

Study of morphological and anatomical traits of female flower and fruit development in pistachio (*Pistacia vera*)

Farkhondeh Rezanejad * and Mahdiyeh Shekari

Department of Biology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Abstract

Pistachio (*Pistacia vera* L.) with high cultivation in Iran has economic and nutrition importance. In this investigation, the morphological and anatomical traits of the female flower, development of endosperm and cotyledons were studied with cyto-histological techniques and light microscopy. In addition, fruit development was studied in different developmental stages. The results showed each of female flowers in panicle floescence has three-lobed stigma, a large pistil that attached to stigma with short style. One small bract is below 5 sepals in all flowers. Anatomical study reported the pistil have one carpel with single inverse ovule at its ovary. The endosperm is free nuclear firstly and then becomes cellular. Finally, this tissue replaces with cotyledons during embryo development. During the fruit development, the structure of the pericarp differentiated as exo-mesocarp and endocarp. Endocarp development continued until 95 days after full bloom (middle of May), and became hard and lignified in this time. The kernel show no obvious growth at this time but its growth increase after this time and completed in 145 DAF (last of July). Finally, fruit ripening continued and was completed at 165 DAF (last of August) concurrent with harvesting time.

Keywords: Endosperm, Pistachio, Pericarp, Days after full bloom

* Corresponding Author: frezanejad@uk.ac.ir

بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی و تشریحی گل ماده و نمو میوه در پسته خوراکی (*Pistacia vera*) رقم احمدآقایی

فرخنده رضائزاد* و مهدیه شکاری

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

چکیده

پسته خوراکی (*Pistacia vera* L.)، با سطح زیر کشت وسیع در ایران، اهمیت اقتصادی و تغذیه‌ای دارد. در پژوهش حاضر، ویژگی‌های ریخت‌شناسی و تشریحی گل ماده، اندوسپرم و لپه‌ها با روش سلول - بافت‌شناسی معمول با میکروسکوپ نوری بررسی شد. به علاوه، نمو میوه در فرایند بلوغ نیز بررسی شد. نتایج نشان داد هر یک از گل‌های ماده در گل آذین خوشه مرکب، دارای کلاله سه‌بخشی، خامه کوتاه، تک‌پایه و مادگی نسبتاً درشت است. براکته‌ای بزرگ و زودافت در پای هر گل آذین ۳-۵ گلی و براکته‌ای کوچک و نسبتاً پایا در قاعده هر گل وجود دارد. گل‌پوش ۳ ساختار کاسبرگ مانند دارد. مادگی، تک‌برچه و تک‌خانه است و یک تخمک واژگون دارد. اندوسپرم، ابتدا هسته‌ای و سپس سلولی می‌شود و در مدت نمو دانه، با لپه‌ها جایگزین می‌شود. بررسی نمو میوه نشان داد که ابتدا رشد دیواره تخمدان آغاز می‌شود و برابر به شکل برون میان‌بر و درون‌بر سازمان می‌یابد و تا ۹۵ روز پس از شکوفایی کامل گل (Days after full bloom, DAF) که معادل با اواسط خرداد است، درون‌بر، سخت و چوبی می‌شود؛ سپس، تا ۱۴۵ DAF (پایان مرداد) روند بزرگ‌شدن مغز دنبال می‌شود و در ۱۶۵ DAF (پایان شهریور) میوه‌ها به طور کامل می‌رسند و آماده برداشت می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: اندوسپرم، پسته، پریکارپ، شکوفایی کامل گل (Days after full bloom, DAF)

مقدمه

P. atlantiica، *P. khinjuk* و *P. vera*، تنها گونه‌های

موجود در ایران هستند. دو نوع اول که به ترتیب به بنه و چاتلانقوش معروف هستند، به‌طور وحشی در ارتفاعات بیش از یک هزار متر از سطح دریا می‌رویند. تنها، گونه سوم (*P. vera*)، اهلی است که از انواع آجیل است و

برپایه بررسی‌های فیلوژنتیکی جدید، سرده *Pistacia* (Anacardiaceae)، ۹ گونه و ۵ زیرگونه دارد که تعدادی از آن‌ها مقادیر متفاوتی از صمغ ترابنتین را تولید می‌کنند (Alsaghir, 2010). سه گونه

* نگارنده مسؤول: نشانی پست الکترونیک: frezanejad@uk.ac.ir، شماره تماس: ۰۳۴۳۳۲۵۷۴۳۲

ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای دارد (Esfandiyari et al., 2012). پسته، درختی دوپایه است و تشخیص درخت نر و ماده از یکدیگر به‌ویژه در اوایل فصل بهار، تنها با گل آن‌ها ممکن است. البته کارشناسان و باغ‌داران باتجربه می‌توانند از روی اندازه درخت، شکل برگ، شکل جوانه و شیوه قرار گرفتن آن‌ها روی شاخه، درخت نر را از ماده تشخیص دهند (Hokmabadi and Javanshah, 2006). گل آذین نر به شکل خوشه‌ای بوده و هر خوشه توده‌ای متشکل از ۲۵۰-۵۰ گل دارد (Parfitt et al., 2010). بررسی گل نر این سرده نشان داده است که همه آن‌ها فاقد گلبرگ هستند و بسته به گونه، تعداد پرچم‌ها ۶-۴، تعداد کاسبرگ‌ها ۳-۲ و براکته‌ها ۳-۱ عدد است (Shyian et al., 2001; Zeng-Fan et al., 2010; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). برخی مطالعات، تعداد کاسبرگ‌ها را در گونه‌های مختلف برابر تعداد پرچم‌ها و حتی تا ۱۰ عدد گزارش کرده‌اند؛ اما هنوز این پژوهشگران در کاسبرگ یا براکته بودن این اندام‌ها شک دارند (Bachelier and Endress, 2007). گل آذین ماده، مانند گل آذین نر به شکل خوشه‌ای است با این تفاوت که قرار گرفتن گل‌ها روی خوشه به شکل منفرد و با فاصله از یکدیگر است (Hormaza and polito, 1996). مطالعات ریخت‌شناسی متفاوتی بر ساختار گل ماده ۶ گونه از سرده *Pistacia* انجام و نتایج متنوعی درباره تعداد پوشش گل، تعداد برچه و تعداد پایه‌های خامه منتشر شده‌اند (Grundwagt, 1976; Bachelier and Endress, 2007; Alhajjar et al., 2015). درحالی که مطالعه ریخت‌شناسی و تشریحی گل ماده گونه *P. vera*، تنها به چند پژوهش منحصر می‌شود (Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014).

گرچه برخی از این پژوهش‌ها اشاره‌ای به حضور براکته در ساختار گل نکرده‌اند (Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). Shuraki and Sedgley (1997) حضور یک براکته بزرگ و Shiyani (1997) حضور یک براکته کوچک را اعلام کردند. همکاران (۲۰۰۲) دو براکته کوچک را اعلام کردند. همه این پژوهش‌ها وجود مادگی تک‌خانه با یک خامه کوتاه منفرد و کلاله سه‌شاخه را گزارش کرده‌اند. تنها یکی از پژوهش‌ها، ساختار گل پوش را بررسی و تعداد آن را ۸-۵ عدد گزارش کرده است (Shuraki and Sedgley, 1997). مطالعات سلول - بافت‌شناسی تخمک و جنین‌زایی در گونه *P. vera* و گونه‌های *P. saporta*, *P. palaestina*, *P. lentisc* و *P. atlantica* که همگی متعلق به سرده *Pistacia* هستند و نیز جنس *Amphipterygium* (مطالعات جدید، آن را در زیرخانواده *Anacardiaceae* قرار داده است) به اتفاق، وجود تخمک واژگون (نشانه تیپ رویان‌زایی علف هفت‌بند (*Polygonum*)) را اعلام کرده‌اند (Grundwagt, 1976; Shuraki and Sedgley, 1994; Shuraki and Sedgley, 1997; Shiyani et al., 2001; Bachelier and Endress, 2007; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). در همه ارقام پسته، گل‌های نر زودتر از گل‌های ماده همان رقم به مرحله شکوفایی می‌رسند و گرده آزاد می‌کنند. دوره پذیرا بودن گرده با گل‌های ماده ۳ روز است و در این مدت کلاله، سبز رنگ و ترشحات آن زیاد است. گل‌دهی ارقام مختلف پسته متفاوت است و علاوه بر رقم به عوامل محیطی مثل دما، رطوبت و نیاز سرمایی بستگی دارد (Hokmabadi and Javanshah, 2006). Shuraki and Sedgley (1994) رقم احمدآقایی و

ارزش اقتصادی و تغذیه‌ای دارد (Esfandiyari et al., 2012). پسته، درختی دوپایه است و تشخیص درخت نر و ماده از یکدیگر به‌ویژه در اوایل فصل بهار، تنها با گل آن‌ها ممکن است. البته کارشناسان و باغ‌داران باتجربه می‌توانند از روی اندازه درخت، شکل برگ، شکل جوانه و شیوه قرار گرفتن آن‌ها روی شاخه، درخت نر را از ماده تشخیص دهند (Hokmabadi and Javanshah, 2006). گل آذین نر به شکل خوشه‌ای بوده و هر خوشه توده‌ای متشکل از ۲۵۰-۵۰ گل دارد (Parfitt et al., 2010). بررسی گل نر این سرده نشان داده است که همه آن‌ها فاقد گلبرگ هستند و بسته به گونه، تعداد پرچم‌ها ۶-۴، تعداد کاسبرگ‌ها ۳-۲ و براکته‌ها ۳-۱ عدد است (Shyian et al., 2001; Zeng-Fan et al., 2010; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). برخی مطالعات، تعداد کاسبرگ‌ها را در گونه‌های مختلف برابر تعداد پرچم‌ها و حتی تا ۱۰ عدد گزارش کرده‌اند؛ اما هنوز این پژوهشگران در کاسبرگ یا براکته بودن این اندام‌ها شک دارند (Bachelier and Endress, 2007). گل آذین ماده، مانند گل آذین نر به شکل خوشه‌ای است با این تفاوت که قرار گرفتن گل‌ها روی خوشه به شکل منفرد و با فاصله از یکدیگر است (Hormaza and polito, 1996). مطالعات ریخت‌شناسی متفاوتی بر ساختار گل ماده ۶ گونه از سرده *Pistacia* انجام و نتایج متنوعی درباره تعداد پوشش گل، تعداد برچه و تعداد پایه‌های خامه منتشر شده‌اند (Grundwagt, 1976; Bachelier and Endress, 2007; Alhajjar et al., 2015). درحالی که مطالعه ریخت‌شناسی و تشریحی گل ماده گونه *P. vera*، تنها به چند پژوهش منحصر می‌شود (Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014).

رویانی هم داشته است. بنابراین هدف پژوهش حاضر، مطالعه گل ماده و نمو میوه آن، در رقم احمد آقایی (یکی از رقم‌های اهلی، متداول، متوسط گل با احتمال سرمازدگی کمتر و در نتیجه سال آوری فراوان) است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، برای بررسی ساختاری و تشریحی گل ماده، از رقم احمد آقایی که رقمی متوسط گل است (دوره گل‌دهی ۲۵-۱۳ فروردین) استفاده شد. نمونه‌های مربوط به دوره‌های مختلف بلوغ گل از درختان ۱۶ ساله ایستگاه موسسه تحقیقات پسته رفسنجان برداشت و در محلول FAA (اتانول ۷۰٪، استیک اسید و فرمالدهید به ترتیب به نسبت ۹۰:۵:۵) تثبیت شدند و پس از آب‌گیری (Dehydration) در مقادیر روبه‌افزایش الکل، برای تهیه بلوک‌های پارافینی در مخلوط‌های روبه‌افزایش الکل - تولوئن، تولوئن - پارافین و پارافین خالص قرار داده شدند. سپس نمونه‌های قالب‌گیری شده، با میکروتوم چرخان برش‌گیری شدند. برای رنگ‌آمیزی، ابتدا لام‌ها با تولوئن پارافین زدایی شدند. سپس آب‌دهی (Hydration) نمونه‌ها با سری الکی روبه‌کاهش و نهایتاً آب مقطر انجام شد. نمونه‌های به‌دست آمده، با هماتوکسیلین و ائوزین رنگ‌آمیزی شدند. این نمونه‌ها ابتدا در سری الکی افزایشی، آب‌گیری و در تولوئن شفاف‌سازی شدند. پس از بررسی برش‌ها با میکروسکوپ نوری اولمپیوس، نمونه‌های مناسب عکس‌برداری شدند (Rezanejad, 2007). برای بررسی نمو میوه، روند نمونه‌برداری ادامه پیدا کرد؛ به‌طوری‌که نمونه‌برداری، به‌ویژه از زمانی که بنیان اولیه لپه‌ها ظاهر

اوحدی جزء ارقام متوسط گل هستند که بر اثر بارندگی و سرمازدگی، خسارت کمتری نسبت به ارقام زودگل (کله‌قوچی) می‌بیند و از سوی دیگر، نسبت به ارقام دیرگل (اکبری)، تراکم گرده بیشتری در زمان گل‌دهی دارند (Esmailpour, 2005). گل‌های گرده‌افشانی‌نشده، در مدت ۳-۴ هفته پس از شکوفایی کامل گل، می‌ریزند. درصد گل‌هایی که به میوه تبدیل می‌شوند از سالی به سال دیگر فرق می‌کند و در حدود ۱۵٪ است (Shuraki and sedgley, 1996; Vito and Pinney, 1999). بررسی‌های اندک نمو میوه، نشان می‌دهد، نمو میوه و مغز هم‌زمان نیست. ابتدا دیواره تخمدان رشد می‌کند و پس از رسیدن به اندازه نهایی میوه، رشد جنین در قسمت درونی ادامه پیدا کرده به‌مرور ذخیره دانه کامل شده و مرحله رسیدگی کامل می‌شود (Shuraki and sedgley, 1996; Vito, 1999). بررسی‌های ساختاری و تشریحی گل در گیاه‌شناسی ارزشمند بوده و ابزار مناسبی برای شناسایی و طبقه‌بندی گیاهان است. از سوی دیگر، باتوجه به تفاوت‌های زمانی، که در بررسی‌های قبلی بلوغ ارقام مختلف پسته گزارش داده شده‌اند، درک کامل مراحل تکامل گل و نمو میوه، در عملیات باغداری محلی اهمیت فراوان دارد. این موضوع همچنین از نظر برخی برنامه‌های اصلاحی نیز شایان توجه است. پژوهش‌های گذشته، یا بر ارقام پسته چین (Shiyan et al., 2001; Xu-Xin et al., 2011) و پسته رقم کرمان بومی کشور استرالیا انجام شده‌اند (Shuraki and sedgley, 1997) یا مانند مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۱۴) بر رقم کله‌قوچی (از ارقام زودگل با سال آوری اندک) با هدف بررسی پوکی انجام شده و اشاره‌ای به چگونگی نمو کیسه

منتهی می‌شود. رشته دراز و نازکی که نسبت به بقیه اجزاء، حجیم و رشد یافته است، بند (F) نامیده می‌شود و تخمک را به جفت متصل می‌کند. بند، یک دسته آوند چوب آبکش دارد که در بافت خورش دیده نمی‌شود. بن (Ch)، ناحیه‌ای است که در محل آن پوشش درونی خورش جدا می‌شود (شکل ۱-۱-D). شکل ۱-۱-E برش طولی بافت خورش و کیسه رویانی (Es) را نشان می‌دهد که در آن، تنها هسته‌های قطبی (ثانویه) (Pn) دیده می‌شوند.

در بزرگ‌نمایی زیاد، در دیواره تخمدان، کیسه‌های ترشحی دیده می‌شوند که از نوع شیزولیزین هستند (شکل ۱-۱-F). کلاله سطح ناصاف با پرآمدگی (کرک)‌های تک سلولی یا چندسلولی به نام پایپلا دارد. معمولاً بین این پایپلاهای سطح کلاله در زمان بلوغ گل، ترشحات کلاله‌ای دیده می‌شوند (شکل ۱-۱-G). اندوسپرم، ابتدا به شکل هسته‌ای (Ne) تشکیل می‌شود و ضمن این که اندوسپرم هسته‌ای اولیه، از اطراف، سلولی شدن (Ce) را آغاز می‌کند، حجم خورش کاهش می‌یابد و باقیمانده خورش (P) به شکل لایه‌ای نازک در اطراف آن باقی می‌ماند (شکل ۲-۱-A-C). همچنین دسته‌های آوندی (Vb) غذا آورنده به تخمک و نیز پوسته‌های تخمک (I) و محل بن (Ch) آشکار هستند. ضمن نمو، رویان لپه‌ها جایگزین اندوسپرم می‌شود و اندوسپرم تجزیه می‌شود (شکل ۲-۱-D).

در شکل (۳) با ادامه روند نمو، رویان و بافت ذخیره‌ای اطراف آن به خوبی مشاهده شدند (شکل ۳-۱-A). برش طولی رویان، محور انتهایی ساقه (SAM)، محور انتهایی ریشه (RAM) و برگ‌های اولیه (PL) را نشان می‌دهد (شکل ۳-۱-B) که در بزرگ‌نمایی بیشتر، در بخش

شد (۹۵ روز پس از شکوفایی کامل گل، زمانی که ۷۰٪ گل‌ها باز شده باشند)، به شکل اسپلیت پلات در قالب بلوک کاملاً تصادفی به فاصله هر ۱۰ تا ۱۷۵ روز پس از شکوفایی کامل گل انجام شد. در هر بار نمونه‌گیری، ۳۵۰ دانه از چهار جهت درخت برداشت شد. برای مطالعه تغییرات ریخت‌شناسی نمونه‌ها، از کولیس‌ورنیه با دقت ۰/۰۱ استفاده و روند تغییرات مربوط به رسیدگی میوه دنبال و عکس‌برداری شد.

نتایج

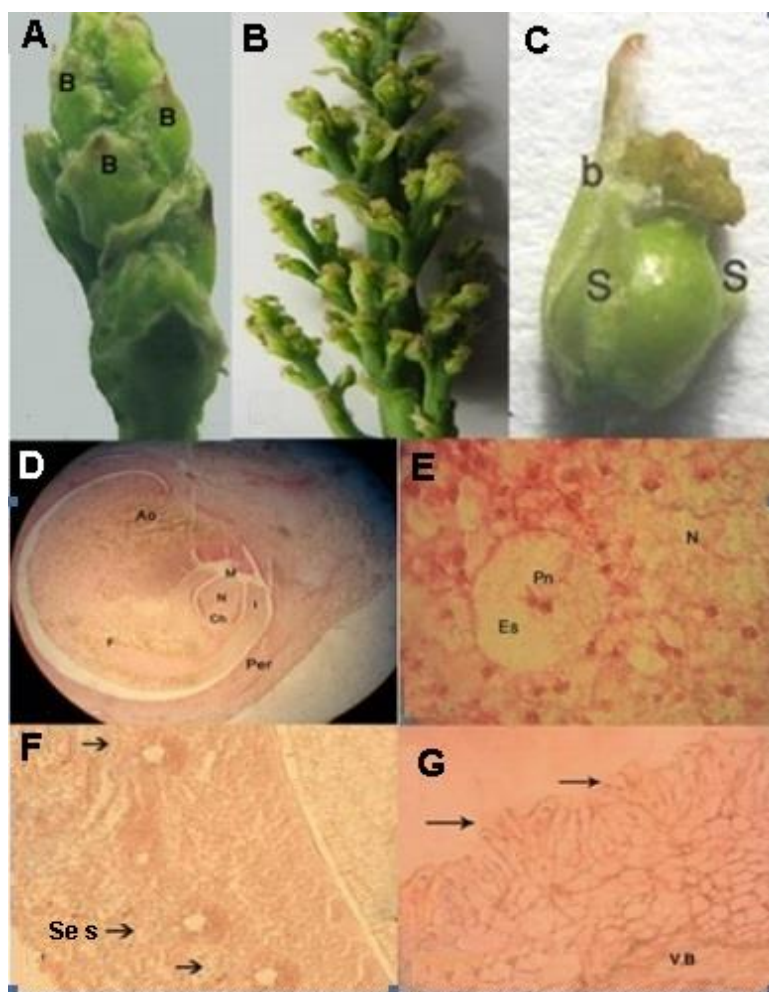
مطالعه ساختار گل و سلول - بافت‌شناسی آن

در مدت نمو: بررسی ریخت‌شناسی گل ماده نشان داد که گل آذین ماده از نوع خوشه‌ای مرکب است (شکل ۱-۱-A و B). بنابراین نخستین گل‌هایی که به وجود می‌آیند در قاعده هستند و رشد به سوی سر دارند (گل آذین نامحدود). شکل ۱-۱-A نشان می‌دهد که هر ۳-۵ گل موجود در این گل آذین، با یک براکته بزرگ (B) پوشیده می‌شوند که در نخستین هفته گرده‌افشانی می‌ریزد. هر گل، کلاله سه‌بخشی، خامه کوتاه، مادگی نسبتاً درشت، ۳ کاسبرگ (S) و یک براکته کوچک (b) متصل به محور دم گل دارای (شکل ۱-۱-C). این براکته‌ها برخلاف براکته بزرگ، دوام دارند و تا مدت چندین هفته پس از گرده‌افشانی باقی می‌مانند.

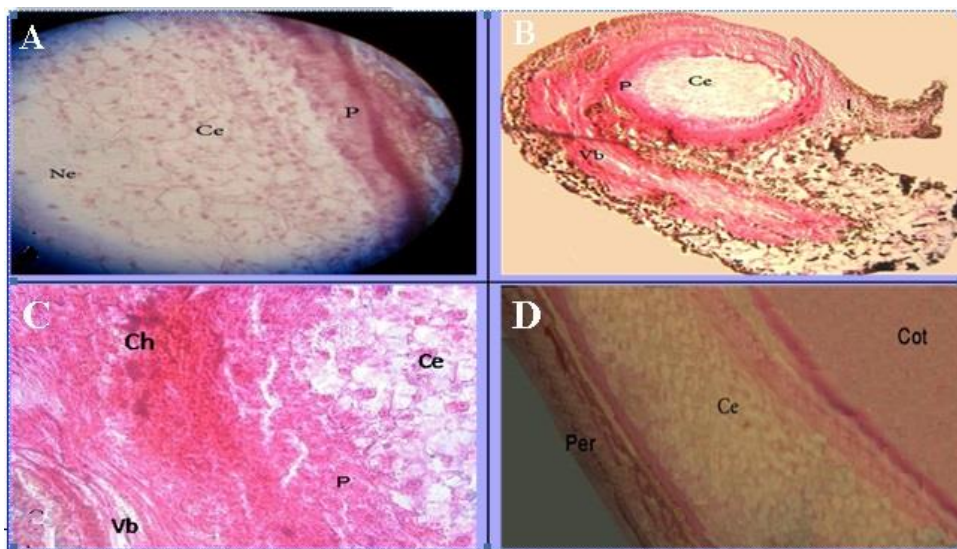
برش طولی غنچه‌ای جوان در شکل (۱)، از بیرون به درون، دیواره تخمدان یا پریکارپ (Per) و تخمک واژگون (Ao) را نشان می‌دهد (شکل ۱-۱-D). تخمک، شامل بخش سلولی حجیم یا خورش (N) است که پوشش تخمک (I) مانند غلافی آن را احاطه کرده است و در انتها به منفذ تنگی به نام سفت (M)

(شکل ۳-D و E). مقایسه شکل ۳-B و E نشان می‌دهد که نخستین برگ‌های دو سوی محور انتهایی ساقه (شکل B) در اتصال با لپه‌ها هستند و با آن‌ها در زیر خاک می‌مانند. کیسه‌های ترشچی (Sc) شیزولیزون نیز در بافت لپه دیده می‌شوند (شکل ۳-F)

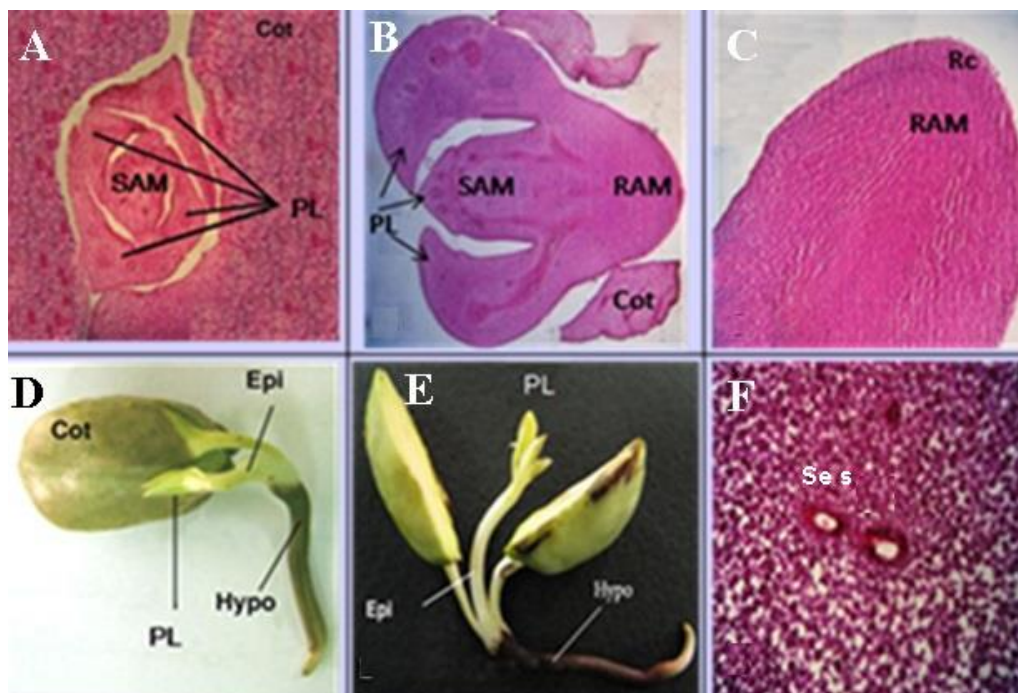
انتهایی آن، کلاهک ریشه (RC) دیده می‌شود (شکل ۳C). پس از تشکیل لپه‌ها، برگ‌های اولیه در رویان تشکیل می‌شوند. این برگ‌ها هنگام جوانه‌زنی، پس از رشد محور زیر لپه (Hypo) و به دنبال آن محور روی لپه (Epi)، رشد کرده از لپه‌ها خارج و رویت‌پذیر می‌شوند



شکل ۱- ساختار گل آذین و گل (A-C) و برش تشریحی بخش‌های مختلف گل پسته (*P. vera*) (D-G). A- براکت پای هر گل آذین ۳ تا ۵ گلی (B). B- افزایش اندازه گل آذین‌ها و افتادن براکت بزرگ C- ساختار یک گل منفرد دارای سه کاسبرگ (S) و یک براکت کوچک (b). D- برش طولی تخمدان، تخمک واژگون (Ao) متشکل از خورش (N)، سفت (M)، شالاز (Ch)، بند رشد یافته و حجیم (F) و دیواره تخمدان (Per). E- کیسه رویانی (Es) حاوی هسته‌های قطبی (Pn). F- برش دیواره تخمدان و کیسه‌های ترشچی (Se s) نوع شیزولیزوژن. G- انشعابات کرک مانند کلاله و ترشحات چسبنده سطح آن با فلش مشخص شده است. بزرگ‌نمایی A، ۴۰x؛ بزرگ‌نمایی B، ۱۰۰x؛ بزرگ‌نمایی C-E، ۴۰۰x.



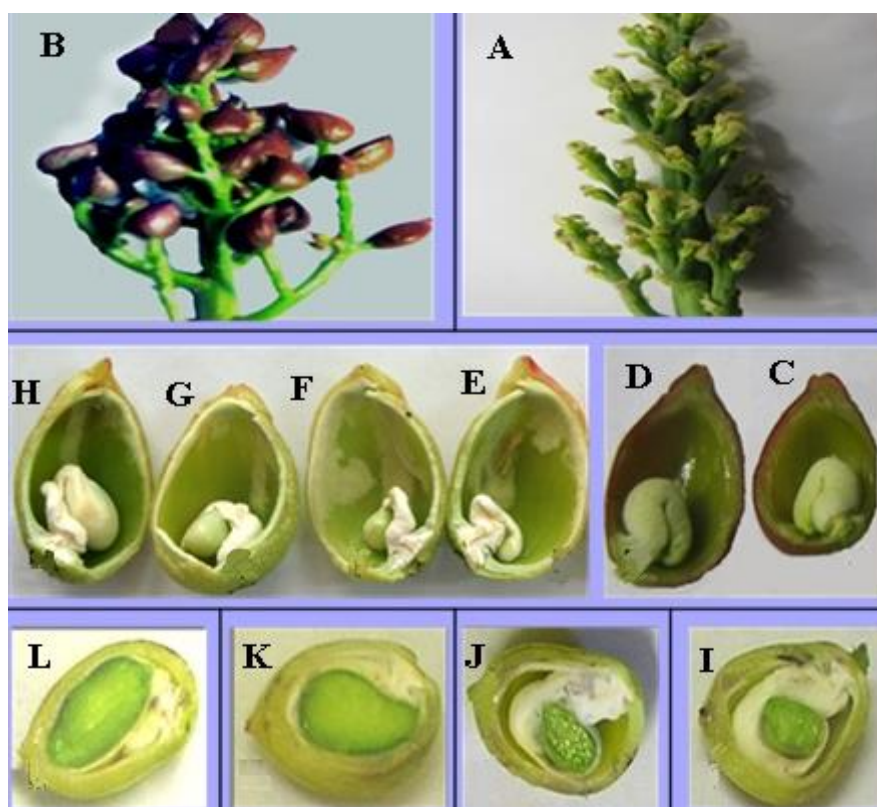
شکل ۲- ساختار تشریحی بافت‌های ذخیره‌ای در پسته خوراکی (*P. vera*). A- تبدیل اندوسپرم هسته‌ای (Ne) به سلولی (Ce)، باقیمانده خورش (P) نیز در اطراف دیده می‌شود. B و C- برش طولی اندوسپرم سلولی (Ce)، باقیمانده خورش (P) و دسته‌های آوندی غذا آورنده (Vb). D- برش طولی بافت‌های ذخیره‌ای، تشکیل لپه (Cot) و جذب تدریجی اندوسپرم سلولی را با لپه و فرابری (Per) اطراف آن‌ها نشان می‌دهد. بزرگ‌نمایی B، ۱۰۰x؛ بزرگ‌نمایی A، C، D، ۴۰۰x.



شکل ۳- ساختار تشریحی رویان و بافت‌های ذخیره‌ای در پسته (*P. vera*). A- برش عرضی رویان، لپه‌ها (Cot)، مریستم انتهایی ساقه (SAM) و برگ‌های اولیه (PL). B- برش طولی جنین با برگ‌های اولیه (PL)، بخش‌هایی از لپه‌ها در اطراف، محور انتهایی ساقه (SAM) و مریستم انتهایی ریشه (RAM). C- مریستم انتهایی ریشه که با کلاهک (Rc) پوشیده شده است. D و E- پسته جوانه‌زده که ابتدا محور زیر لپه (Hypo) و سپس محور روی لپه (Epi)، رشد کرده و برگ‌ها را بالا می‌آورد. F- برش عرضی کیسه‌های ترشحی لپه. بزرگ‌نمایی A، B، C، F، ۱۰۰x؛ بزرگ‌نمایی D و E، ۴۰x.

نمو میوه: مراحل کلی نمو میوه پسته، از مرحله به گل رفتن تا پر شدن کامل میوه با دانه (مغز)، ادامه دارد (شکل ۴-A و L). با صورتی شدن کلاله، گرده افشانی گل‌ها انجام شد. بیشتر گل‌های گرده افشانی نشده، حداکثر تا یک ماه پس از شکوفایی کامل گل، می‌ریزند. پس از گرده افشانی، با حجیم شدن تخمدان، کلاله و خامه از بین رفتند. رشد تخمدان و تخمک بارور درون آن، ادامه پیدا کرد. در مراحل اولیه نمو، رشد بند تخمک در خورتوجه است. دیواره تخمدان، فراب (برون میان‌بر و درون‌بر) را به وجود آورد (شکل ۴-C و D). سرانجام در ۹۵ روز

پس از شکوفایی کامل گل (اواسط خرداد ماه) درون‌بر سخت و چوبی شد. با وجود رشد زیاد بند، رشد در خورتوجهی در مغز مشاهده نشد (شکل ۴-E). رشد مغز تا ۱۴۵ روز پس از شکوفایی کامل گل (پایان مرداد) ادامه یافت و در این مرحله تکمیل شد (شکل ۴-K و L) و پس از این زمان، رسیدگی میوه آغاز شد و تا ۱۶۵ روز پس از شکوفایی کامل گل (پایان شهریور) میوه‌ها به‌طور کامل رسیدند. در این زمان، بیشتر پسته‌ها خندان شدند، پوست رویی ضمن نرم شدن، تغییر رنگ داد و به راحتی از پوست استخوانی جدا شد (شکل ۵-A و B).



شکل ۴- مراحل مختلف نمو میوه پسته (*P. vera*). A- گل‌های موجود در گل‌آذین خوشه‌ای مرکب. B- رشد تخمدان و تشکیل میوه‌ها. C و D- حجیم شدن فراب و رشد شایان توجه بند. E- سخت شدن و چوبی شدن درون‌بر. F-L- رشد تدریجی مغز و پر شدن فراب. بزرگ‌نمایی ۴۰x.



شکل ۵- تغییر ظاهری میوه در مدت رسیدگی. A و B به ترتیب میوه‌های نارس و رسیده.

اندازه‌گیری تغییر اندازه دانه (مغز) در دوره رسیدگی نشان داد که پس از گذشت ۱۴۵ روز از شکوفایی کامل گل، اندازه آن به بیشینه رسید و پس از آن تغییری مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- تغییر اندازه میوه بر حسب میلی‌متر در روزهای مختلف پس از شکوفایی کامل گل (DAF)

روزها (DAF)	۹۵	۱۰۵	۱۱۵	۱۲۵	۱۳۵	۱۴۵	۱۷۵-۱۵۵
اندازه میوه (میلی‌متر)	۸±۲	۱۱±۲	۱۵±۲	۱۸±۲	۱۹±۲	۲۰±۲	۲±۲۰

گل‌پوش شامل ۵-۲ اندام کاسبرگ مانند است. گونه *P. palaestina*، با داشتن مادگی و خامه مشابه گونه قبلی، ۹-۶ گل‌پوش دارد. همچنین در *P. lentiscs* و *P. saporta* که هر دو، خامه تک پایه کوتاه دارند، پوشش گل به ترتیب برابر ۵-۳ و ۶-۴ عدد است. مادگی، سه برچه‌ای و سه‌خانه است که در هر خانه یک تخمک وجود دارد. مطالعات محدودی که بر ریخت‌شناسی گل ماده گونه *P. vera* انجام شده است نتایج متنوعی گزارش کرده‌اند. Shuraki و Sedgley (۱۹۹۷) با مطالعه بر رقم کرمان بومی استرالیا، نشان دادند که در کنار گل‌آذین خوشه‌ای، یک براکت بزرگ حضور دارد که در پشت آن ۳ تا ۵ گل قرار گرفته است و بیش از دو گل آن عقیم و کوچک هستند. Shiyani و همکاران (۲۰۰۱)، حضور یک براکت بزرگ را کنار هر گل‌آذین و نیز دو براکت کوچک را کنار هر گل گزارش کردند. به گل‌پوش‌ها کمتر توجه

بحث

ساختار گل: درحالی که در برخی گونه‌های سرده *Pistacia* حضور گل‌های همافروdit گزارش شده است (Isfendiyaroglu and Ozeker, 2009; Alhajjar et al., 2015)، در بیشتر گونه‌های این سرده از جمله پسته خوراکی، گل‌ها مشابه نتایج فعلی به شکل تک جنس در گل‌آذین منفرد قرار دارند (Grundwagt, 1976; Shuraki and Sedgley, 1997; Shiyani et al., 2001; Bachelier and Endress, 2007; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). مطالعه Grundwagt (۱۹۷۶) بر چند گونه از جنس *Pistacia* L. ساختار کلاله سه‌بخشی را گزارش کرده است که یک بخش آن در مقایسه با سایر بخش‌ها بزرگ‌تر شده است. مطالعات او بر گونه‌های این جنس به این شرح است: *P. atlantica*، مادگی سه‌برچه‌ای دارد که دو برچه در مدت نمو تحلیل می‌روند. خامه، سه پایه است که در قاعده به هم اتصال پیدا می‌کنند و

Pistacia، تیپ نمو علف هفت بند (*Polygonum*) را نشان می‌دهد (Shuraki and Grundwagt, 1976; Sedgley, 1994; Shuraki and Sedgley, 1997; Shiyan et al., 2001; Bachelier and Endress, 2007; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014). این روند نمو درباره پسته خوراکی به این شکل است که یک هفته پس از گرده‌افشانی، اندوسپرم هسته‌ای، آزاد و پیش‌رویانه تشکیل می‌شود. ۸ هفته پس از گرده‌افشانی، هم‌زمان با تقسیمات وسیع رویانه، اندوسپرم هسته‌ای نیز تقسیمات خود را آغاز می‌کند و اندوسپرم سلولی را به وجود می‌آورد (Shuraki and Sedgley, 1996; Hosseyni et al., 2014). برش رویانه کامل، وجود مریستم انتهایی ریشه، مریستم انتهایی ساقه، لپه‌ها و نیز برگ‌های اولیه را نشان داد. با مطالعه جوانه‌زنی دانه، موقعیت برگ‌های اولیه اطراف مریستم رأسی ساقه مشخص شد. همچنین در جوانه‌زنی پسته، ابتدا محور زیر لپه، رشد و ریشه را خارج می‌کند و پس از آن محور روی لپه با رشد خود مریستم رأسی و برگ‌ها را به سمت بالا می‌آورد. لپه‌ها و دو برگ اول دو سوی محور انتهایی ساقه که در اتصال با لپه‌ها و در زیر خاک باقی می‌مانند، در مراحل اولیه، تغذیه رویانه را بر عهده دارند و سپس برگ‌های فتوسنتزکننده، این عمل را انجام می‌دهند. در لپه که بافت ذخیره‌ای دانه به شمار می‌رود، کیسه‌های ترشحی دیده می‌شوند. این کیسه‌ها در خانواده سماق یا پسته ممکن است حاوی مواد ذخیره‌ای و اولئوزین باشند (Behboodi, 2006). در دیواره تخمدان نیز کیسه‌های شیزولیزوژن وجود دارند. درون این کیسه‌ها صمغ یا تانن قرار دارند و با تبدیل جدار تخمدان به جدار میوه، همین کیسه‌ها با

شده است؛ اما تعداد آن‌ها ۸-۵ عدد با اندازه‌های مختلف گزارش شده است (Shuraki and Sedgley, 1997).

همه مطالعات ریخت‌شناسی گل ماده پسته خوراکی هم‌راستا با پژوهش کنونی، یک خامه منفرد کوتاه و کلاله سه‌لوبی را گزارش کرده‌اند (Shuraki and Sedgley, 1997; Shiyan et al., 2001; Xu-Xin et al., 2011). از آنجا که تلقیح گل‌های ماده سرده *Pistacia* با باد انجام می‌شود، حضور این کلاله سه شاخه‌ای با سطح منشعب و برآمدگی‌های تک سلولی یا چندسلولی که در شیارهای بین آن‌ها عصاره مغذی و هورمونی تجمع یافته است، بستر مناسبی برای چسبیدن گرده به سطح کلاله و رشد و نمو لوله گرده فراهم می‌کنند (Grundwagt, 1976; Shuraki and Sedgley, 1994; Shuraki and Mirzai, 2006; Bachelier and Endress, 2007). گرچه برخی گونه‌های سرده *Pistacia*، تخمدان سه‌برچه را نشان داده‌اند (Grundwagt, 1976)، در بررسی ساختار تشریحی گل، مطالعه اغلب گونه‌های جنس *Pistacia* L. (Grundwagt, 1976; Shuraki and Sedgley, 1997; Shiyan et al., 2001; Xu-Xin et al., 2011; Hosseyni et al., 2014) و حتی جنس *Amphipterygium* که در گذشته در خانواده *Julianiaceae* طبقه‌بندی شده بود اما مطالعات جدیدتر، آن را در زیر خانواده *Anacardiaceae* قرار داده است (Bachelier and Endress, 2007). هم‌راستا با نتایج حاضر، وجود تخمدان تک‌خانه، با یک تخمک واژگون در این جنس و زیر خانواده، گزارش شده است. محققان مختلف گزارش کرده‌اند با وجود اختلافات ریخت‌شناسی، نمو کیسه رویانی در سرده

می‌کنند. در این گیاهان، اندوسپرم جایگاه سنتز و ذخیره‌سازی مواد متابولیکی است و به‌طور معمول صرف تشکیل لپه‌ها می‌شود (Muntz, 1996). در پسته نیز با رشد لپه‌ها از حجم اندوسپرم که ابتدا هسته‌ای و سپس سلولی بود، کاسته می‌شود و لپه‌ها حجم بیشتر حفره تخمدان (میوه) را تشکیل می‌دهند. تشکیل لپه‌ها در دو مرحله انجام می‌شود که شامل تقسیم سلولی سریع و بزرگ شدن سلول‌ها است (Stoynova et al., 2004). در زمان تقسیم سلولی، اکسین درون‌زاد (اندوژن) و جیبرلین درگیر هستند و نشاسته و سایر مواد ذخیره‌ای، در مرحله دوم سنتز می‌شوند (Shuraki and sedgley, 1996).

مرحله سوم در رشد میوه‌های دارای منحنی رشد سیگموئیدی، مانند پسته، رسیدگی است. پدیده رسیدگی اشاره به تجمع رنگیزه‌ها و تغییر ترکیب دیواره سلولی دارد و به نرم شدن میوه منجر می‌شود. در این زمان، پوست سخت درونی شکافته می‌شود و به اصطلاح پسته، خندان می‌شود (Fergosen, 2001). نرم شدن میوه با افزایش مقدار پکتین و پلی‌ساکارید محلول همراه است (Giovannoni, 2001). آنزیم‌هایی مانند سلولاز و پلی‌گالاکتوروناز در رسیدگی میوه درگیر هستند (Zainon et al., 2004). این آنزیم‌ها به‌طور ژنتیکی کنترل می‌شوند و با رسیدگی، الگوی بیان ژن آن‌ها تغییر می‌کند (Stoynova et al., 2004). علاوه بر آنزیم‌ها، هورمون‌ها نیز در رسیدگی نقش دارند. در میوه‌های کلیماتریک در مدت رسیدگی، آبسزیک اسید و اتیلن درون‌زاد (اندوژن) افزایش پیدا می‌کنند (Alka et al., 2005 and Ullah Malik, 2005). با وجودی که پسته از میوه‌های کلیماتریک نیست؛ اما

ترشحات خود به پوست رویی، حالت چسبندگی و مزه گس مانند می‌دهند.

نمو میوه: این پژوهش نشان داد که نمو میوه و مغز (دانه) هم‌زمان و با یک سرعت مشابه انجام نمی‌شود؛ ابتدا فرابر (برون میان‌بر و درون‌بر) حجیم می‌شود و در مدت ۹۵ روز پس از شکوفایی کامل گل (اواسط خرداد) درون‌بر، سخت و چوبی و بند تخمک به‌خوبی متمایز می‌شود؛ بزرگ شدن لپه‌ها آغاز می‌شود و سرانجام در مدت ۱۴۵ روز پس از شکوفایی کامل گل که برابر پایان مرداد ماه است، دانه به بیشینه اندازه خود می‌رسد (۲۰±۲) و لپه‌ها بیشتر حجم خالی فرابر را پر می‌کنند. از این زمان تا ۱۶۵ روز پس از شکوفایی کامل گل، مرحله رسیدگی میوه است (پایان شهریور) و علائم رسیدگی یعنی نرم شدن و شکاف خوردن پوسته‌ها آشکار می‌شود درحالی‌که اندازه میوه و مغز تغییری نمی‌کند. به‌علت اینکه در بیشتر گیاهان، رشد تخمدان و تخمک هم‌زمان انجام می‌شود، برخی محققان رشد ناهم‌زمان این دو بخش یعنی رشد غیر عادی را در این گیاه گزارش کرده‌اند (Hormaza and Herrero, 1999; Vito, 1999; Shuraki and sedgley, 1996). این پژوهشگران زمان حجیم شدن فرابر و چوبی شدن آن را تا ۱۶ هفته پس از گرده‌افشانی گزارش کرده‌اند که این اختلاف ممکن است مربوط به زمان گرده‌افشانی متفاوت رقم بررسی شده یا تغییر شرایط زیست‌محیطی منطقه بررسی شده باشد. این روند غیرعادی رشد در بقیه گونه‌های سرده *Pistacia* نیز گزارش شده است (Shuraki and Mirzai, 2006; Bachelier and Endress, 2007). در دولپه‌ای‌ها پوست دانه و بافت اندوسپرم با سرعت بیشتری نسبت به جنین رشد

که صفاتی چون تعداد اجزاء گل‌پوش، ساختار خامه و تعداد برچه‌های مادگی در گونه‌های مختلف سرده *Pistacia* متنوع است. در حالی که صفات تشریحی مربوط به نمو کیسه رویانی و رشد جنین در این گونه‌ها شباهت‌های بسیاری دارند. بررسی نمو میوه و روند افزایش مغز آن در دوره‌های مختلف بلوغ و مقایسه نتایج آن با مطالعاتی که در ارقام و زیستگاه‌های دیگر انجام شده، بیانگر شباهت روند کلی بلوغ است؛ اما زمان‌بندی آن تفاوت‌های محسوس را نشان می‌دهد. از این نتایج می‌توان در برنامه‌های باغداری محلی استفاده کرد و باتوجه به مرحله تکوینی که گل و میوه در آن قرار دارد، بهترین زمان را برای گرده‌افشانی مصنوعی، سم‌پاشی، محلول‌پاشی و کوددهی انتخاب و اعمال کرد.

مطالعات Labavitch و همکاران (۱۹۸۲) نشان می‌دهند که میزان اتیلن در مدت بلوغ افزایش می‌یابد. اتیلن سنتز آنزیم سلولاز را تسریع می‌کند و رهایی این آنزیم، دیواره یاخته را از بین می‌برد. در پدیده رسیدگی، پوست رویی ضمن نرم شدن، تغییر رنگ نیز می‌دهد. پوست رویی، پوست استخوانی شکاف خورده را در بر گرفته و تا زمان برداشت در تماس با آن باقی می‌ماند و به شکل یک محافظ برای مغز عمل می‌کند. مطالعات Shuraki و Sedgley (۱۹۹۶) و همچنین Vito و Pinney (۱۹۹۹) بر خندانی پسته نشان داد که نخستین شکافتگی درون‌بر در زمان رسیدگی، معمولاً هنگامی است که اندازه مغز به اندازه نهایی خود رسیده باشد، این شکافتگی، بیشتر به شکل طولی و در محل لبه‌ها انجام می‌شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از همه افراد مشارکت‌کننده در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند.

نتیجه‌گیری

بررسی‌های ریخت‌شناسی انجام شده در پژوهش حاضر و مقایسه آن‌ها با تحقیقات مشابه نشان می‌دهد

منابع

- Alka, S. and Avtar, K. H. (2005) Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation* 24: 67-82.
- Al Saghir, M. G. (2010) Phylogenetic analysis of *Pistacia* L. (Anacardiaceae) based on morphological data. *Asian Journal of Plant Sciences* 9: 28-35.
- Bachelier, J. B. and Endress, P. K. (2007) Development of inflorescences, upules, and flowers in *Amphipterygium* and comparison with *Pistacia* (Anacardiaceae). *Journal of plant Science* 168: 1237- 1253.
- Behboodi, B. Sh. (2006) Histochemical and biochemical study of lipids and proteins of pistachio endosperm using light and electron microscopes. *Acta Horticulture* 726: 559-561.
- Esfandiyari, B., Davarynejad, G. H., Shahriari, F., Kiani, M. and Mathe, A. (2012) Data to the sex determination in *Pistacia* species using molecular markers. *Euphytica* 185(2): 227-231.
- Esmailpour, A. (2005) Characteristics and properties of some important variety of Iranian pistachio. *Pistachio Research Institute of Iran, Rafsanjan* (in Persian).

- Fergosen, L. (2001) Cultivation and production of pistachio. Ayandegan Publish, Tehran. (in Persian).
- Giovannoni, J. (2001) Molecular biology of fruit maturation and ripening. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 52: 725-749.
- Grundwagt, M. (1976) Embryology and fruit development in four species of *Pistacia* L. (Anacardiaceae). Botanical Journal of the Linnean Society 73: 355-370.
- Hokmabadi, H. and Javanshah, A. (2006) Providing of chilling requirement and its importance in pistachio. Pistachio Research Institute of Iran, Rafsanjan (in Persian).
- Hormaza, J. I. and Herrero, M. (1998) Pollen effects on nuts and seed characteristics in pistachio (*P. vera* L.). Annals of Applied Biology 132: 357-364.
- Hormaza, J. I. and Polito, V. S. (1996) Pistillate and staminate flower development in dioecious *Pistacia vera* (Anacardiaceae). American Journal of Botany 83: 759-766.
- Hosseyni, N., Rezanejad, F. and Mohammadinejad, G. (2014) Study of some abnormalities of ovule development to seed in *Pistacia vera* L. Iranian Journal of Plant Biology 20: 29-46 (in Persian).
- Hosseyni, N., Zamani Bahramabadi, E. and Rezanejad, F. (2015) Study of morphological and anatomical traits of male flower, developmental stages of anther and pollen grain of pistachio (*Pistacia vera* L.). Journal of Plant Researches 28(1): 116-125 (in Persian).
- Ispendiyaroglu, M. and Ozeker, E. (2009) Inflorescence features of a new exceptional monoecious *Pistacia atlantica* Desf. (Anacardiaceae) population in the barbaros plain of Izmir/Turkey. Journal of Plant Production 3: 93-97.
- Labavitch, J. M., Heintz, C. M., Rae, H. L. and Kader, A. A. (1982) Physiological and compositional changes associated with maturation of Kerman pistachio nuts. Horticulture Science 107: 688-692.
- Motaeb Alhajjar, N., Mohammed Muzher, B. and Hamed, F. (2015) The effect of pollen grains of *Pistacia vera* and *Pistacia atlantica* (unisexual and hermaphrodite) on quality parameters of Ashoury and Batoury pistachio cultivars. Jordan Journal of Agricultural Sciences 11: 15-25.
- Muntz, K. (1996) Proteases and proteolytic cleavage of storage proteins in developing and germinating dicotyledonous seeds. Journal of Experimental Botany 47: 605-622.
- Parfitt, D. E., Kallsen, C. E., Holtz, B. and Maranto, J. (2010) 'Randy' Male Pistachio, Horticulture Science 45(7): 1113-1115.
- Rezanejad, F. (2007) The effect of air pollution on microsporogenesis, pollen development and soluble pollen proteins in *Spartium junceum* L. (Fabaceae). Turkish Journal of Botany 31: 183-191.
- Shiyan, X., Jain, L. and Mijiti, A. (2001) A review on reproducing biology on *Pistacia vera* L. Acta Horticulturae Sinica 28: 609-616.
- Shuraki, Y. D. and Sedgley, M. (1994) Effect of pistil age and pollen parent on pollen tube growth and fruit production of pistachio fruit. Journal of Horticultural Science 69: 1019-1027.
- Shuraki, Y. D. and Sedgley, M. (1996) Fruit development of *Pistacia vera* (Anacardiaceae) in relation to embryo abortion and abnormalities at maturity. Australian Journal of Botany 44: 35-45.
- Shuraki, Y. D. and Sedgley, M. (1997) Pollen tube pathway and stimulation of embryo sac development in *Pistacia vera* (Anacardiaceae). Annals of Botany 79: 361-369.
- Shuraki, D. Y. and Mirzai Nadoshan, H. (2006) Check out some problems blankness *Pistacia atlantica* subsp mutica. Journal of Research and Development 72: 58-69 (in Persian).
- Singh, Z. and Ullah Malik, A. (2005) Fruit drop in mango. Horticultural Reviews 31: 149-160.

- Stoyanova, E., Karanov, E., Petrov, P. and Hall, M. A. (2004) Cell division and cell expansion in cotyledons of *Arabidopsis* seedlings. *New phytologist* 162: 471–479.
- Vito, S. (1999) Seedlessness and Parthenocarpy in *Pistacia vera* L. (Anacardiaceae): temporal changes in patterns of vascular transport to ovules. *Annals of Botany* 83: 363-368.
- Vito, S. and Pinney, K. (1999) Endocarp dehiscence in pistachio (*Pistacia vera* L.). *Journal of Plant Science* 160: 827-835.
- Xu-Xin, L., Zhi-Ying, B., Bing-She, L., Man, P., Jie, W., Xian-Bin, F. and Qian, D. (2011) Megasporogenesis, microsporogenesis and development of gametophytes of *Pistacia vera*. *Acta Horticulture Sinica* 38: 1447-1454.
- Zainon Mohd, A., Lieng-Hong, Ch. and Hamid, L. (2004) A comparative study on wall degrading enzymes, pectin modifications and softening during ripening of selected tropical fruits. *Plant Science* 167: 317-327.
- Zeng-Fang, Q., Bao-Guo, L., Ya-Hong, G., YingChao, L., Fang-Ging, Z. and Kun, Q. (2010) Megasporogenesis, microsporogenesis and development of female and male gametophyte of *Pistacia chinensis* Bunge. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 7: 1475-1480.