‌های امیدبخش انتخابی A1.16، A9.7 و A230 با استفاده از ارزیابی

⁴ Cristo Morto

⁵ Aii

¹ Capariel

² Merced

³ Tono

دریافتیم در ژنوتیپ‌هایی که تعداد لوله‌های گرده نفوذ کرده به تخمدان بیشتر بود، درصد میوه‌بندی نهایی بیشتری داشتند.

نتیجه‌گیری کلی

بادام به دلیل ویژگی خود ناسازگاری به گرده‌افشانی با سایر ارقام نیاز دارد که این امر به ناپایداری در عملکرد درخت و عدم دستیابی به محصول پایدار و تجاری منجر می‌شود. بررسی دگر (نا)سازگاری در ژنوتیپ‌های امیدبخش و تعیین بهترین والد گرده‌زا برای معرفی ارقام جدید با در نظر گرفتن دو عامل همپوشانی زمان گلدهی و سازگاری دانه گرده ضروری می‌باشد. در این راستا، ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون خامه پس از تلاقی کنترل شده در آزمایشگاه یک روش موثر در تعیین دگر (نا)سازگاری درختان میوه به شمار می‌رود. این روش نتایج دقیق‌تر و قابل اعتمادتری را در مقایسه با مطالعه میوه‌بندی نهایی پس از خود گرده‌افشانی در باغ در دسترس قرار می‌دهد. با این وجود، برآورد عملکرد درخت و مقایسه بین ارقام گرده‌زا تنها با مطالعه میوه-بندی نهایی پس از تلاقی کنترل شده در باغ امکان‌پذیر بوده و از این نظر به روش‌های دیگر برتری دارد. بر اساس نتایج این تحقیق، ارقام آذر و اسکندر برای ژنوتیپ‌های AL721 و NP2، ارقام آذر، سهند و اسکندر برای ژنوتیپ AL1310 و نهایتاً ارقام آذر، اسکندر، آراز و تونو برای ژنوتیپ KH2 به عنوان مناسب‌ترین ارقام گرده‌زا تعیین شدند. همچنین با ردیابی میکروسکوپی رشد لوله گرده درون مادگی نتایج آزمایشات مزرعه‌ای به تأیید رسید.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از موسسه تحقیقات علوم باغبانی به جهت حمایت مالی برای اجرای پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری می‌نمایند.

آراز، صبا، سوپرنوا^۱ و اسکندر گرده‌افشانی شدند. نتایج نشان داد که بیشترین درصد تشکیل میوه در تلاقی ♂سهند × صبا♀ به دست آمد (۲۹/۷۲ درصد). کمترین درصد تشکیل میوه نیز در تلاقی‌های ♂آراز × آیدین♀، ♂A200 × آراز♀ و ♂شکوفه × صبا♀ مشاهده گردید (به ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۷۱، ۹/۶۵ و ۷/۰۱ درصد). صفات میوه و مغز حاصل از تلاقی‌های انجام شده نیز اختلاف معنی‌داری نشان داد، به طوریکه در تلاقی‌هایی که رقم آیدین به عنوان والد مادری بود، میوه درشت‌تری به دست آمد.

به دلیل تمایل درختان بادام به میوه‌دهی نامنظم^۲ و سازگاری اکولوژیکی محدود (سوسیاس آی کمپانی ۲۰۱۷)، مطالعه گرده‌افشانی و تشکیل میوه در آنها اهمیت به‌سزایی دارد. از یک سو به‌نژادگران به منظور گزینش والدین مناسب در تلاقی‌های کنترل شده به آن توجه دارند، و از سوی دیگر پرورش‌دهندگان بادام برای مدیریت مطلوب گرده‌افشانی باغ و تضمین باردهی کافی این موضوع را مد نظر قرار می‌دهند. خود(نا)سازگاری و دگر(نا)سازگاری در بادام مدیریت باغ را با پیچیدگی‌هایی مواجه می‌کند (آلونسو و سوسیاس آی کمپانی ۲۰۰۵) و با توجه به این که معمولاً شرایط آب‌وهوایی در طول دوره گلدهی مساعد نمی‌باشد، عدم گرده‌افشانی مناسب یک عامل محدود کننده در تولید میوه به شمار می‌آید (زرین‌بال و همکاران ۲۰۱۷). ژنوتیپ‌های گرده‌گیرنده مورد مطالعه در این تحقیق ویژگی خودناسازگاری نشان دادند (داده‌ها منتشر نشده) که تحقیقات قبلی در مورد خودناسازگاری در بیشتر ارقام بادام را تأیید نمود (درستکار و همکاران ۲۰۱۱؛ حسین‌آوا ۲۰۱۵). بنابراین مطالعه دگر(نا)سازگاری آنها و تعیین بهترین والد گرده‌زا قبل از معرفی ارقام جدید با تأکید بر همپوشانی زمان گلدهی و سازگاری دانه گرده ضروری بود. همچنین نتایج ردیابی میکروسکوپی لوله گرده درون مادگی توانست نتایج ارزیابی میوه‌بندی نهایی پس از تلاقی کنترل شده در شرایط باغی را تأیید نماید. بعلاوه، ما

² Erratic fruit setting

¹ Super Nova

منابع مورد استفاده

- Alonso JM and Socias i Company R. 2005. Self-incompatibility expression in self-compatible almond genotypes may be due to inbreeding. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130: 865–869. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.6.865>
- Audergon JM, Guerriero R, Monteleone P and Viti R. 1999. Contribution to the study of inheritance of the character self-incompatibility in apricot. *Acta Horticulturae*, 488: 275–280. <https://doi.org/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): 227–241. <https://doi.org/10.5424/sjar/2004022-77>
- Burgos L, Berenguer T and Egea J. 1993. Self- and cross-compatibility among apricot cultivars. *Hortscience*, 28: 148–150. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.28.2.148>
- Burgos L, Egea J, Guerriero R, Viti R, Monteleone P and Audergon JM. 1997. The self-compatibility trait of the main apricot cultivars and new selections from breeding programs. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 72: 147–154. <https://doi.org/10.1080/14620316.1997.11515501>
- Burgos L, Perez-Tornero O, Ballester J and Olmos E. 1998. Detection and inheritance of stelar ribonucleases associated with incompatibility alleles in apricot. *Sexual Plant Reproduction*, 11: 153–158. <https://doi.org/10.1007/s004970050133>
- Colic S, Zec G, Fotiric Aksic M, Rahovic D and Jankovic Z. 2010. Evaluation of self-(in)compatibility in the almond (*Prunus amygdalus* Batsch) genotype population from the Slankamen Hill, Serbia. *Archives of Biological Sciences*, 62(4): 973–979. <https://doi.org/10.2298/ABS1004973C>
- De Nettancourt D. 2001. Incompatibility and Incongruity in Wild and Cultivated Plants. (2nd Ed.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 314 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-04502-2>
- Dejampour J, Rahnemoun H and Zarrinbal M. 2011. Investigation of main factors on bearing and blossoms hardiness of apricot cultivars in relative flowers biology. *Acta Horticulturae*, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.966.6>
- Dejampour J, Zarrinbal M, Fathi H and Mousavi Zadeh SA. 2017. Fruit Characteristics of some Almond Cultivars and Genotypes of Northwest of Iran. *Seed and Plant Journal*. 33(2): 195–213. (In Persian). <https://doi.org/10.22092/spij.2017.115550>
- Dordevic M, Cerovic R, Nikolic D and Radicevic S. 2010. Unusual behavior of growing pollen tubes in the ovary of plum culture (*Prunus domestica* L.). *Archives of Biological Sciences*, 62(1): 137–142. <https://doi.org/10.2298/ABS1001137D>
- Dordevic M, Cerovic R, Radicevic S and Nikolic D. 2014. Incompatible pollen tubes in the plum style and their impact on fertilization success. *Genetika-Belgrade*, 46(2): 411–418. <https://doi.org/10.2298/GENSR1402411D>
- Dorostkar M, Mostafavi M, Saneii Shariat Panahi M, Hasani D, Khalighi A and Nikzad A. 2011. Self-compatibility and suitable planting combination of commercial cultivars of almond. *Seed and Plant Journal*. 27(4): 449–457. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/spij.2017.111076>
- Egea J and Burgos L. 1996. Detecting cross-incompatibility of three North American apricot cultivars and establishing the first incompatibility group in apricot. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(6): 1002–1005. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.6.1002>
- Egea J and Burgos L. 1999. Apricot breeding at the C.S.I.C. in Murcia, Spain. *Acta Horticulturae*, 484: 179–181. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.484.29>
- Entani T, Iwano M, Shiba H, Che FS, Isogai A and Takayama S. 2003. Comparative analysis of the self-incompatibility (*S*-) locus region of *Prunus mume*: Identification of a pollen-expressed F-box gene with allelic diversity. *Genes to Cells*, 8: 203–213. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2443.2003.00626.x>

- Fallah M, Imani A, Sharafi Y and Rasouli M. 2017. Study of compatibility pollen and pistil almond diallel crosses using fluorescent microscopy and percentage of fruit set. 1st International Conference and 10th National Horticultural Science Congress of Iran. September 4-7, 2017. Tehran. Iran. (In Persian).
- Fotiric-Aksic M, Rakonjac V, Nikolic D, Colic S, Milatovic D, Licina V and Rahovic D. 2014. Effective pollination period in "Oblacinska" sour cherry clones. *Genetika-Belgrade*, 46(3): 671-680. <https://doi:10.2298/GENSR1403671A>
- Guerriero R and Bartolini S. 1995. Flower biology in apricot: main aspects and problems. *Acta Horticulturae*, 384: 261–272. <https://doi:10.17660/ActaHortic.1995.384.40>
- Hajilou J, Grigorian V, Mohammadi SA, Nazemmieh A and Burgos L. 2006a. Pollen tube growth and fruit set percentage in two apricot cultivars under self and cross-pollination conditions. *Iranian journal of horticultural science and technology*, 7(3): 147-156. (In Persian).
- Hajilou J, Grigorian V, Mohammadi SA, Nazemmieh A, Romero C, Vilanova S and Burgos L. 2006b. Self- and cross-(in) compatibility between important apricot cultivars in northwest Iran. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 81: 513–517. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512096>
- Halasz J, Pedryc A and Hegedus A. 2007. Origin and dissemination of the pollen-part mutated Sc haplotype which confers self-compatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *New Phytologist*, 176: 792–803. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02220.x>
- Hartman E, Levy C, Kern DM, Johnson MA and Basu A. 2014. A rapid, inexpensive and semi-quantitative method for determining pollen tube extension using fluorescence. *Plant Methods*, 10(3): 1-6. <https://doi.org/10.1186/1746-4811-10-3>
- Hosseinava S. 2015. Evaluation of Pollen Compatibility and Selection of Suitable Pollinizer for commercial almond cultivars. *Seed and Plant Journal*, 31(1): 77-94. (In Persian). <https://doi:10.22092/spij.2017.111249>
- Jacquemart AL. 2007. Methods for determining compatibility and pollinator efficiency in temperate fruit species. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 1(1): 26-38. <http://hdl.handle.net/2078.1/72408>
- Kester DE, Gradziel TM and Micke WC. 1994. Identifying pollen incompatibility groups in California almond cultivars. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 119(1): 106-109. <https://doi.org/10.21273/JASHS.119.1.106>
- Milatovic D and Nikolic D. 2007. Analysis of self-(in) compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 82: 170–174. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512215>
- Milatovic D, Nikolic D and Krska B. 2013a. Testing of self-(in) compatibility in apricot cultivars from European breeding programmes. *Horticultural Science (Prague)*, 40(2): 65-71. <https://doi:10.17221/219/2012-HORTSCI>
- Milatovic D, Nikolic D, Fotiric-Aksic M and Radovic A. 2013b. Testing of self-(in) compatibility in apricot cultivars using fluorescence microscopy. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus*, 12(6): 103-113. <https://doi:10.1080/14620316.2007.11512215>
- Milatovic D, Nikolic D, Rakonjac V and Fotiric-Aksic M. 2010. Cross-incompatibility in apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*, 85: 394–398. <https://doi:10.1080/14620316.2010.11512686>
- Newbiggin E, Anderson MA and Clark AE. 1993. Gametophytic self-incompatibility systems. *Plant Cell*, 5(10): 1315–1324. <https://doi:10.1105/tpc.5.10.1315>
- Nikolic D and Milatovic D. 2010. Examining self-compatibility in plum (*Prunus domestica* L.) by fluorescence microscopy. *Genetika-Belgrade*, 42(2): 387–396. <https://doi:10.2298/GENSR1002387N>

- Ortega E and Dicenta F. 2003. Inheritance of self-compatibility in almond: breeding strategies to assure self-compatibility in the progeny. *Theoretical and Applied Genetics*, 106(5): 904-911. <https://doi.org/10.1007/s00122-002-1159-y>
- Ortega E and Dicenta F. 2006. Self-fertilization in homozygous and heterozygous self-compatible almonds. *Scientia Horticulturae*, 109: 288-292. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.017>
- Ortega E, Egea J, Canovas JA and Dicenta F. 2002. Pollen tube dynamics following half- and fully-compatible pollinations in self-compatible almond cultivars. *Sexual Plant Reproduction*, 15: 47-51. <https://doi.org/10.1007/s00497-002-0137-5>
- Radicevic S, Maric S, Cerovic R and Dordevic M. 2013. Assessment of self- (in) compatibility in some sweet cherry (*Prunus avium* L.) genotypes. *Genetika-Belgrade*, 45(3): 939-952. <https://doi.org/10.2298/GENSR1303939R>
- Rasouli M, Arzani K, Eimani A and Fattahi Moghadam MA. 2010a. An investigation of the pollination compatibility of some sweet cherry cultivars on 'Zard Daneshkada'. *Iranian journal of horticultural science*, 41(2): 143-152. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2008482.1389.41.2.5.1>
- Rasouli M, Fatahi Moghadam MR, Zamani Z, Imani A and Ebadi A. 2010b. A study of the compatibility and the effects of supplementary pollination with different pollens on fruit set of self-compatible almond 'Supernova'. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 40(4): 61-70. (In Persian). <https://doi.org/10.1001.1.2008482.1388.40.4.7.0>
- Romero C, Vilanova S, Burgos L, Martinez-Calvo J, Vicente M, Llacer G and Badenes ML. 2004. Analysis of the S-locus structure in *Prunus armeniaca* L. Identification of the S-haplotype specific S-RNase and F-box genes. *Plant Molecular Biology*, 56: 145-157. <https://doi.org/10.1007/s11103-004-2651-3>
- Sanzol J. 2009. Genomic characterization of self-incompatibility ribonucleases (S-RNases) in European pear cultivars and development of PCR detection for 20 alleles. *Tree Genetics & Genomes*, 5: 393-405. <https://doi.org/10.1007/s11295-008-0194-5>
- Socias i Company R, Alonso JM, Kodad O and Gradziel Th M. 2012. Almond, in: Badenes ML and Byrne DH. (Eds.), *Fruit breeding*. Springer, New York, pp. 697-728. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9>
- Socias i Company R. 2017. Pollen-Style (In) compatibility: Development of autogamous cultivars, in: Socias i Company R and Gradziel TH M. (Eds.), *Almonds: Botany, Production and Uses*. CPI Group, UK, pp. 188-208. ISBN: 978-1-78064-354-0
- Sonneveld T, Tobutt KR and Robbins TP. 2003. Allele-specific PCR detection of sweet cherry self-incompatibility (S) allele S1-S16 using consensus and alleles-specific primers. *Theoretical and Applied Genetics*, 107(6): 1059-1070. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1274-4>
- Sutherland BG, Tobutt KR and Robbins TP. 2008. Trans-specific S-RNase and SFB alleles in *Prunus* self-incompatibility haplotypes. *Molecular Genetics and Genomics*, 279: 95-106. <https://doi.org/10.1007/s00438-007-0300-7>
- Tobutt KR, Boskovic R, Cerovic R, Sonneveld T and Ruzic DJ. 2004. Identification of incompatibility alleles in the tetraploid species sour cherry. *Theoretical and Applied Genetics*, 108(5): 775-785. <https://doi.org/10.1007/s00122-003-1511-x>
- Vilanova S, Badenes ML, Burgos L, Martinez-Calvo J, Liacer G and Romero C. 2006. Self-compatibility of two apricot selections is associated with two pollen-part mutations of different nature. *Plant Physiology*, 142(2): 629-641. <https://doi.org/10.1104/pp.106.083865>
- Vilanova S, Romero C, Liacer G and Badenes ML, 2005. Identification of self (in)-compatibility alleles in apricot (*Prunus armeniaca* L.) by PCR and sequence analysis. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130(6): 893-898. <https://doi.org/10.21273/JASHS.130.6.893>
- Wang PP, Gao ZH, Ni, ZJ, Zhang Z and Cai BH. 2013. Self-compatibility in "Zaohong" Japanese apricot is associated with the loss of function of pollen S genes. *Molecular Biology Reports*, 40(11): 6485-6493. <https://doi.org/10.1007/s11033-013-2765-2>

- Zarrinbal M, Baghban Kohnehrouz B, Soleimani 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): 205-221. (In Persian).
- Zarrinbal M, Baghban Kohnehrouz B, Soleimani A, Nayeri Sh, Kousari Nasab M, Dejampour J and Rahnemoun H. 2017. Study of self-(in) compatibility alleles in some promising apricot genotypes by sequence analysis. 1st International Conference and 10th National Horticultural Science Congress of Iran. September 4-7, 2017. Tehran. Iran. (In Persian).
- Zarrinbal M, Soleimani A, Baghban Kohnehrouz B, Pazhouhandeh M, Dejampour J and Rahnemoun H. 2016. Study of pollen tube growth throughout style using florescent microscopy in some apricot genotypes. 19th National and 7th International Congress of Biology. 30 Aug-1 Sep 2016. Tabriz. Iran. (In Persian).
- Zarrinbal M, Fathi H, Dejampour J and Mousavi Zadeh SA. 2020. Nut and kernel characteristics of some almond cultivars and genotypes in northwest of Iran. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 21(4): 395-414. (In Persian). <https://doi: 20.1001.1.16807154.1399.21.4.15.5>
- 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): 49-59. <https://doi: 10.22092/cbj.2018.122435.1025>