طراحی، ساخت و آزمون دستگاه جداساز گل‌های نر نخل خرما

احمد مستعان[۱*]، سعید مینائی[۲]، تایمور توکلی هشجین[۳]، محمدجواد شیخ‌داودی[۴]

۱- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور AHMADMOSTAAN@YAHOO.COM
۲- دانشیار و ۳- استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس
۳- دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شهید چمران

چکیده

گرده به عنوان یکی از سه عامل اساسی در گرده‌افشانی مکانیزه نخل خرما مطرح می‌باشد. روش‌های کنونی استخراج گرده نیازمند ۷ الی ۱۰ روز زمان برای اتمام عملیات است و در این مدت امکان بروز مشکلات اساسی مرتبط با کمیت و کیفیت گرده وجود دارد. در این راستا در پژوهش حاضر طراحی و ساخت دستگاه جداساز گل‌های نر نخل خرما به عنوان نخستین فاز در تحقیق فرآیند جدید استخراج گرده خرما بر پایه جداسازی، آماده‌سازی و استخراج گرده هدف قرار گرفت. دستگاه بر اساس جداسازی گل‌ها در روز دو پوست‌برداری، با احتساب نیروی جداسازی ۱/۵ نیوتن به ازای هر گل به صورت ترکیبی از سازوکار برس‌های دوار و مکانیزم ضربه‌ای طراحی و ساخته شد. نتایج نشان داد که دستگاه ساخته شده قادر به انجام عمل جداسازی گل‌های نر نخل خرما در هر دو روش نگهداری گل‌آذین درون و بیرون اسپات به مدت ۲ روز پس از جداسازی اسپات است. در این مدت متوسط زمان جداسازی در حدود ۱۱/۷ ثانیه و شاخص جداسازی ۱۰۰ درصد می‌باشد. رطوبت گل و گرده استحصالی در روش نگهداری گل‌آذین بیرون از اسپات به ترتیب ۶۲/۳۶٪ و ۱۱/۵۳٪ بود. این مقادیر برای روش نگهداری گل‌آذین درون اسپات به ترتیب ۷۰/۹٪ و ۴۲/۲۶٪ به دست آمد. لذا با وجود نتیجه یکسان در جداسازی گل‌ها، روش نگهداری گل‌آذین بیرون از اسپات به دلیل وجود احتمال تاخیر در اجرای عملیات و مخاطرات کمتر کاهش قوه نامیه و زمان و انرژی کمتر برای کاهش رطوبت گرده و گل‌ها، بر روش نگهداری گل‌آذین درون اسپات برتری دارد. در این دستگاه بر خلاف انتظار اولیه، به طور متوسط ۲۷/۸g گرده خشک زنده خالص از هر اسپات استخراج گردید که مقدار قابل توجهی بوده و بخش عمده‌ای از کل گرده اسپات را شامل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: استخراج گرده، جداسازی گل‌ها، گرده‌افشانی، مکانیزاسیون تولید خرما

مقدمه

مطالعه سیر تکامل مکانیزاسیون تولید خرما در کشورهای پیشرو حاکی از آن است که عملیات گرده‌افشانی از قابلیت بالایی در پذیرش مکانیزاسیون برخوردار می‌باشد. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که میان کمیت و کیفیت میوهٔ حاصل از گرده‌افشانی مکانیکی و سنتی اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشته و در برخی موارد عملکرد حاصل از گرده‌افشانی مکانیزه بیشتر است (Eeta, 1986; Haffar, 1999; Mostaan, 2010a).

گرده به عنوان یکی از سه عامل اساسی در گرده‌افشانی مکانیزه نخل خرما مطرح می‌باشد (Mostaan and Ahmadizadeh, 2008) منابع این گرده، گل‌هایی هستند که توسط نخل‌های نر تولید می‌شوند. استفاده از گرده‌ی تولیدی پایه‌های نر در گرده‌افشانی مکانیکی مستلزم استخراج، خشک کردن و در صورت نیاز، نگهداری آن است. دانه‌ی گرده‌ی خرما در زمان رسیدگی و در حالت تازه دارای رطوبتی معادل ۲۵-۱۸٪ پایه خشک و شکل کروی با قطر تقریبی ۲۰-۱۵µ می‌باشد. نگهداری و استفاده از گرده خشک مستلزم کاهش رطوبت آن به حدود ۴-۲٪ است. گرده خشک دارای شکل بیضوی با ابعاد تقریبی ۲۰-۱۰µ و چگالی توده تقریبی ۰/۷ $g\ cm^{-3}$ بوده و چگالی ویژه دانه گرده برابر با ۰/۹ برآورد می‌شود. توده گرده نرم و سیلان‌پذیر است و به صدمات ناشی از سایش مکانیکی و رطوبت بالا بسیار حساس می‌باشد (Burkner and Perkins, 1975). گرده خرما نسبت به دما نیز حساس بوده و باید از هر گونه تماس گرمایی بالای آن به هر مدت زمان جلوگیری نمود (Mostaan *et al.*, 2009). در دمای ۳°C قدرت جوانه‌زنی آن صفر و با افزایش دما از ۷ تا حدود ۲۶°C، قدرت جوانه‌زنی آن افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. گرده خشک را به راحتی می‌توان در دمای ۱۸°C-۱۴ بدون کاهش معنی‌دار قوه نامیه آن، به طور ایمن نگهداری نمود (Furr and Enriquez, 1966; Furr and Ream, 1968).

در روش دستی استخراج گرده گل‌ها با تکاندن گل‌آذین‌های نر و وارد آوردن ضربه به دم خوشه و نیز گل‌های آن در مدت ۷ الی ۱۰ روز انجام می‌شود. خشک کردن گرده‌های جمع‌آوری شده نیز از طریق پهن کردن آن روی کاغذ جاذب رطوبت و در فضای قابل کنترل و شرایط سایه روشن نور انجام می‌شود (Eeta, 1986).

اولین دستگاه مکانیکی استخراج گرده خرما با تکیه بر روش‌های سنتی موجود ساخته شده است. طی ساخت این دستگاه، دو سازوکار برس‌های دوار و شیکر برای خارج کردن گرده از گل‌آذین‌ها مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. با وجود آنکه برس‌های دوار از کارایی بالایی در گرده‌گیری از گل‌آذین‌های خشک شده برخوردار بودند، لیکن کارایی آن‌ها در کار با گل‌آذین‌های تازه، که در بردارنده بخش قابل توجهی از گرده است به دلیل جدا شدن گل‌ها، به شدت کاهش می‌یافت. گرده خارج شده سپس در اثر خلاء حاصل از پمپ مکش از الک استوانه‌ای دوار عبور نموده و پس از آن برای جمع‌آوری وارد سیکلون می‌شود. طراحی سیکلون به گونه‌ای بود که قادر به جمع‌آوری گرده‌هایی با ابعاد حداقل ۸µ با بازدهی ۸۵٪ باشد. مقایسه کارایی این دستگاه با کارایی روش دستی که برای ۱۰۰ عدد اسپات محاسبه گردیده و نشان داد که دستگاه ساخته شده قادر به استخراج ۴۱٪ بیشتر گرده می‌باشد. در

این آزمون اندازه‌گیری رطوبت گرده‌ها در آون استاندارد، در دمای ۴۵°C و به مدت ۶ ساعت انجام شده است (Burkner and Perkins, 1975).

با وجود ساخت دستگاه استخراج گرده، مشکلات اساسی مرتبط با کمیت، کیفیت، زمان استخراج و استفاده از گرده تولیدی، به دلیل شبیه‌سازی گام به گام روش سنتی، کماکان پابرجا می‌باشند. یک راهکار اساسی برای کاهش زمان و افزایش کمیت و کیفیت گرده تولید، بازآفرینی فرآیند استخراج و پیاده‌سازی مبانی حاکم بر آن می‌باشد. بر این اساس با توجه به اینکه گل‌های نر تنها اجزای محتوی دانه‌های گرده اسپات هستند، مبانی استخراج گرده نخل خرما را می‌توان در سه گام اصلی به ترتیب جداسازی، خشک‌کردن و غربال کردن گل‌ها مطالعه نمود (Mostaan, 2010b).

جداسازی گل‌های درختان میوه عموماً در خصوص گل‌های ماده و با هدف تنک نمودن آن‌ها و کنترل کمیت و کیفیت محصول انجام می‌شود. تنک دستی گل‌ها نیازمند نیروی کار و هزینه فراوان و در مجموع غیر اقتصادی است. از این‌رو استفاده از مواد شیمیایی رواج دارد. موادشیمیایی تنک‌کننده دارای مزیتی بیشتر در افزایش سفتی بافت میوه بوده، لیکن محتوای مواد جامد محلول را کاهش داده‌اند و اثر آن‌ها بر منابع گرده نیز شناخته‌شده نیست. بر این اساس امروزه تنک ماشینی به عنوان گزینه‌ای بهینه برای اجرای عملیات و کاهش تاثیر استفاده از مواد شیمیایی مورد توجه محققین قرار گرفته است. بیشتر آزمایش‌های به عمل آمده برای تنک مکانیکی گل‌ها روی سیب و هلو انجام شده‌اند. در یکی از این روش‌ها طناب‌های گره‌داری از روی درخت در زمان گل‌دهی کشیده می‌شوند و در روشی دیگر از آب با فشار بالا (بیش از ۳۰ بار) استفاده می‌شود (Damerow *et al.*, 2007; Webster and Spencer, 2000).

یک دستگاه مکانیکی متشکل از چند محور دوار که روی آن‌ها طناب‌هایی نصب شده‌اند برای تنک کردن گل درخت سیب ساخته شده است. با چرخش محورها این طناب‌ها به گل‌ها ضربه وارد نموده و آن‌ها را جدا می‌سازند. مقایسه کارایی دستگاه نشان داده که این ابزار در مقایسه با روش دستی باعث کاهش زمان عملیات به میزان ۲۰ و ۴۵٪ به ترتیب برای تنک یک‌طرفه و تنک دوطرفه شده است (Damerow *et al.*, 2007).

در تحقیقی اثر غلظت‌های مختلف اسید کلرواتیل‌فسفونیک[1] بر نیروی جداسازی گلبرگهای گل آلستر[2] مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که کاهش نیروی جداسازی گلبرگ‌ها تنها در غلظتهای بالا حاصل می‌گردد. در این تحقیق غلظت ۵۰PPM باعث کاهش زمان جداسازی به مدت دو روز گشته و تیمارهای با غلظت پایین تاثیری بر نیروی جداسازی گل‌ها نداشته‌اند (Wagstaff *et al.*, 2005).

---

[1] - chloroethylphosphonic acid

[2] - *Alstroemeria peruviana* cv. Rebecca

برخی خواص فیزیکی مهم اسپات و اجزای آن و نیروی جداسازی گل‌های نر نخل خرما برای رقم غنامی قرمز تعیین شده‌اند. در این تحقیق متوسط طول، عرض و ضخامت اسپات به ترتیب ۴۸۸ ، ۱۳۹ و ۶۸ میلی‌متر بدست آمده است. همچنین نیروی جداسازی گل‌ها دو روز پس از نگهداری گل‌آذین خارج از اسپات و در شرایط محیط، به مقدار ۱/۱۴۲N به ازای هر گل می‌رسد. این میزان با نیروی جداسازی آن در روز سوم و چهارم اختلاف معنی‌داری نداشت. متوسط انرژی جداسازی گل‌ها در روز سوم نیز ۷ N mm بدست آمده است (Mostaan *et al.*, 2011).

در مجموع به دلیل عدم مطالعه تاثیر مواد تنک‌کننده بر قوه نامیه گرده نخل خرما، جداسازی گل‌های آن به روش مکانیکی به عنوان راهکار اولیه انتخاب گردید. بر این اساس پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت دستگاه جداساز گل‌های نر نخل خرما به عنوان بخشی از فرآیند جدید استخراج گرده نخل خرما اجرا شد. فرضیه اساسی در این تحقیق عبارت است از اینکه با انتخاب مکانیزم جداسازی مناسب و نگهداری گل‌آذین در شرایط بهینه، جداسازی گل‌ها با حداقل نیرو و کاهش قوه نامیه امکان‌پذیر است.

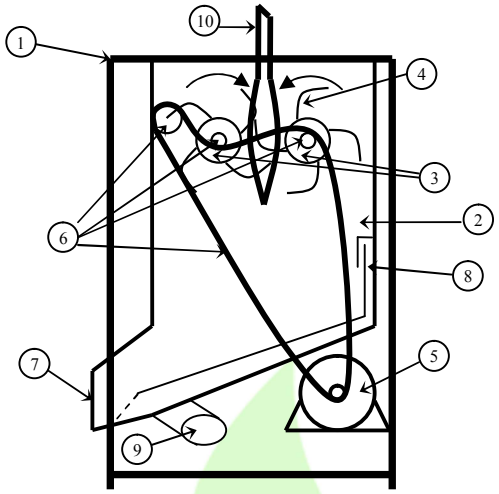
مواد و روش‌ها

فرآیند طراحی و ساخت مورد استفاده در این تحقیق در قالب الگوریتم کلی فرآیند طراحی مشتمل بر گام‌های هفت‌گانه شناسائی، تعریف و کاوش مساله، جستجوی گزینه‌های طراحی، ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب گزینه مناسب، طراحی تفصیلی و ساخت نمونه واقعی ابزار، اجرا گردید (Lewis and Samuel, 1989).

طرح این دستگاه با توجه هدف اصلی جداسازی گل‌ها با حداقل آسیب ممکن و نتایج کاربرد برس‌های دوار (Burkner and Perkins, 1975) و گزارش تنک کردن گل درخت سیب (Damerow *et al.*, 2007) به صورت ترکیبی از مکانیزم برس‌های دوار و مکانیزم ضربه‌ای انتخاب گردید. این انتخاب بر این فرض استوار است که با اعمال ضربه به محل اتصال گل به واسطه طراحی مناسب دستگاه، می‌توان گل‌ها و بخشی از گرده موجود در آن‌ها را به سرعت جدا نمود.

طرح پایه انتخابی برای دستگاه به صورت شکل ۱ می‌باشد. در این دستگاه با چرخش متقابل غلطک‌ها عملگرهای انعطاف‌پذیر متناسب با سرعت دوران دارای انرژی جنبشی شده و در برخورد با گل‌آذین، گل‌های متصل به آن را در اثر ضربه حاصل جدا می‌نماید. در اثر ضربه و عمل جداسازی، مقدار قابل توجهی از گرده گل‌ها در هوا پراکنده شده و گل‌های منفرد نیز از مجرای گل خارج شده و قابل جمع‌آوری می‌باشند. گرده پراکنده شده در هوا از طریق کانال گرده و مجرای خروجی گرده توسط انواع واحدهای جمع‌کننده گرده جمع‌آوری می‌گردد.

طراحی این دستگاه بر اساس الگوریتم کلی فرآیند طراحی و با بهره‌گیری از جداول و استانداردهای طراحی و ماشین‌سازی (Valinejad, 2000) و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار طراحی مهندسی Autodesk®Mechanical Desktop® (Autodesk, 2008) انجام گرفت.



شکل ۱. طرح کلی جداساز گل‌های نر نخل خرما (۱-شاسی ۲- محفظه جداسازی ۳-غلطک‌های جداساز ۴-عملگرهای جداساز ۵-موتور الکتریکی ۶- سیستم انتقال توان ۷-مجرای گل ۸-کانال گرده ۹-مجرای خروج گرده ۱۰-گل‌آذین نخل خرما)

Figure 1- Overall sketch of the date palm male flower separating machine (1-chasis 2-separation chamber 3-separating rollers 4-functioning separators, 5-electric motor 6-power train 7-flower duct 8-pollen canal 9-pollen outlet 10-date palm male inflorescence)

الف طراحی عملگرهای جداساز

بدلیل رفتار ارتجاعی پیچیده میله‌های انعطاف‌پذیر، مبانی طراحی عملگرها بر اساس انرژی جداسازی گل‌ها و انرژی جنبشی میله جداساز استوار است. بر این اساس با توجه به طرح انتخابی، فرض می‌شود میله تمامی انرژی جنبشی را در فاصله ۱۸۰ درجه چرخش محور کسب می‌کند و در زمان تماس میله با محل اتصال گل، تمامی انرژی جنبشی آن به کار مفید لازم برای جداسازی گل تبدیل می‌شود. در این صورت با توجه به روابط گشتاور و ممان اینرسی میله در اثر چرخش و نیروی مورد نیاز برای جداسازی گل‌ها می‌توان طول (l) مناسب میله را محاسبه نمود. از این رو:

ممان اینرسی (I) میله صلب در حال دوران حول انتهای خود:

$$I = {}^{1}/_{3}\, ml^2 = \frac{1}{3}(\dot{m}l)l^2 = \frac{1}{3}\dot{m}l^3 \qquad (1)$$

از میان مواد موجود، کابل روکش‌دار انعطاف‌پذیر به قطر ۳mm با جرم واحد ۷/۴۶ g m^{-1} = گرم $\dot{m}$ به عنوان عامل جداسازی انتخاب گردید. همچنین با توجه ارتباط نزدیک کاربر با عملگرها و ضرورت استفاده از دور پایین به منظور تامین شرایط ایمنی، نوع موتور در دسترس و امکان کاهش دور آن توسط کنترل‌گرهای الکترونیکی مرسوم و کاهش سر و صدای تولیدی دستگاه، دور محورهای جداساز برابر با ۱۴۰۰rpm انتخاب گردید. لذا سرعت زاویه‌ای محور عبارت است از:

$$\omega = \frac{2\times\pi\times1400}{60} = 146.6\, rad/s \qquad (2)$$

انرژی جنبشی (E_d) میله در حالت دوران آزاد نیز به صورت رابطه ۳ می‌باشد.

$$E = {}^{1}/_{2}\, I\omega^2 \qquad (3)$$

کار مورد نیاز برای جداسازی گل‌ها در روز دوم پوست‌برداری برابر با ۷N mm بدست آمده است (Mostaan *et al.*, 2011) این مقدار به منظور طراحی برابر با ۰/۰۱N m در نظر گرفته شد. از این رو طول عملگر از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$E = {}^{1}/_{2}\, I\omega^2 = \frac{(0.00764\times l^3)}{6} \times (146.6)^2 = 0.01 \gg l = \sqrt[3]{\frac{6\times 0.01}{0.00764\times(146.6)^2}} \approx 8mm \qquad (4)$$

با توجه به فرض‌های محاسبات، طول طراحی عملگرها ۱۰ سانتی‌متر انتخاب گردید. از این‌رو میزان انرژی اسمی هر عملگر بر اساس رابطه ۵ معادل ۰/۰۲۷ J می‌باشد:

$$E = {}^{1}/_{2}\, I\omega^2 = \frac{(0.00764\times 0.1^3)}{6} \times (146.6)^2 = 0.027\, J \qquad (5)$$

با توجه به تخلیه انرژی در هر دور چرخش محور، توان مصرفی (P_s) برای تولید این انرژی برای هر عملگر عبارت است از:

$$P_s = \frac{E_d}{t} = \frac{0.027}{\frac{60}{1400}} = 0.63\, W \qquad (6)$$

برای انتخاب موتور مناسب ابتدا ابعاد کلی غلطک‌ها با توجه به ابعاد گل‌آذین برابر با ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شد. با جایگذاری یک در میان عملگرها در ۸ ردیف، تعداد ۴۸ عملگر روی هر غلطک و در مجموع n=۹۶ عملگر قابل تعبیه بود. بنابراین با توجه به ضریب انتقال توان برابر با ۲ (Lewis and Samuel, 1989)، کل توان مورد نیاز بر اساس رابطه ۷ برابر با ۱۲۱ وات بدست آمد.

$$P = n \times P_s \times C_t = 96 \times 0.63 \times 2 = 120.96\, W \qquad (7)$$

این توان برای موتورهای صنعتی اندک بوده و با توجه به حداقل توان قابل انتخاب، موتور نیم اسب با توان نامی ۳۷۵ وات برای راه‌اندای سیستم انتخاب گردید.

ب- طراحی محفظه و شاسی دستگاه

ابعاد کلی محفظه با توجه به طول عملگرهای جداساز و در نظر گرفتن ابعاد کلی اسپات‌های نخل خرما انتخاب گردید (Mostaan *et al.*, 2011). این ابعاد ۳۲×۳۶×۷۵ سانتی‌متر انتخاب شد. طراحی ابعادی شاسی نیز با درنظر گرفتن طرح محفظه، تکیه‌گاه یاتاقان‌ها و سایر جنبه‌ها از جمله جنبه ارگونومیک انجام گردید.

ج- طراحی سیستم انتقال نیرو

با توجه به مقدار توان انتقالی و لزوم گردش مخالف غلطکها، استفاده از تسمه شش گوش AA الزامی گردید. بنابراین انتخاب به این نوع تسمه محدود شد. با توجه به ابعاد دستگاه و نحوه قرارگیری پولی‌ها تسمه AA67 انتخاب شد. این تسمه امکان قرارگیری موتور در فضای زیرین محفظه دستگاه را امکان‌پذیر ساخت. با توجه به نسبت سرعت مورد نیاز و فضای موجود، قطر پولی‌ها برای قرارگیری روی محورها، برابر با ۱۰cm انتخاب شد.

د- ساخت نمونه واقعی

دستگاه جداساز گل‌ها با استفاده از فرآیندهای مرسوم ورق‌کاری، برش، جوشکاری و تراشکاری ساخته شد. تصویر این دستگاه در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

شکل ۲- نمای حقیقی واحد جداساز دستگاه جداساز گل‌های نر نخل خرما(۱-شاسی ۲- محفظه جداسازی ۳-یاتاقان غلطک‌های جداساز ۴-موتور الکتریکی ۵-پوشش سیستم انتقال توان ۶-مجرای گل ۷-دریچه تغذیه گل‌آذین)

Figure 2- Prototype of the date palm male flower separating machine (1-chasis 2-separation chamber 3-separating rollers' bearings 4-electric motor 5-power train cover 6-flower duct 7-inflorescence duct)

آزمون کارایی دستگاه در جداسازی گل‌ها و تاثیر ممکن بر قوه نامیه گرده خرما به صورت آزمایش چند عاملی با دو عامل نحوه نگهداری گل‌آذین پیش از جداسازی (درون و بیرون غلاف اسپات) و مدت زمان نگهداری قبل از جداسازی (در ۳ سطح ۱، ۲ و ۳ روز پس از جداسازی اسپات از نخل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید.

بلوک‌بندی طرح آزمایش بر مبنای وزن اسپات‌ها انجام گرفت؛ بدین معنا که اسپات‌ها به سه گروه وزنی تقسیم شده، و هر گروه وزنی به یک بلوک اختصاص داده شد. آزمون جداسازی بدین شکل انجام شد که پس از پوست‌برداری اسپات‌های با تیمار نگهداری گل‌آذین‌های بیرون غلاف اسپات، گل‌آذین‌ها روی دار از قبل آماده شده قرار داده شدند تا مدت نگهداری مورد نیاز سپری شود. گل‌آذین‌های تیمار دوم نیز درون اسپات نگه داشته شده و پوست‌برداری آن‌ها در پایان مدت زمان نگهداری انجام شد. محیط

نگهداری تمامی اسپات‌ها شامل اتاقی به حجم تقریبی ۷۰ متر مکعب بود که دمای آن در زمان انجام آزمایشات به وسیله سیستم خنک‌کننده، در حدود ۲۵°C کنترل گردید. برای جمع‌آوری گرده رها شده، از دستگاه جداساز سیکلونی با دبی هوای m^3s^{-1} ۰/۱۴۱۶ و با متوسط بازده ۹۵٪ و برای توزین گل‌ها از ترازوی AND®-EK-600i با دقت ۰/۰۱g و برای توزین گرده از ترازوی AND®-HR300 با دقت ۰/۰۰۱g استفاده شد. محتوای رطوبتی گل‌ها و گرده با خشک کردن آن‌ها در آون استاندارد به ترتیب در دمای ۷۰°C و ۴۵°C اندازه‌گیری شد (Burkner and Perkins, 1975; Mostaan, 2010b). آزمون قوه نامیه نیز به روش MBK انجام گردید (Furr and Enriquez, 1966).

نتایج و بحث

جدول ۱، آماره F حاصل از تجزیه واریانس داده‌های شاخص‌های ارزیابی دستگاه جداساز را نشان می‌دهد. بر پایه نتایج، اثرات اصلی و متقابل نحوه نگهداری گل‌آذین و مدت زمان نگهداری آن بر زمان جداسازی، شاخص جداسازی، رطوبت گل‌ها و رطوبت گرده در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار می‌باشد. این اثر در خصوص میزان گرده خشک، قوه نامیه و میزان گرده خشک زنده معنی‌دار نبود و تنها اثر اصلی نحوه نگهداری گل‌آذین بر میزان گرده خام گردآوری شده در سیکلون در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار بود. نتیجه مقایسه میانگین‌های مربوط به اثرات متقابل و اثر مستقل دارای اختلاف معنی‌دار به ترتیب در

جدول ۲ و جدول ۳ آمده است.

جدول ۱. مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص‌های دارای اثر متقابل معنی‌دار (α=٪۵)

Table 1- comparison of means for factors with significant interaction effects (α=%5)

منبع تغییرات Source	درجه آزادی DF	زمان جداسازی Separation Time	شاخص جداسازی Separation Index	رطوبت گل‌ها Flower Moisture Content	گرده خام Recovered Pollen	رطوبت گرده Pollen Moisture Content	گرده خشک Dry Pollen	قوه نامیه Pollen Viability	گرده خشک زنده Net Viable Pollen
بلوک Block	2	1.771^{ns}	0.43^{ns}	0.216^{ns}	5.687*	0.083^{ns}	8.656**	0.413^{ns}	4.404*
روش نگهداری Preservation method	1	24.673**	46.876**	114.049**	94.381**	1455.328**	0.105^{ns}	0.032^{ns}	0.01^{ns}
مدت نگهداری Preservation time	2	106.339**	310.692**	9.022**	3.494^{ns}	26.545**	0.388^{ns}	0.349^{ns}	0.533^{ns}
روش × مدت نگهداری	4	36.183**	50.434**	31.219**	1.677^{ns}	12.782**	3.816^{ns}	0.544^{ns}	0.079^{ns}

Preservation method × Preservation time				

جدول ۲. مقایسه میانگین‌های مربوط به شاخص‌های دارای اثر متقابل معنی‌دار (α=٪۵)

Table - comparison of means for factors with significant interaction effects (α=%5)

تیمار Treatment	زمان جداسازی (ثانیه) Separation Time (s)	شاخص جداسازی (بی‌بعد) Separation Index (dimensionless)	رطوبت گل‌ها (درصد پایه تر) Flower Moisture Content (%w.b.)	رطوبت گرده (درصد پایه تر) Pollen Moisture Content (%w.b.)
نگهداری گل‌آذین به مدت ۱ روز بیرون اسپات 1 day POS*	50.70b	0.678b	66.34c	20.79b
نگهداری گل‌آذین به مدت ۲ روز بیرون اسپات 2 day POS	19.22c	0.990a	62.36d	11.53c
نگهداری گل‌آذین به مدت ۳ روز بیرون اسپات 3 day POS	10.02c	1.000a	52.53e	11.06c
نگهداری گل‌آذین به مدت ۱ روز درون اسپات 1 day PIS	146.1a	0.255c	68.29bc	43.41a
نگهداری گل‌آذین به مدت ۲ روز درون اسپات 2 day PIS	10.71c	1.000a	70.90ab	42.26a
نگهداری گل‌آذین به مدت ۳ روز درون اسپات 3 day PIS	6.83c	1.000a	72.84a	41.17a

*** POS= preservation of inflorescence outside the spathe PIS= preservation of inflorescence inside the spathe**

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های اثر مستقیم نحوه نگهداری گل‌آذین بر میزان گرده جمع‌آوری شده در سیکلون (α=٪۵)

Table 3- Effects of inflorescence preservation method on recovered pollen (α=%5)

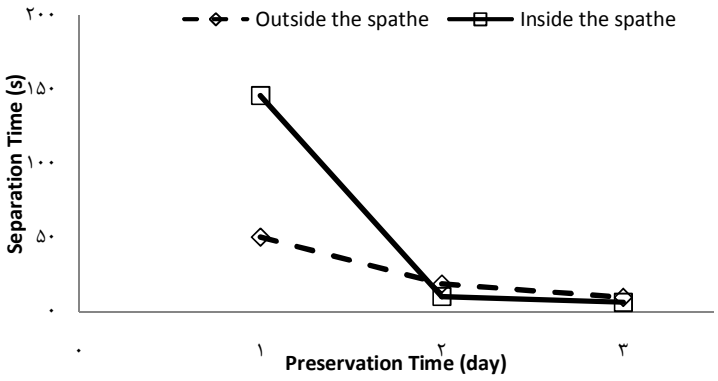
تیمار Treatment	جرم گرده (گرم) Pollen Mass (g)
نگهداری گل‌آذین بیرون اسپات Preservation of inflorescence outside the spathe	36.227B
نگهداری گل‌آذین درون اسپات Preservation of inflorescence inside the spathe	53.230A

۱- زمان جداسازی گل‌ها

همانگونه که در

جدول ۲ مشاهده می‌شود، سطح اول عامل زمان نگهداری گل‌آذین در هر دو سطح عامل تهویه گل‌آذین متفاوت از سایر سطوح است. شکل ۳ این اثر را به وضوح نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که با وجود تفاوت معنی‌دار زمان جداسازی

در روز اول میان دو تیمار اولیه گل‌آذین، این اثر در روزهای بعد معنی‌دار نبود و از نقطه‌نظر آماری، هر دو روش منجر به نتیجه یکسان در زمان مورد نیاز برای جداسازی تمام گل‌های گل‌آذین نر نخل خرما می‌شود. این زمان برای گروه سوم آماری به طور متوسط ۱۱/۷ثانیه است که در مقایسه با زمان جداسازی روز اول برای گل‌های نگهداری شده بیرون و درون اسپات به ترتیب باعث کاهشی به میزان ۷۷ و ۹۲ درصد در زمان جداسازی گل‌ها گشته‌اند. روند کاهشی اثر سازوکار عملگرها و مدت زمان سپری شده پس از جداسازی گل‌ها در کارهای Damerow *et al.*(2007) و Wagstaff *et al.*(2005) نیز مشاهده شده و نتیجه مطلوبی به شمار می‌آید.



شکل ۳. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر زمان جداسازی گل‌ها

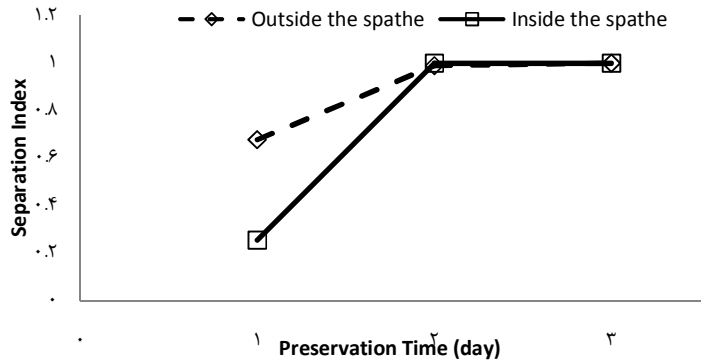
Figure 3- Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on separation time

۲- شاخص جداسازی گل‌ها

این شاخص به معنی میزان موفقیت دستگاه در انجام عمل جداسازی به شمار می‌آید. بر اساس نتایج

جدول ۲ و شکل ۴، میزان موفقیت دستگاه در جداسازی گل‌های نر در روز اول برای هر دو روش کمتر از ۱ می‌باشد. در روز اول، گل‌های نگهداری شده در اسپات نسبت به گل‌های گل‌آذین بیرون اسپات، کمتر از گل‌آذین جدا می‌شوند. تفاوت آماری زمان جداسازی گل‌ها در روز اول را می‌توان در ارتباط با مقاومت لایه اتصال بررسی نمود (Mostaan *et al.*, 2011). در روز اول به دلیل بالاتر بودن مقاومت لایه اتصال گل‌ها در گل‌آذین درون اسپات در مقایسه با گل‌آذین بیرون اسپات، شاخص جداسازی کمتر است. در روز دوم مشاهده می‌شود افزایش شاخص جداسازی نسبت به روز اول در گل‌آذین بیرون اسپات در مقایسه با گل‌آذین درون اسپات کمتر است. در این روز تمامی گل‌های گل‌آذین درون اسپات با کمترین تماسی ریزش می‌یابند. این اثر را می‌توان با

فعالیت هورمونی و عدم تهویه گل‌آذین نگهداری شده درون اسپات در ارتباط دانست که همراستا با یافته‌های (Wagstaff *et al.*(2005 می‌باشد.

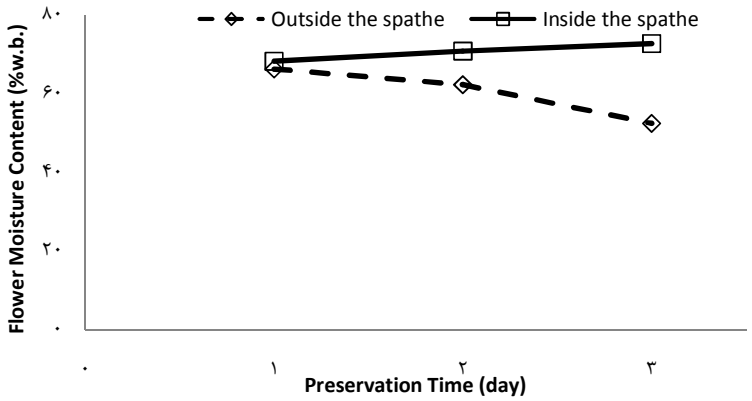


شکل ۴. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر شاخص جداسازی گل‌ها

Figur - Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on separation index

۳- رطوبت گل‌ها

رطوبت گل‌ها در دو روش نگهداری گل‌آذین با افزایش زمان روندی متفاوت دارد. در حالی که در گل‌آذین بیرون اسپات مطابق انتظار رطوبت کاهش می‌یابد، این روند در گل‌آذین درون اسپات به دلیل عدم تهویه، متفاوت است و به مقدار اندکی افزایش می‌یابد (**Error! Reference source not found.**). این امر می‌تواند با تنفس گل‌ها و احتمالاً انتقال آب از رشته‌ها به گل‌ها در ارتباط باشد. رطوبت گل‌های جدا شده از گل‌آذین درون اسپات در روز دوم ۷۰/۹٪ است که در مقایسه با رطوبت ۶۲/۳۶٪ گل‌های حاصل از گل‌آذین بیرون اسپات، نیازمند زمان و انرژی بیشتری برای خشک کردن است. این امر با توجه به تاثیر منفی دما بر قوه نامیه گرده که توسط Furr and Ream(1968) و (Mostaan *et al.*, 2009) به اثبات رسیده، افزایش مخاطرات کاهش قوه نامیه گرده درون این گل‌ها در فرآیند خشک‌کردن را نیز در پی دارد.

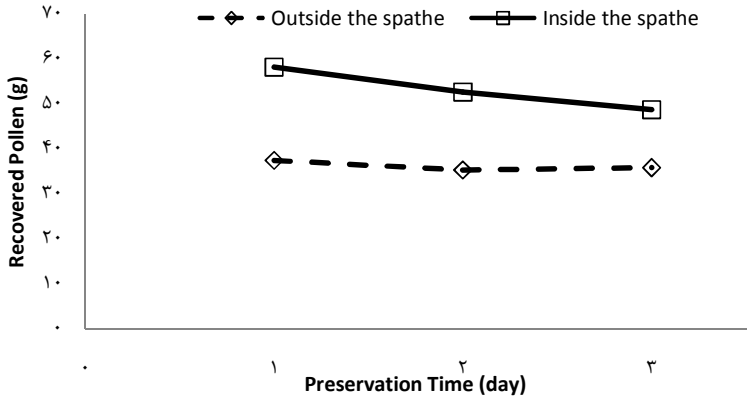


شکل ۵. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر رطوبت گل‌ها

Figure 5- Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on flower moisture content

۴- مقدار گرده خام

اثر نحوه نگهداری گل‌آذین بر جرم گرده دریافتی از آن در فرآیند جداسازی گل‌ها در شکل ۶ دیده می‌شود. اثر مشاهده شده در این شکل اثر اصلی عوامل است و همانگونه که دیده می‌شود، هر دو سطح عامل اول رفتاری مشابه در سطوح عامل دوم دارند. مقدار گرده استخراج شده از گل‌های نگهداری شده درون اسپات به مراتب بیشتر از گرده گل‌های نگهداری شده بیرون اسپات است. باید توجه داشت که این اثر با توجه به تحلیل بعدی در خصوص رطوبت گرده استخراجی، اثری ظاهری می‌باشد.

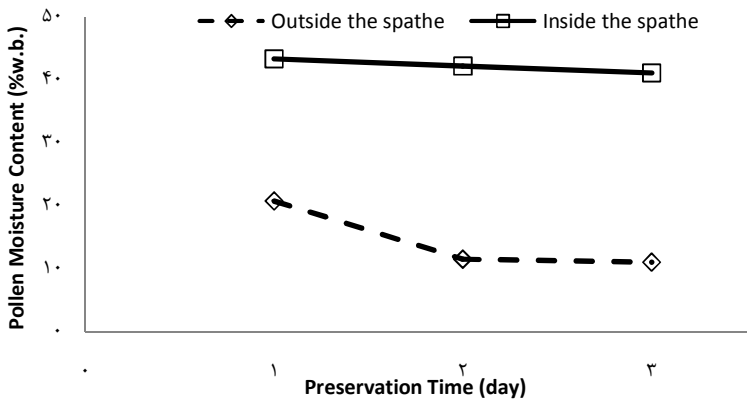


شکل ۶. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر مقدار گرده استحصالی

Figur - Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on recovered pollen

۵- رطوبت گرده

رطوبت گرده استحصالی در هر دو روش نگهداری گل‌آذین در شکل ۷ مشاهده می‌شود. بر این اساس گرده استخراج شده در روز دوم از گل‌های درون اسپات با رطوبتی معادل ۴۲/۲۶٪، دارای رطوبتی به مراتب بیشتر از گرده گل‌های بیرون اسپات با رطوبت ۱۱/۵۳٪ است. این امر با استناد به یافته‌ها Burkner and Perkins(1975) نشانگر قابلیت بیشتر نگهداری و نیاز به انرژی، زمان و مخاطرات کمتر خشک کردن گرده گل‌آذین بیرون اسپات نسبت به گرده گل‌آذین درون اسپات است.



شکل ۷. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر رطوبت گرده

Figure 7- Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on pollen moisture content

۶- گرده خشک

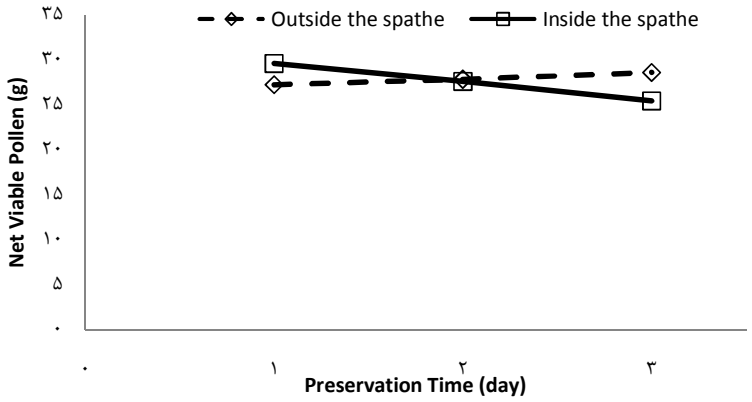
اثر هیچ یک از عوامل بر این ویژگی از نظر آماری معنی‌دار نبود. این امر با تلفیق نتایج دو نمودار شکل ۶ و شکل ۷ قابل ملاحظه است. با وجود اینکه گرده حاصل از گل‌های درون اسپات به شکل معنی‌داری بیشتر از مقدار گرده گل‌های بیرون اسپات است(شکل ۶)، وجود رطوبت زیاد در توده گرده گروه اول (شکل ۷) سبب اصلی این پدیده ظاهری می‌باشد. برابر بودن گرده خشک در هر دو روش نگهداری نیز می‌تواند به معنای نزدیکی مقدار گرده استحصالی به میزان گرده موجود در کل گل‌آذین باشد.

۷- قوه نامیه

نبود وجود اختلاف آماری میان قوه نامیه هر دو روش نگهداری گل‌آذین بیانگر این واقعیت است که در هر دو روش، حداقل تا مدت سه روز پس از بریده شدن اسپات، تغییر معنی‌داری در قوه نامیه گرده حاصل رخ نمی‌دهد. با این وجود انتظار می‌رود که در گل‌های درون اسپات به دلیل افزایش رطوبت و دما، با گذشت زمان، کاهش قوه نامیه در اثر شرایط محیطی و نیز رشد قارچ‌ها و کپک‌ها مشاهده گردد که خارج از حوزه این تحقیق بوده و نیازمند پژوهش جداگانه‌ای است.

۸- گرده خشک زنده

پارامتر نهایی و برآیند شاخص‌های ارزیابی کیفی عملکرد دستگاه ساخته شده در قالب نمودار شکل ۸ مشاهده می‌شود. لذا می‌توان گفت که کارکرد دستگاه ساخته‌شده در استخراج گرده در هر دو روش نگهداری گل‌آذین، منجر به مقدار برابر گرده خشک زنده شده است. با این وجود بزرگی میزان آماره F و مشاهده روند تغییرات نمودار حاصل می‌تواند بیانگر این فرض باشد که در صورت افزایش زمان نگهداری، به دلیل اثرات محیطی و زیستی بر قوه نامیه گرده گل‌آذین‌های درون اسپات و ریزش سریع گل‌ها، اختلاف معنی‌داری در کارکرد دستگاه میان دو تیمار نگهداری گل‌آذین‌ها مشاهد گردد.



شکل ۸. اثر متقابل زمان و نحوه نگهداری گل‌آذین بر مقدار گرده خشک زنده استحصالی

Figure 8- Interaction effect of time and method of preservation of inflorescences on net viable pollen

نتیجه‌گیری

به استناد نتایج حاصل می‌توان گفت که طراحی بر پایه اطلاعات پژوهش‌های قبلی منجر به ساخت دستگاهی شد که قادر به جداسازی ایمن گل‌ها از گل‌آذین نر خرما می‌باشد. این دستگاه قادر به کار با هر دو نوع گل‌آذین نگهداری شده درون و بیرون غلاف اسپات می‌باشد. در این میان با وجود نتیجه یکسان در جداسازی گل‌ها در هر دو روش، روش نگهداری گل‌آذین بیرون از اسپات، به دلیل وجود احتمال تاخیر در اجرای عملیات استخراج و کاهش قوه نامیه در صورت عدم توجه به اسپات‌های باز نشده و زمان و انرژی لازم برای خشک کردن گل‌ها و گرده و مخاطرات ناشی از دمای خشک‌کردن بر قوه نامیه گرده نهائی، بر روش نگهداری درون اسپات برتری دارد. همچنین با وجود این که گل‌ها هدف اولیه طراحی این دستگاه بودند، مقدار قابل توجهی گرده از گل‌ها جدا گردید که با توجه به نتایج نزدیک به هم در هر دو روش نگهداری گل‌آذین، به نظر می‌رسد در بر دارنده بخش قابل توجهی از گرده اسپات باشد.

تشکر و سپاسگزاری

بدینوسیله از کلیه عزیزانی که در به ثمر رسیدن این تحقیق همکاری داشتند، به ویژه مدیریت محترم موسسه تحقیقات خرما و میوه‌های گرمسیری کشور و حاج محسن حاجیان، باغدار نمونه اروندکنار به دلیل همکاری در تهیه اسپات نر غنامی قرمز تشکر می‌شود.

منابع

1- Autodesk. 2008. Mechanical Desktop® 2009: Autodesk,.
2- Burkner, P. F. and R. M. Perkins. 1975. Mechanical extraction of date pollen. Date Growers' Institute Annual Report 52: 3-7.

3- Damerow, L. and A. Kunz and M. Blanke. 2007. Regulation of fruit set by mechanical flower thinning. Mechanische Fruchtbehangsregulierung, Erwerbs-Obstbau 49: 1-9.
4- Eeta, M. 1986. Analysis of some points about date palm pollination. Karaj, Iran. Report no.
5- Furr, J. R. and V. M. Enriquez. 1966. Germination of date pollen in culture media
6- Date Growers' Institute Annual Report 43: 24-27.
7- Furr, J. R. and C. L. Ream. 1968. The influence of temperature on germination of date pollen. Date Growers' Institute Annual Report 45: 7-9.
8- Haffar, I. 1999. Design and performance testing of a micro-duster for date palm pollination. Applied Engineering in Agriculture 15: 267-271.
9- Lewis, W. P. and A. E. Samuel. 1989. Fundamentals of Engineering Design: Ideas, Methods and Applications. Prentice Hall of Australia Pty Ltd.
10- Mostaan, A. 2010a. Design and Development of an Electric Date Palm Pollinator. Ahwaz, Iran: Date Palm and Tropical Fruits Research Institute. Report no.
11- Mostaan, A. 2010b. Study and Performance Evaluation of a New Process of Pollen Extraction from Date Palm Male Flowers. Tarbiyat Modares, Tehran, Iran.
12- Mostaan, A. and S. Ahmadizadeh. 2008. Management of sustain production of pollen; the strategic input in date palm cultivation. Pages 33-37. Keshavarzi va Sanat.
13- Mostaan, A., S. Minaei, T. Tavakoli Hashjin and S. Ahmadizadeh. 2009. Effects of near ambient temperatures on date palm pollen viability. Scientific Journal of Agriculture 33: 97-107.
14- Mostaan, A., S. Minaei, T. Tavakoli Hashjin and M. Sheikh Davoodi. 2011. Physical properties and detachment force of date palm male flowers. Iranian Journal of Biosystems Engineering 42: 79-86.
15- Valinejad, A. 2000. Design and Manufacturing Tables and Standards. Tarah Publication. Tehran, Iran.
16- Wagstaff, C., U. Chanasut, F. J. Harren, L.-J. Laarhoven, B. Thomas, H. J. Rogers and A. D. Stead. 2005. Ethylene and flower longevity in Alstroemeria: relationship between tepal senescence, abscission and ethylene biosynthesis. Journal of Experimental Botany 56: 1007-1016.
17- Webster, A. D. and J. E. Spencer. 2000. Fruit thinning; plums and apricots. Plant Growth Regulation 31: 101-112.

Design, Development and Evaluation of a Date Palm Male Flower Separating Machine

Abstract

Pollen is one of the major items in mechanized pollination of date palm. Prese pollen extraction methods require 7 to 10 days for completion and thus the basic problems related to the quality and quantity of pollen still exist. In this regard, design and development of a flower separation machine as the first phase in the new pollen extraction process based on the separation, drying and extraction of pollen grains contained in individual date palm male flowers is the objective of this research. The machine was designed and developed based on 1.5N as a single flower detachment force at the end of two days after opening the spathe and using of rotating whiplash brus . Test results showed that the machine performs well in separating male flowers of both date palm inflorescences preserved inside and outside the spathe 2 days after separation. The average separation time was 11.7s that results in separation of %100 of the inflorescence flowers. Flower and pollen moisture content of inflorescences preserved outside the spathe were %62.36 and %11.53, respectively. Comparable values for inflorescences preserved inside the spathe were %70.9 and %42.26, respectively Thus, despite similar results in flower separation, using this machine with inflorescences preserved out of the spathe due to lower risk of delayed operation and viability loss and less drying time and energy consumption, is preferred. The unexpected amount of 27.8g of net viable pollen was extracted from each inflorescence. This amount which is similar for both methods of inflorescence preservation is probably the entire pollen of the spathe which is another indication of the suitability of the machine in pollen extraction.

Keywords: pollen extraction, flower separation, pollination, date palm mechanization