سنجش و ارزیابی میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته

مهدی محمدی مقدم[1*]، امیر حسین محمدی[2]، احمد شاکر اردکانی[3]، علیرضا برجسته[4]

تاریخ ارسال: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

چکیده

مغز پسته دارای ترکیبات زیستی ارزشمندی است که ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی از مهم‌ترین اجزای آن به شمار می‌روند. تعیین میزان این ترکیبات در ارقام مختلف پسته، به‌منظور ارزیابی کیفیت تغذیه‌ای و ارزش تجاری آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این تحقیق، مقایسه ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته (شاه‌پسند، عباسعلی، کله‌قوچی، خنجری، اکبری و گرمه) می‌باشد. به‌منظور اندازه‌گیری مقدار ترکیبات فنولی کل از روش فولین - سیکالتیو و برای اندازه‌گیری فلاونوئیدهای کل از روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی در پوست سبز پسته به طور معنی‌داری بیشتر از مغز پسته است. همچنین اختلاف معنی‌داری بین میزان ترکیبات فنولیک مغز ارقام مختلف پسته وجود داشت و در رقم‌های مختلف از ۳۹/۲۷ تا ۶۶/۴۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود. میزان فلاونوئیدهای نیز در مغز پسته ارقام مختلف بین ۰/۷۹ تا ۱/۲۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود. ارقام پسته گرمه و اکبری دارای بیشترین مقدار ترکیبات فلاونوئیدی در بین رقم‌های مورد مطالعه بود که این اختلاف در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. همچنین رقم‌های پسته گرمه و شاه‌پسند به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار ترکیبات فنولیک، و رقم پسته گرمه و عباسعلی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار فلاونوئید را در پوست سبز و مغز پسته نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: رقم، پسته، ترکیبات فنولیک، ترکیبات فلاونوئیدی

۱ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان(شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.
۲ پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.
۳ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران.
۴ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان سمنان(شاهرود)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شاهرود، ایران.
* نویسنده مسئول: mm.moghadam52@gmail.com

مقدمه

پسته (*Pistacia vera* L.) یکی از محصولات اقتصادی مهم در کشورهای واقع در مناطق نیمه‌بیابانی و بیابانی نظیر کشورهای خاورمیانه، آسیای مرکزی، حوزه دریای مدیترانه و ایالات متحده آمریکا (عمدتاً در کالیفرنیا) محسوب می‌شود. سالانه حدود یک میلیون تن پسته در سرتاسر جهان برداشت می‌شود که بیشتر آن فقط در پنج کشور آمریکا، ترکیه، ایران، چین و سوریه تولید شده است. در مقابل، پنج کشور آلمان، ایتالیا، هند، اسپانیا و بلژیک بزرگ‌ترین واردکنندگان پسته در جهان هستند. دو کشور آمریکا و ایران، بیشترین میزان صادرات پسته جهان را در اختیار دارند و از نظر مصرف نیز رتبه اول را دارند. پسته یکی از محصولات مهم باغی ایران است. بیش از ۶۰ درصد از صادرات جهانی پسته در دوره‌هایی به ایران اختصاص داشته است. بیشترین سهم تولید پسته در کشور مربوط به ارقام تجاری مهم و پرمحصول، به‌ویژه رقم‌های بومی کرمان است (Nezami &Gallego, 2023).

پسته (*Pistacia vera* L.) یکی از محصولات اقتصادی مهم در کشورهای واقع در مناطق نیمه‌بیابانی و بیابانی نظیر کشورهای خاورمیانه، آسیای مرکزی، حوزه دریای مدیترانه و ایالات متحده آمریکا (عمدتاً در کالیفرنیا) محسوب می‌شود. سالانه حدود یک میلیون تن پسته در سرتاسر جهان برداشت می‌شود که بیشتر آن فقط در پنج کشور آمریکا، ترکیه، ایران، چین و سوریه تولید شده است. در مقابل، پنج کشور آلمان، ایتالیا، هند، اسپانیا و بلژیک بزرگ‌ترین واردکنندگان پسته در جهان هستند. دو کشور آمریکا و ایران، بیشترین میزان صادرات پسته جهان را در اختیار دارند و از نظر مصرف نیز رتبه اول را دارند. پسته یکی از محصولات مهم باغی ایران است. بیش از ۶۰ درصد از صادرات جهانی پسته در دوره‌هایی به ایران اختصاص داشته است. بیشترین سهم تولید پسته در کشور مربوط به ارقام تجاری مهم و پرمحصول، به‌ویژه رقم‌های بومی کرمان است (Nezami & Gallego, 2023).

ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه، از مهم‌ترین ترکیبات زیستی در گیاهان به شمار می‌روند که نقش بارزی در دفاع گیاه و فعالیت آنتی‌اکسیدانی دارند. این ترکیبات، آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی مؤثری هستند که مکانیسم اثر آن‌ها شامل حذف (جاروب کردن) رادیکال‌های آزاد، خاصیت کلات‌کنندگی فلز، توانایی در تنظیم بیان ژن‌ها و همچنین عملکرد کوآنتی‌اکسیدانی است (Neergheen *et al*., 2007).این ترکیبات به علت وجود گروه هیدروکسیلی در ساختار شیمیایی خود، توانایی حذف رادیکال‌های آزاد را دارا می‌باشد (Gulcin *et al*., 2002). ضمناً، ترکیبات فنولیک دارای خصوصیات ضد جهشی، ضد سرطانی و ضد میکروبی می‌باشند (Wojdylo *et al*., 2007).

فلاونوئیدها که زیرگروه بزرگی از ترکیبات فنلی هستند، در تنش‌های محیطی به مقدار بیشتری در گیاه تولید می‌شوند (Myung-Min *et al*., 2009). این ترکیبات با اسکلت ساختمانی اصلی C6-C3-C6 و ایجاد متیلاسیون، گلیکوزیلاسیون و آسیلاسیون گروه‌های متنوع زیادی از جمله چالکون‌ها، فلاوون‌ها، فلاونول‌ها، آنتوسیانین‌ها و.... تولید می‌کنند (Vogt, 2010).

پسته یکی از منابع طبیعی سرشار از ترکیبات فنولیک است. از جمله ترکیبات فنولیک شناخته شده در پسته می‌توان به گالیک اسید، الاجیک اسید، کلروجنیک اسید،کافئیک اسید، تانیک اسید و سالیسیلیک اسید اشاره کرد. این ترکیبات توانایی جلوگیری از رشد بسیاری از قارچ‌ها، از جمله قارچ *Aspergillus flavus* و کاهش تولید آفلاتوکسین B_1 را دارند. مهار سنتز آفلاتوکسین B_1، احتمالا به‌دلیل بازدارندگی فعالیت‌های آنزیمی مؤثر در مسیرهای متابولیکی قارچ است (Mahoney *et al*., 2002).

Arcas و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کرده‌اند، وجود غلظت بالای ترکیبات فنولیک درپوست میوه، سد دفاعی مناسبی در برابر حمله آفات و بیماری‌ها می‌باشد. همچنین مقادیر پایین آفلاتوکسین در مغز پسته دانه-های دارای پوست در مقایسه با دانه‌های پوست‌کنده-شده، احتمالاً نتیجه اثر بازدارندگی پوست در برابر آلودگی آفلاتوکسین است (Doster &Michailides, 1995). تحقیقات Mahoney و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که آلودگی مغز پسته به قارچ *A.flavus* و آفلاتوکسین ناشی از رشد آن، به‌وسیله تانن‌های قابل هیدرولیز در پوست سبز پسته کاهش می‌یابد. گالاتونین‌های موجود در پوست سبز پسته، از تانن‌های قابل هیدرولیز متشکل از استرهای گلوکز (یا سایر پلی-ال‌ها) و گالیک اسید هستند و باعث جلوگیری از تولید آفلاتوکسین توسط قارچ *A. flavus* می‌شوند. زمانیکه این تانن‌ها از پوست سبز جدا شدند، ممانعت کننده قوی رشد قارچ *A. flavus* بودند. در نتیجه، مغزهای پسته همراه با پوست سبز حدود ۹۹٪ آفلاتوکسین کمتری در مقایسه با مغزهای بدون پوست سبز داشتند. افزایش مقدار گالاتونین‌های پوست سبز پسته، تأثیر قابل توجهی بر کاهش آلودگی قارچی دارد.

پژوهش Zhang (۲۰۱۴) درباره ۱۰ رقم هلو، مطالعه Hegedus و همکاران (۲۰۱۳) روی ارقام گیلاس، و تحقیقات Nazari و همکاران (۲۰۱۹) روی آلبالو نشان داده است که تنوع ژنتیکی نقش قابل‌توجهی در تغییر ترکیبات فنولیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی دارد. در میوه‌های ریز نیز تفاوت در ترکیبات فنلی و سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گزارش شده است. به‌عنوان مثال، وجود میزان کاتکین در بلوبری‌های چشم خرگوشی بیشتر از بلوبری‌های پابلند است و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز در میان این ارقام متفاوت است (Hwang *et al.,* 2020).در تمشک، علاوه بر وجود تنوع

رنگ در میوه انواع تمشک، نوع ترکیبات آنتوسیانین‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نیز تفاوت دارد. گزارش شده است با وجود اینکه در میوه‌های تمشک‌های سیاه آنتوسیانین بیشتری نسبت به تمشک‌های قرمز وجود دارد و نوع ترکیبات فنلی و سیانیدین‌ها در این دو نوع تمشک تفاوت دارد ولی در میان انواع تمشک‌ها، تمشک قرمز (*Rubus idaeus*)دارای بیشترین ظرفیت آنتی-اکسیدانی هست. این یافته‌ها اهمیت توجه به پایه ژنتیکی در میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها را نشان می‌دهد و می‌تواند در انتخاب ارقام با ارزش تغذیه‌ای بالا برای احداث باغ‌های جدید یا در برنامه‌های اصلاح نژاد درختان میوه به‌منظور تولید ارقام با محتوای آنتی‌اکسیدانی بیشتر مورد استفاده قرار گیرد Heidari &Hashempour, 2024

پسته حاوی ویتامین‌ها، کاروتنوئیدها، پلی‌فنول‌ها و فلاونوئیدها است که با فواید سلامتی پسته مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی آن مرتبط هستند. مصرف پسته باعث کاهش نمایه قندِخونی (شاخص گلیسمی) و کنترل دیابت نوع ۲ می‌شود. وجود فیتواسترول‌ها، اسیدهای چرب تک غیراشباع و فیبر غذایی از دانه‌های پسته ممکن است خطر بیماری‌های قلبی عروقی را کاهش دهد (Ripari Garrido *et al*., 2024). در پسته، وجود مقادیر بالای ترکیبات فنولیک در پوست نسبت به دانه آن تایید شده است. ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی به‌عنوان متابولیت‌های ثانویه آنتی‌اکسیدانی، در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته نقش مؤثری در کاهش آلودگی به قارچ *A. flavus* و تولید آفلاتوکسین در ارقام مختلف محصولات زراعی و باغی دارند (Tomaino *et al*., 2010). لذا با توجه به اهمیت موضوع و تنوع ژنتیکی و کثرت ارقام پسته، در این تحقیق میزان ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدی به عنوان متابولیت‌های ثانویه آنتی‌اکسیدانی در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک کل موجود در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته

در هنگام برداشت محصول، میوه‌های پسته مربوط به ارقام شاه پسند، عباسعلی، کله‌قوچی، خنجری، اکبری و گرمه به‌طور جداگانه جمع‌آوری شدند. برای تعیین میزان ترکیبات فنولیک کل در پوست سبز و مغز پسته، ابتدا پوست سبز و مغز پسته‌ها در سایه خشک و سپس با استفاده از آسیاب خرد و الک شدند. اندازه ذرات مورد استفاده برای آزمایش‌های مرحله استخراج بین ۰/۵ تا ۲ میلیمتر بود. سپس برای استخراج ترکیبات فنولیک، نمونه‌های آسیاب‌شده با محلول آبی متانول به نسبت ۱ به ۱ به مدت ۷۲ ساعت نگهداری شدند. پس از این مدت محلول صاف شد و به باقی‌مانده آن مجددا محلول تازه اضافه شد. در نهایت تمام محلول‌های صاف‌شده با هم مخلوط شدند و حلال با

استفاده از دستگاه روتاری اوپراتور مدل Heidolph تبخیر شد. عصاره باقیمانده برای اندازه‌گیری ترکیبات فنولیک مورد استفاده قرار گرفت. به‌منظور اندازه‌گیری مقدار فنولیک کل از روش فولین- سیکالتیو استفاده شد. بدین منظور ابتدا ۴۰ میکرولیتر از نمونه‌ها یا غلظت‌های مختلف استاندارد گالیک اسید به ۳۱۶۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد، سپس ۲۰۰ میکرولیتر معرف فولین و در نهایت ۶۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم اشباع اضافه شد. پس از مدت زمان ۲ ساعت نگهداری نمونه‌ها در تاریکی، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار ترکیبات فنولیک کل بر اساس میلی گرم هم ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک اندازه‌گیری گردید (mg GAE/g extract). معادله کالیبراسیون بدست آمده از نمونه-های استاندارد اسید گالیک $y=0.005x+0.074$ با $R^2= 0.995$ بود.

سنجش میزان فلاونوئید کل موجود در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته:

سنجش فلاونوئیدهای کل با روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم انجام شد. برای این منظور به ۰/۵ میلی لیتر از عصاره، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم ۱ مولار اضافه نموده و بعد از ۵ دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد به محلول اضافه شد. سپس ۱/۵ میلیلیتر متانول ۸۰ درصد و ۲/۸ میلی لیتر آب یونیزه شده به محلول اضافه گردید. پس از ۳۰ دقیقه، میزان جذب محلول در طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. برای محاسبه غلظت فلاونوئید کل با استفاده از روتین منحنی استاندارد رسم گردید و غلظت فلاونوئیدها بر حسب میلی‌گرم روتین در گرم وزن خشک ارائه شد (Chang *et al*., 2002). معادله کالیبراسیون بدست‌آمده از نمونه‌های استاندارد روتین به صورت $y=0.0145x+0.0709$ با $R^2= 0.9983$ بود.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در این تحقیق، آزمایشات در سه تکرار و در قالب طرح آزمایشی کاملاً تصادفی اجرا گردید. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 17.01 انجام شد. برای مقایسات میانگین‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده گردید.

نتایج

میزان ترکیبات فنولیک در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته

نتایج نشان داد میزان ترکیبات فنولیک در پوست سبز ارقام مورد آزمایش (شاه پسند، عباسعلی، کله‌قوچی، خنجری، اکبری و گرمه) به مراتب بیشتر از مغز پسته بود. رقم پسته گرمه و اکبری دارای بیشترین مقدار ترکیبات فنولیک در پوست سبز و مغز در مقایسه با سایر ارقام مورد مطالعه بود که این اختلاف در سطح

پنج درصد معنی‌داری بود. میزان ترکیبات فنولیک در پوست سبز در مورد رقم‌های مختلف بین ۲۰۵/۲۹ تا ۱۲۷/۷۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود. میزان ترکیبات فنولیک در مغز پسته نیز در رقم‌های مختلف بین ۳۹/۲۷ تا ۶۶/۴۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود (جدول ۱).

جدول ۱- مقایسه میزان ترکیبات فنولیک در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته.

ارقام پسته	میانگین میزان ترکیبات فنولیک در پوست سبز پسته (TPC: mg GAE/g extract)	میانگین میزان ترکیبات فنولیک در مغز پسته (TPC: mg GAE/g extract)
شاه‌پسند	۱۲۷/۷۳d	۳۹/۲۷e
عباسعلی	۱۵۱/۶۷c	۴۳/۱۸d
کله‌قوچی	۱۵۷/۱۳c	۴۵/۹۵c
خنجری	۱۸۶/۶۵b	۴۵/۵۶bc
اکبری	۲۰۳/۸۱a	۵۵/۷۹b
گرمه	۲۰۵/۲۹a	۶۶/۴۳a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

محتوی فلاونوئیدی کل در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته

میزان ترکیبات فلاونوئیدی نیز همانند ترکیبات فنولیک در پوست سبز ارقام مورد آزمایش به‌مراتب بیشتر از مغز پسته بود. رقم پسته گرمه و اکبری دارای بیشترین مقدار ترکیبات فلاونوئیدی در پوست سبز و مغز میوه در بین رقم‌های مورد مطالعه بود که اختلاف آن با سایر رقم‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. میزان ترکیبات فلاونوئیدی در پوست سبز در مورد رقم-های مختلف بین ۱۳/۴۵ تا ۴۱/۵۳ میلی‌گرم هم‌ارز روتین در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود. میزان ترکیبات فلاونوئیدی در مغز پسته نیز در رقم‌های مختلف بین ۰/۷۹تا ۱/۲۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میزان ترکیبات فلاونوئیدی در پوست سبز و مغز ارقام مختلف پسته.

ارقام پسته	میانگین میزان ترکیبات فلاونوئیدی در پوست سبز پسته (TFC: mg RuE/g extract)	میانگین میزان ترکیبات فلاونوئیدی در مغز پسته (TFC: mg RuE/g extract)
شاه‌پسند	۱۴/۳۹ e	۰/۸۰ bc
عباسعلی	۱۳/۴۵ f	۰/۷۹ c
کله‌قوچی	۲۲/۴۷ d	۰/۸۴ bc
خنجری	۲۴/۰۱ c	۰/۹۳ b
اکبری	۳۲/۲۵ b	۱/۱۴ a
پسته گرمه	۴۱/۵۳ a	۱/۲۳ a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار ندارند.

بحث

ترکیبات بیوشیمیایی فعال مختلف به‌خصوص ترکیبات فنولی در نات‌ها به‌عنوان مهم‌ترین ترکیب زیستی فعال موجود در خشک‌میوه‌ها معرفی شده‌اند، که روی سلامتی مصرف‌کنندگان اثرات سودمند دارد. گردو، پسته، بادام‌زمینی و پکان دارای بیشترین میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در میان انواع خشک‌میوه-ها هستند. در خشک‌میوه‌ها ترکیبات فنولی (تانن‌ها، الاجیک‌اسید و کورکومین)، ترکیبات فلاونوئیدی (لوتئولین، کوئرستین، میرستین، کامپفرول و رسوراترول)، ایزوفلاونوئیدها (جنیستین و دیادزین)، ترپن‌ها، ترکیبات ارگانوسولفور و ویتامین E وجود دارد (Heidari &Hashempour, 2024).).مغز پسته یکی از ۵۰ ماده‌غذایی برتر دارای بیشترین ظرفیت آنتی-اکسیدانی است. برخی از مهم‌ترین ترکیبات فیتوشیمیایی میوه پسته شامل اسیدهای چرب، فیتواسترول‌ها، لوتین، رسوراترول و آنتوسیانین‌ها هست. وجود ترانس-رسوراترول، پروآنتوسیانیدین‌ها در عصاره بخش خوراکی مغز پسته اهلی (*P. vera*)و ایزوفلاون‌های دایدزین و جنیستین ( ) گزارش شده است. مهم‌ترین آنتوسیانین‌های پوست مغز پسته شامل سیانیدین-0- گالاکتوزید ۶۹۶ (میکروگرم در گرم)و سیانیدین-0- گلوکوزید ۲۰۹ (میکروگرم در گرم) هست Heidari &Hashempour, 2024

ترکیبات فنلی در شرایط مطلوب محیطی نیز در سلول‌های گیاهی سنتز می‌شوند اما تنش‌های محیطی و حمله آفات و بیماری‌های گیاهی مختلف، مقدار آن‌ها را در سلول تغییر می‌دهند (Kliebenstein, 2004). در واقع ترکیبات فنلی یکی از مکانیسم‌های دفاعی غیر-

آنزیمی درگیاهان هستند (Boudet, 2007; Vogt, 2010).

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در پوست سبز ارقام مورد آزمایش بیشتر از مغز پسته بود. نتایج بررسی‌های آماری نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میزان ترکیبات فنولیک مغز ارقام مختلف پسته (در سطح احتمال ۰/۰۵) وجود داشت. میزان ترکیبات فنولیک در مغز پسته در رقم-های مختلف بین ۳۹/۲۷ تا ۶۶/۴۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود، به-طوریکه ارقام پسته گرمه و اکبری دارای بیشترین مقدار ترکیبات فنولیک در بین رقم‌های مورد مطالعه بود. میزان ترکیبات فلاونوئیدی در مغز پسته نیز در رقم‌های مختلف بین ۰/۷۹تا ۱/۲۳ میلی‌گرم هم‌ارز اسید گالیک در هر گرم از عصاره خشک متغیر بود، به-طوریکه ارقام پسته گرمه و اکبری دارای بیشترین مقدار ترکیبات فلاونوئیدی در بین رقم‌های مورد مطالعه بود که اختلاف آن با سایر رقم‌ها در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. Goli و همکاران (۲۰۰۵) فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مجموع ترکیبات فنولیک پوست سبز پسته را بررسی کرده و نشان دادند که پوست سبز پسته دارای مقادیر بالای ترکیبات فنولیک می‌باشد.

ترکیبات فنولی از شواهد فیزیولوژیکی ارزشمند در تعیین اختلاف واریته‌های مختلف به شمار می‌روند. در مطالعه نادر نژاد و همکاران (۲۰۱۳)، بالاترین مقدار فلاونوئید کل در برگ‌های پایه موتیکا- احمدآقایی نسبت به پایه اهلی و ارقام مورد مطالعه نشان داده شد. براساس وجود فرضیه عمل حفاظتی فلاونوئیدها در برابر تنش‌ها و نقش آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌ها، به‌نظر می‌رسد تجمع فلاونوئیدها در برگ‌های پایه موتیکا-احمدآقائی نسبت به گیاهان دیگر می‌تواند به مقاومت بیشتر این گیاه در برابر تنش‌ها کمک کند. نتایج حاصل از تحقیق آنها، وجود سطح بالای ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی را در پوست میوه پسته نشان داد، که به‌نظر می‌رسد در این پایه و رقم نسبت به دیگر گیاهان مورد مطالعه، پوست میوه پسته با داشتن ترکیبات فنلی به عنوان لایه حفاظتی در برابر اشعهUV و حمله آفات و بیماری‌های گیاهی پتانسیل حفاظتی بیشتری را دارد.

منابع

1. Arcas, M. C., Botía, J. M., Ortuño, A. M., & Del Río, J. A. (2000). UV irradiation alters the levels of flavonoids involved in the defence mechanism of Citrus aurantium fruits against Penicillium digitatum. *European Journal of Plant Pathology*, *106*(7), 617-622.
2. Boudet, A. M. (2007). Evolution and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry*, *68*(22-24), 2722-2735.

3. Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, *10*(3).
4. Doster, M. A., & Michailides, T. J. (1995). The relationship between date of hull splitting and decay of pistachio nuts by Aspergillus species.
5. Goli, A. H., Barzegar, M., & Sahari, M. A. (2005). Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (Pistachia vera) hull extracts. *Food Chemistry*, *92*(3), 521-525.
6. Gülçin, İ., Oktay, M., Küfrevioğlu, Ö. İ., & Aslan, A. (2002). Determination of antioxidant activity of lichen Cetraria islandica (L) Ach. *Journal of Ethnopharmacology*, *79*(3), 325-329.
7. Hegedűs, A., Taller, D., Papp, N., Szikriszt, B., Ercisli, S., Halász, J., & Stefanovits-Bányai, É. (2013). Fruit antioxidant capacity and self-incompatibility genotype of Ukrainian sweet cherry (Prunus avium L.) cultivars highlight their breeding prospects. *Euphytica*, *191*(1), 153-164.
8. Heidari, M., & Hashempour, A. (2024). Investigation of Phenolic Compounds and Antioxidants in Fruits. *Journal of Research*, *1*(4), 33.
9. Hwang, H., Kim, Y. J., & Shin, Y. (2020). Assessment of physicochemical quality, antioxidant content and activity, and inhibition of cholinesterase between unripe and ripe blueberry fruit. *Foods*, *9*(6), 690.
10. Khadivi, A., Nikoogoftar-Sedghi, M., & Tunç, Y. (2025). Agronomic characteristics, mineral nutrient content, antioxidant capacity, biochemical composition, and fatty acid profile of Iranian pistachio (Pistacia vera L.) cultivars. *BMC Plant Biology*, *25*(1), 68.
11. Kliebenstein, D. J. (2004). Secondary metabolites and plant/environment interactions: a view through Arabidopsis thaliana tinged glasses. *Plant, Cell & Environment*, *27*(6), 675-684.
12. Mahoney, N., Molyneux, R. J., & Campbell, B. C. (2004). Reduction of Aflatoxin Contamination in Pistachio Kernels by Hydrolyzable Tannins in the Hull. *Mycopathologia*, *157*(4), 433.
13. Nadernejad, N., Ahmadimoghadam, A., Hossyinifard, J., & Poorseyedi, S. (2013). Evaluation of PAL activity, phenolic and flavonoid contents in three pistachio (Pistacia vera L.) cultivars grafted onto three different rootstocks. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, *9*(3), 84-97.
14. Nazari, S. A., Hajilou, J., Zeinalabedini, M., & Imami, A. (2019). Diversity of morpho-physicochemical traits in Iranian sour cherry genotypes using multivariate analysis. *Advances in Horticultural Science*, *33*(2), 153-160.
15. Neergheen, V. S., Bahorun, T., Jen, L. S., & Aruoma, O. I. (2007). Bioefficacy of mauritian endemic medicinal plants: Assessment of their phenolic contents and antioxidant

potential. *Pharmaceutical biology*, *45*(1), 9-17.

16. Nezami, E., & Gallego, P. P. (2023). History, phylogeny, biodiversity, and new computer-based tools for efficient micropropagation and conservation of pistachio (Pistacia spp.) germplasm. *Plants*, *12*(2), 323.
17. Oh, M. M., Trick, H. N., & Rajashekar, C. B. (2009). Secondary metabolism and antioxidants are involved in environmental adaptation and stress tolerance in lettuce. Journal of plant physiology, 166(2), 180-191.
18. Ripari Garrido, J., Patrignani, M., Puppo, M. C., & Salinas, M. V. (2024). Nutritional and bioactive characterization of pistachio—a review with special focus on health.
19. Tomaino, A., Martorana, M., Arcoraci, T., Monteleone, D., Giovinazzo, C., & Saija, A. (2010). Antioxidant activity and phenolic profile of pistachio (Pistacia vera L., variety Bronte) seeds and skins. *Biochimie*, *92*(9), 1115-1122.
20. Vogt, T. (2010). Phenylpropanoid biosynthesis. *Molecular plant*, *3*(1), 2-20.
21. Wojdyło, A., Oszmiański, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food chemistry*, *105*(3), 940-949.
22. Yalpani, M., & Tyman, J. H. (1983). The phenolic acids of Pistachia vera. *Phytochemistry*, *22*(10), 2263-2266.
23. Yang, J., Liu, R. H., & Halim, L. (2009). Antioxidant and antiproliferative activities of common edible nut seeds. *LWT-Food Science and Technology*, *42*(1), 1-8.
24. Zhang, Y. (2014). *Antioxidant effect of peach skin extracts from 13 varieties of South Carolina grown peaches* (Master's thesis, Clemson University)

Determination and evaluation of the total phenolic and flavonoid contents of the hull and kernel of Iranian pistachio cultivars

Mehdi Mohammadi-Moghadam[1]*, Amir Hossein Mohammadi[2], Ahmad Shakerardekani[3], Alireza Barjasteh[4]

Abstract

Pistachio kernels contain valuable compounds, of which phenolic and flavonoid compounds are among the most important components. Determining the amount of these compounds in different pistachio cultivars is of particular importance in order to evaluate their nutritional quality and commercial value. This study aimed to compare the phenolic and flavonoid compounds in the green hull and kernels of different pistachio cultivars (Shahpasand, Abbasali, Kale Ghoochi, Khanjari, Akbari and Garmeh). The Folin-Cicalteo method was used to measure the total phenolic content, and the aluminum chloride colorimetric method was used for the determination of total flavonoids. The results showed that the content of phenolic and flavonoid compounds in the green hull was significantly higher than that in the kernels. There was also a significant difference in the phenolic content of kernels among different pistachio cultivars, with values ranging from 39.27 to 66.43 mg of gallic acid equivalent per gram of dry extract. The flavonoid content in the kernels of different cultivars varied between 0.79 and 1.23 mg of gallic acid equivalent per gram of dry extract. The Garmeh and Akbari pistachio cultivars had the highest amount of flavonoid compounds among the studied cultivars, and this difference was significant at the 5% level. Furthermore, the Garmeh and Shahpasand pistachio cultivars showed the highest and lowest amounts of phenolic compounds, respectively, in both the green hull and kernel, while the Garmeh and Abbasali cultivars showed the highest and lowest amounts of flavonoids, respectively, in these tissues.

Keywords: cultivar, pistachio, phenolic compounds, flavonoid compounds

1 Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran.
2 Pistachio Research Center, Horticultural Science Research Institute, AREEO, Rafsanjan, Iran
3 Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yazd, Iran.
4 Semnan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (Shahrood), AREEO, Shahrood, Iran
* Corresponding Author: mm.moghadam52@gmail.com