



مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی شرایط استخراج آنتوسیانین از انگور قرمز با استفاده از روش ریز پوشانی و کاربرد آن در کیک ردولوت

نسرین امجدیان^{*}، شیما معززی، علیرضا فرجی

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

۳- استادیار و عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دارویی، دانشگاه آزاد اسلامی تهران

چکیده

اطلاعات مقاله

تأثیر کاربرد عصاره ریزپوشانی شده پوست انگور قرمز با صمغ فارسی و موسیلاژ دانه ریحان بر خصوصیات فیزیکی شیمیایی (فنول کل، درصد رادیکال DPPH، میزان آنتوسیانین، وزن سنجی حرارتی و طیف سنجی فروسرخ) با هدف بهبود پایداری و به کارگیری آن در کیک ردولوت انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن عصاره ریز پوشانی شده انگور قرمز به کیک ردولوت منجر به افزایش و حفظ میزان فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی در نمونه کیک ردولوت شد. همچنین عصاره ریز پوشانی شده موجب افزایش پایداری ترکیبات فنولی و آنتی اکسیدانی در عصاره ریز پوشانی شده نسبت به عصاره آزاد شد. نتایج به دست آمده بیانگر آن بود که میزان فنل کل و درصد رادیکال DPPH عصاره تحت تأثیر ریز پوشانی تغییرات معنی داری داشتند ($P \leq 0.05$). به طوری که با افزودن ۶ درصد عصاره ریز پوشانی شده به کیک ردولوت میزان ترکیبات فنل کل و درصد رادیکال DPPH نسبت به عصاره آزاد افزایش یافته و تا روز هفتم نگهداری، مقدار بیشتری از ترکیبات فنل کل و درصد رادیکال DPPH در کیک ردولوت نسبت به عصاره آزاد مشاهده شد. همچنین نمونه های ریز پوشانی شده با نسبت ۲:۱ (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) به میزان قابل توجهی موجب افزایش پایداری عصاره انگور قرمز و همچنین موجب افزایش راندمان در آزمایشات مربوط به پایداری در برابر تغییرات pH، تأثیر رطوبت محیط و همچنین رفتار در حلالیت نسبت به نمونه شاهد عملکرد بهتری نشان دادند. در این تحقیق، نمونه شماره ۴ که حاوی (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ دانه ریحان) بود به عنوان تیمار برتر معرفی گردید. این انتخاب بر اساس کسب بالاترین امتیازات در ارزیابی های انجام شده صورت گرفت. قابلیت نگهداری کیک ردولوت در این نمونه به مدت ۷ روز در دمای یخچال، بدون افت کیفی قابل توجه، مورد تأیید قرار گرفت.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

کلمات کلیدی:

آنتوسیانین،

تفاله انگور قرمز،

ریز پوشانی،

صمغ فارسی،

موسیلاژ دانه ریحان.

DOI: 10.48311/fsct.2026.117769.82985

* مسئول مکاتبات:

۱-مقدمه

آنتوسیانین ها، رنگدانه های طبیعی و محلول در آب هستند که شامل مشتقات گلیکوزیدی پلی هیدروکسیل و متوکسیل ۲- فنیل بنزوپیریلیوم که به طور گسترده ای در طبیعت یافت می شوند. آنتوسیانین ها به عنوان یک نوع مهم و مورد توجه از پلی فنول، در رنگ غذا نقش دارند و طیف وسیعی از فعالیت های بیولوژیکی، از جمله اثرات ضد باکتری، ضد التهابی، ضد دیابتی و ضد سرطانی را ارائه می دهند [۱، ۲]. آنتوسیانین ها زیرگروهی از ترکیبات فنلی محسوب می شوند که در دسته بزرگ تری از متابولیت های ثانویه گیاهی با عنوان فلاونوئیدها قرار می گیرند. این ترکیبات به دلیل ساختار شیمیایی ویژه خود قادرند با اهدای اتم هیدروژن به رادیکال های آزاد و مهار زنجیره واکنش های اکسیداتیو، نقش آنتی اکسیدانی مؤثری ایفا کنند و از تشکیل فرآورده های اکسیداسیونی جلوگیری نمایند [۳]. در میان منابع طبیعی حاوی آنتوسیانین، تفاله انگور قرمز که به عنوان محصول جانبی صنایع فرآوری انگور شناخته می شود، منبعی غنی، در دسترس و اقتصادی برای استخراج این ترکیبات به شمار می آید [۴]. این پسماند صنعتی علاوه بر دارا بودن ترکیبات زیست فعال، دارای رطوبتی در محدوده ۵۰ تا ۷۲ درصد، میزان لیگنین بین ۸/۱۶ تا ۲/۲۴ درصد و مقدار پروتئین کمتر از ۴ درصد است. بخش عمده انگور تولیدی برای تهیه آب انگور مصرف می شود و در نتیجه، تفاله حاصل می تواند به عنوان یک ماده اولیه با ارزش افزوده بالا مورد استفاده قرار گیرد میزان آنتوسیانین موجود در بافت های گیاهی تحت تأثیر عواملی نظیر شرایط محیطی و زمان برداشت قرار دارد. همچنین، دیواره سلولی تفاله انگور عمدتاً از مواد پکتیکی تشکیل شده است. این تفاله حاوی طیف متنوعی از پلی فنول ها شامل آنتوسیانین ها، فلاونول ها، اسیدهای فنولیک، رزوراترول و اسید سیتریک است [۵]. ترکیبات فنلی موجود در انگور به واسطه ویژگی های آنتی اکسیدانی و عملکردی خود، در پیشگیری از بیماری هایی همچون سرطان و آترواسکلروز نقش دارند [۶]. با وجود این مزایا، کاربرد عملی آنتوسیانین ها در سامانه های غذایی با محدودیت هایی مواجه

است. ناپایداری ذاتی این ترکیبات و رهایش غیرهدفمند آن ها موجب کاهش کارایی زیستی آنها می شود [۷، ۸]. از جمله چالش های مهم در استفاده صنعتی از آنتوسیانین ها می توان به افت پایداری، تخریب در طی فرآوری و دشواری کنترل واکنش های شیمیایی آن ها اشاره کرد [۹، ۱۰]. به منظور رفع این مشکلات، استفاده از روش های کپسوله سازی مورد توجه قرار گرفته است. این روش با ایجاد یک لایه محافظ فیزیکی پیرامون ترکیبات فعال، امکان رهایش کنترل شده، پاسخ دهنده به محرک و تحویل هدفمند آنتوسیانین ها را فراهم می سازند [۱۱، ۱۲]. روش های مختلفی برای ریزپوشانی آنتوسیانین ها توسعه یافته اند تا بر محدودیت هایی نظیر پایداری پایین، فراهمی زیستی خوراکی محدود و جذب ضعیف روده ای غلبه شود از آنجا که آنتوسیانین ها در برابر عواملی همچون حرارت، نور و اکسیژن بسیار حساس اند به ویژه در محصولاتی که نیازمند عملیات حرارتی هستند کاربرد مستقیم آن ها با محدودیت همراه است. در این راستا، فناوری خشک کردن پاششی به عنوان یکی از متداول ترین و مقرون به صرفه ترین روش های ریزپوشانی مواد آب دوست و آب گریز شناخته می شود. این روش فرآیندی سریع، ساده و قابل توسعه در مقیاس صنعتی است که طی آن محلول، سوسپانسیون یا امولسیون حاوی ماده فعال به صورت قطرات ریز در محفظه ای با دمای بالا (معمولاً بیش از ۱۰۰ درجه سانتی گراد) پاشیده شده و در نهایت پودر خشک تولید می شود [۱۳]. یکی از اساسی ترین چالش ها در فرآیند ریزپوشانی، گزینش ماده دیواره ای مناسب است؛ به گونه ای که علاوه بر برخورداری از پایداری بالا، توانایی حفاظت مؤثر از ترکیب هسته در برابر عوامل محیطی نظیر حرارت، نور، رطوبت و اکسیژن را داشته باشد. همچنین، در کاربردهای غذایی، این مواد باید از نظر ایمنی و قابلیت مصرف، دارای درجه خوراکی و مورد تأیید استانداردهای مربوطه باشد [۱۴]. صمغ های غذایی یا هیدروکلوئیدهای هیدروفیلک توانایی ریزپوشانی بالایی از خود نشان می دهند. از جمله صمغ های قابل استفاده در صنایع غذایی در زمینه ریزپوشانی صمغ زرد یا بادام کوهی است که بخش عمده ترکیبات شیمیایی این

صمغ را پلی ساکاریدها تشکیل می‌دهند که به همراه آن ترکیبات ترپنویید *Terpenoids* و پروتئینی مانند باسورین *Bassorin* و ترکیبات دیگری از قبیل اسید گلوکورونیک *Glucoronique Acid* و اسید گالاکتورونیک *Galacturonic Acid* و اسید اورونیک *Uronic Acid* یافت می‌شود صمغ‌ها به وسیله توانایی‌شان در تولید محصولاتی با ویسکوزیته بالا در غلظت‌های پایین استفاده می‌شوند صمغ‌ها به دلیل ساختمان پلی ساکاریدی خاصی که دارند بسیار هیدروفیل هستند و به آسانی می‌توانند تا ۴۰۰ برابر حجم خود آب جذب و ذخیره کنند این مواد نقطه انجماد ندارند و در حلال‌های الکل و اتر نامحلول هستند، این مواد به لحاظ خصوصیات فیزیکی جانبی که دارند، کاربرد وسیعی در صنعت دارند [۱۶، ۱۵]. از دیگر ترکیبات طبیعی مورد توجه در ریزپوشانی می‌توان به موسیلاژها اشاره کرد. این مواد از فرآورده‌های متابولیسم گیاهی به دست می‌آیند و از نظر ساختار و عملکرد شباهت زیادی به صمغ‌ها دارند. موسیلاژها عمدتاً از پلی ساکاریدهای پیچیده تشکیل شده‌اند و انتظار می‌رود در اثر هیدرولیز، به قندها و اسیدهای قندی تجزیه شوند [۱۷]. در دانه ریحان، با قرار گرفتن در محیط آبی، لایه خارجی پریکارپ به سرعت آب جذب کرده و متورم می‌شود و یک پوشش ژل مانند در اطراف دانه ایجاد می‌کند. این لایه موسیلاژی را می‌توان جدا کرده، پس از خشک کردن به عنوان یک پلی ساکارید طبیعی در فرمولاسیون محصولات غذایی به کار برد. خاصیت تورم و تشکیل ژل در این دانه ناشی از حضور ترکیبات پلی ساکاریدی در ساختار آن است. مطالعات نشان داده‌اند که پلی ساکارید استخراج شده از دانه ریحان عمدتاً شامل گلوکومانان (حدود ۲۳ درصد) با پیوندهای عرضی (۱→۲) و گزیلان (حدود ۲۲/۲۲ درصد) است. افزون بر این، مقدار کمتری گلوکان (حدود ۳۱/۲ درصد) در ساختار آن گزارش شده است. همچنین وجود آرابینوگالاکتان‌های بسیار منشعب در کنار گلوکومانان و گزیلان، به عنوان بخشی از ساختار

پیچیده این موسیلاژ شناسایی شده است که می‌تواند در ویژگی‌های رئولوژیکی و عملکردی آن نقش مؤثری ایفا کند. [۱۸]. چیتگر و همکاران (۱۳۹۱) اثر دما و ماده جامد بر سینتیک تخریب آنتوسیانین های زرشک بی‌دانه را مورد بررسی قرار دادند [۱۹]. عبدل و همکاران (۲۰۱۸) عصاره آنتوسیانین غلیظ (CE) و خام (RE) کلم قرمز (*Brassica oleracea*) را جهت تولید رنگ خوراکی طبیعی، توسط غلظت‌های مختلف مالتودکسترین و صمغ عربی ریز پوشانی نمودند، نتایج نشان داد که آنتوسیانین ۱۶ CE برابر بالاتر از RE بود و فرمولاسیون حاوی بالاترین مقادیر مالتودکسترین بیشترین بازده را داشت و فعالیت آبی در محدوده ۴۸ تا ۶۴ به دست آمد [۲۰]. تونون و همکاران (۲۰۰۸) ترکیبات فنلی میوه تمشک شمالی را با مواد دیواره مختلف ریز پوشانی نمودند، بهترین نتایج با استفاده از مالتودکسترین به دست آمد [۲۱]. مهدوی و همکاران (۲۰۱۶) رنگ‌دانه‌های درون پوشانی شده زرشک را در پودر ژله به عنوان جایگزین رنگ مصنوعی استفاده کردند که ژله حاوی ۷ درصد پودر ریز پوشانی شده، نمره بالاتری از نظر حسی نسبت به ژل تجاری حاوی رنگ مصنوعی دریافت کرد [۲۲]. ایسوس و همکاران (۲۰۱۷) تولید چنین محصولاتی علاوه بر طبیعی بودن مواد اولیه آن و ارزش غذایی بالا از نظر میزان بالای فعالیت آنتی اکسیدانی^۱، ترکیبات فنلی و آنتوسیانین می‌تواند به عنوان یک رنگدانه کاملاً طبیعی مورد استفاده قرار گیرد [۲۳]. از سوی دیگر، علاقه به توسعه رنگ‌های غذایی از منابع طبیعی به عنوان جایگزینی برای رنگ‌های مصنوعی به دلیل اقدامات قانونی و نگرانی‌های مصرف‌کنندگان افزایش یافته است. هدف از این پژوهش در مرحله اول بهینه‌سازی استخراج آنتوسیانین از پوست انگور قرمز با استفاده از حلال اتانول انجام شد در مرحله بعد ریز پوشانی آنتوسیانین استخراج شده با استفاده از صمغ فارسی و موسیلاژ ریحان به روش خشک‌کن پاششی صورت گرفت و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن مورد بررسی قرار گرفت. و

1. Antioxidant activity

فراصوت روی ۱۰۰ قرار گرفت. سپس عصاره استخراج شده با استفاده از کاغذ واتمن شماره ۵ صاف گردید و در آخرین مرحله، عصاره‌ی استخراج شده توسط دستگاه روتاری اوپراتور در دمای ۱۹ درجه و به مدت ۳ ساعت تا بریکس ۴۹ تغلیظ شد [۲۵].

۲-۳- اندازه‌گیری مقدار کل ترکیبات فنلی عصاره استخراج شده

مقدار کل ترکیبات فنلی عصاره تولیدی به روش فولین سیوکالتو شرح داده شد و نتایج برحسب میلی گرم اسید گالیک موجود در ۱۹۹ میلی لیتر عصاره استخراجی تعیین گردید. مقدار ۰/۵ میلی لیتر عصاره با ۲/۵ میلی لیتر محلول ۱۰ درصد فولین سیوکالتو مخلوط شد و بعد از ۳ دقیقه ۲ میلی لیتر محلول ۷/۵ درصد کربنات سدیم (۷۵ گرم در لیتر) به آن اضافه و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد سپس جذب نمونه در ۷۶۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. با استفاده از رابطه (۱) مقدار کل ترکیبات فنلی تعیین گردید [۲۶].

$$y = 0.0012x - 0.0419 \quad (1) \text{ فرمول}$$

در فرمول (۱)، X: مقدار غلظت برحسب میکروگرم در لیتر و Y: درصد جذب هست.

۲-۴- ارزیابی فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره استخراج شده به روش رادیکال DPPH

خاصیت آنتی رادیکالی عصاره استخراج شده بر اساس، توانایی دادن اتم هیدروژن یا الکترون در عصاره‌های اتانولی یا میزان بی‌رنگ کردن محلول بنفش ۲ و ۲ دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) در متانول موردسنجش قرار گرفت [۲۷].

با استفاده از فرمول (۲) محاسبه گردید

$$DPPH\% = (A_{\text{control}} - A_{\text{Sample}} / A_{\text{control}}) * 100: \text{فرمول (۲)}$$

در نهایت پودر رنگدانه طبیعی تولید شده در یک ردولوت به کار گرفته شد تا تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفیت نهایی محصول ارزیابی شود.

۲-۲ مواد و روش‌ها

پوست انگور قرمز از ضایعات کارخانه تولید آب انگور قرمز تهیه شد سپس توسط آون ۶۱ درجه سانتی گراد، (بهداد، ساخت ایران) خشک و توسط خردکن برقی مولینکس، (ساخت آلمان) به دقت خرد شد و برای یکنواخت کردن ذرات با الک مش ۳۵ الک گردید پودر به دست آمده تا پایان آزمایش‌ها در ظروف شیشه‌ای تیره و در دمای فریزر (۱۸- درجه سانتی گراد نگهداری شد سایر مواد شیمیایی مورد نیاز از شرکت مرک آلمان خریداری شد [۲۴].

۲-۱- آماده‌سازی موسیلاژ ریحان و صمغ فارسی

ابتدا دانه‌های ریحان به صورت دستی پاک‌سازی شدند. سپس، جهت استخراج ترکیبات هیدروکلئیدی، دانه‌ها در شرایط بهینه شامل دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و نسبت آب به دانه ۵۰ به ۱ قرار گرفتند. عصاره‌گیری با استفاده از سانتریفیوژ سبیدی مدل Hettich DMO412 (ساخت آلمان) انجام شد. عصاره حاصله در آون آزمایشگاهی در دمای ۲۱±۶۰ درجه سانتی گراد خشک گردید. پس از آن، ماده خشک شده با استفاده از آسیاب مدل Artisan 5000 و الک با مش ۱۹ آسیاب و الک شد. پودر موسیلاژ نهایی تا زمان استفاده، در شرایط خشک و خنک نگهداری شد. صمغ فارسی مورد نیاز نیز از یک عطاری معتبر در تهران تهیه گردید. این صمغ با دستگاه آسیاب مدل Bosch (مدل CNCM13ST1B) خرد شده و سپس از الک با مش ۱۰۰ عبور داده شد تا ذرات آن یکنواخت شوند. [۲۴].

۲-۲- تهیه عصاره با استفاده از امواج فراصوت

جهت استخراج آنتوسیانین، ۱۰ گرم نمونه از پوست تفاله انگور قرمز و ۸۰ میلی لیتر حلال با نسبت ۸ به ۱ درون سونیکاتور آزمایشگاهی مدل (L20 - VCLEAN1) قرار گرفت حلال مورد استفاده شامل اتانول و اسید کلریدریک بود فرایند صوت دهی در زمان‌های ۱۵ و ۲۵ دقیقه و شدت

یک خشک‌کن پاششی مدل (Buchi Laboratoriums- Technik, Switzerland Model B-19) ساخت کره جهت تولید پودر استفاده و دمای ورودی ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد [۲۸].

۲-۷- بازده فرآیند (راندمان بر مبنای وزن خشک) و کپسولاسیون

بازده کپسوله کپسول به مقدار کل مواد محصورشده (مواد هسته + دیواره) به دست آمده، نسبت به مواد اولیه اشاره دارد. بازده فرآیند با محاسبه نسبت کل پودر پس از خشک کردن به وزن کل مواد جامد موجود در سوسپانسیون پیش از خشک کردن به دست آمد و معمولاً به صورت درصد با فرمول (۴) بیان می‌شود که در آن M_p جرم محصول نهایی محصورشده و M_i جرم جامدات در خوراک اولیه است [۲۹].

$$\text{فرمول (۴): } EY(\%) = (M_p / M_i) * 100$$

۲-۸- مورفولوژی ریز کپسول‌ها

برای ارزیابی دقیق مورفولوژی و ویژگی‌های سطحی کپسول‌های تولیدشده، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل KYKY-EM3200 ساخت شرکت KYKY کشور چین استفاده شد. نمونه‌ها ابتدا با لایه‌ای نازک (در حد چند نانومتر) از آلیاژ طلا-پالادیوم توسط دستگاه پوشش‌دهنده (Coater) پوشش‌دهی شدند. این آماده‌سازی نمونه حدود ۳ دقیقه به طول انجامید. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها در دستگاه SEM قرار داده شدند. در این روش، با تابش پرتو الکترونی پراثری به سطح نمونه، الکترون‌های برگشتی و ثانویه توسط آشکارساز دستگاه دریافت شده و تصویری با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر از جزئیات سطح کپسول‌ها ثبت گردید. این تصاویر اطلاعات ارزشمندی در خصوص شکل، اندازه، یکنواختی و زبری سطح کپسول‌ها فراهم می‌کنند. [۳۱].

۲-۹- وزن سنجی حرارتی (TGA)

در فرمول (۲)، A_{control} : جذب نمونه کنترل (محلول رادیکال DPPH بدون نمونه) است. A_{Sample} : جذب محلول رادیکال DPPH با نمونه است.

۲-۵- اندازه‌گیری آنتوسیانین به روش pH افتراقی

جهت بررسی تأثیر pH بر کارایی رنگ آنتوسیانین، ۱۰۰ میلی گرم عصاره پودر انگور قرمز به ۱۰ میلی لیتر محلول‌های آبی در ۱ و ۴/۵ pH اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد، سپس طیف جذب محلول در طول موج ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر به وسیله اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد [۲۸].

با استفاده از فرمول (۳) محاسبه گردید.

$$A = (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{pH}_{1/0} - (A_{520\text{nm}} - A_{700\text{nm}}) \text{pH}_{4/5}$$

$$\text{TAC} = A * MW * DF * 1000 * V / \varepsilon * L * M$$

A = جذب نهایی، MW = وزن مولکولی سیانیدین ۳- گلوکوزید (۴۴۹/۲ گرم بر مول)

DF = عکس رقت، V = حجم استخراج (میلی لیتر)، ε = ضریب جذب مولی سیانیدین ۳- گلوکوزید (۲۹۶۰۰ لیتر بر مول در سانتی متر)، L = طول سل (سانتی متر)، M = وزن پوست خشک تفاله انگور (گرم)

۲-۶- ریز پوشانی عصاره پوست انگور قرمز

برای ریز پوشانی ترکیبات زیست فعال عمده موجود در عصاره بهینه استخراج شده از پوست انگور قرمز از دیواره‌های صمغ فارسی و موسیلاژ دانه ریحان در نسبت‌های PG/BSG (۱:۱، ۱:۲، ۱:۳، ۱:۴) وزنی/ وزنی با توجه به نتایج سایر پژوهش‌ها و با توجه به آزمایش‌های اولیه انتخاب شدند. دیواره‌های موسیلاژ ریحان و صمغ فارسی به عصاره پوست انگور ۳ به ۱ اضافه گردید و به مدت ۳۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰ دور در دقیقه توسط هموژنایزر مدل (APV Homogenisiers Albertslund 2000) هموژن گردید. از

در این تحقیق، کیک ردولوت با استفاده از پودر ریز پوشانی شده پوست انگور قرمز به عنوان یک رنگدانه طبیعی تهیه شده است. در ادامه مواد مورد نیاز به صورت درصدی ارائه شده است: تخم مرغ: ۸ درصد، شکر: ۱۸ درصد، آرد: ۳۰ درصد، پودر کاکائو: ۰/۵ درصد، شیر خشک: ۵ درصد، بکینگ پودر: ۰/۰۵ درصد، نمک: ۰/۵ درصد، روغن: ۲۰ درصد، شکلات سفید: ۹ درصد، وانیل: ۰/۵ درصد، رنگ آنتوسیانین ریز پوشانی شده: ۶ درصد، برای تهیه کیک در ابتدا شکر و روغن و تخم مرغها در مخلوط کن به خوبی هم زده می شوند تا یکدست شوند. سپس پودر کاکائو، وانیل و رنگ ریز پوشانی شده به این مخلوط اضافه می شود. در مرحله بعد آرد بکینگ پودر و نمک در ظرفی جداگانه مخلوط می شوند تا یکنواختی حاصل گردد. سپس مواد خشک به تدریج به مایه کیک افزوده شده و به آرامی هم زده می شوند در دمای ۱۷۵ درجه سانتی گراد نیز عمل پخت انجام شد [۳۶].

۲-۱۴- اندازه گیری میزان ترکیبات فنلی و قدرت آنتی اکسیدانی در روزهای تولید، سوم و هفتم

مقدار کل ترکیبات فنلی در کیک اسفنجی مطابق با روش مایو (۲۰۰۵) با کمی تغییرات اندازه گیری شد کیک پس از تولید، در ظرف در بسته در دمای یخچال نگهداری شد و تا روز هفتم مورد پیگیری و آزمایش قرار گرفت، در همین راستا نمونه شاهد (حاوی عصاره آزاد)، نیز در ظرفی جداگانه در یخچال نگهداری میشد سپس در روزهای تعیین شده، نمونه ها جهت انجام آزمایش های مربوطه برداشت و آماده سازی می شدند خاصیت گیرندگی رادیکال آزاد عصاره استخراج شده از کیک بر اساس توانایی دادن اتم هیدروژن یا الکترون در عصاره های اتانولی یا میزان بی رنگ کردن محلول بنفش ۲-۲ دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) در اتانول مورد سنجش قرار گرفت جهت رسم منحنی استاندارد از رقت های ۷۰۰-۱۰۰ میلی گرم بر لیتر اسید گالیک استاندارد و رابطه (۵) استفاده شد [۳۷].

پایداری گرمایی نمونه های تهیه شده توسط دستگاه وزن سنجی حرارتی با نرخ ۱۰ °C/Min در محدوده دمایی ۲۵ °C تا ۵۰۰ °C مورد بررسی قرار گرفت [۳۲].

۲-۱۰- طیف سنجی فروسرخ (FTIR)

طیف سنجی فروسرخ نمونه ها به طور جداگانه در دستگاه FTIR مدل (Elmer Perkin) آمریکا مجهز به نرم افزار IR-FT OMNIC گرفته شد طیف سنجی فروسرخ در دامنه ی طول موج (۱۴۰۰-۶۵۰ Cm) انجام شد [۳۳].

۲-۱۱- حلالیت

به منظور تعیین درصد حلالیت پودر ریز پوشانی شده، ابتدا ۱ گرم از پودر به ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با استفاده از همزن مغناطیسی مدل Stuart (ساخت Scientific LTD، انگلستان) با سرعت بالا (High Speed) به هم زده شد تا ذرات به طور یکنواخت در آب پراکنده شوند. سپس، سوسپانسیون به دست آمده به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه توسط سانتریفیوژ (مدل ذکر شده در متن اصلی) جداسازی گردید. پس از سانتریفیوژ، ۲۵ میلی لیتر از مایع رویی (Supernatant) به دقت برداشت شده و در یک پتری دیش منتقل گردید. این مایع در آون آزمایشگاهی در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت حرارت داده شد تا تمامی آب تبخیر گردد. وزن باقی مانده در پتری دیش پس از خشک شدن، نشان دهنده مقدار ماده حل شده است. درصد حلالیت نهایی با محاسبه تفاوت بین وزن اولیه پودر و وزن ماده باقی مانده پس از تبخیر آب، تعیین گردید. [۳۴].

۲-۱۲- رطوبت

میزان رطوبت پودر ریز پوشانی شده به روش خشک کردن با آون محاسبه شد. ۲ گرم از پودر در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد پایه و به مدت ۱۲ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شد و میزان رطوبت محاسبه شد [۳۵].

۲-۱۳- تولید کیک ردولوت حاوی پودر ریز پوشانی شده انگور قرمز

بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره پوست انگور قرمز نشان داد که اختلاف معنی داری بین نمونه های استخراج شده با اتانول و آب اسیدی وجود دارد به عبارتی بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی مربوط به نمونه شماره ۱ (عصاره استخراج شده با اتانول ۹۶ درصد در زمان ۲۵ دقیقه) بود که اختلاف معنی داری با سایر نمونه ها که با آب اسیدی استخراج شده بودند داشت ($P \leq 0.05$). همچنین قدرت آنتی اکسیدانی عصاره استخراج شده ۷۰/۳۵ درصد محاسبه شد. اسکرینانو و همکاران (۲۰۱۹) نیز اذعان نمودند که میان استخراج فنولی ترکیبات فعالیت آنتی اکسیدانی و ترکیبات فنولی رابطه مستقیم وجود دارد که این امر به دلیل خاصیت احیا کنندگی ذاتی ترکیبات دارای پتانسیل احیا کنندگی بالایی هستند که به آن ها اجازه می دهد الکترون ها را به مولکول های دیگر منتقل کنند. [۴۰]. بنابراین، افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی در عصاره اتانولی را می توان به مقدار بالاتر ترکیبات فنولی و قابلیت بالاتر آن ها در خشتی سازی رادیکال های فعال نسبت داد. بنابراین هرچه ترکیبات فنولی بیشتری در عصاره باشد، سرعت و میزان کاهش رادیکال DPPH بیشتر خواهد بود به همین دلیل نتایج بوسیک-کوجیک و همکاران (۲۰۱۱) در رابطه با اثر زمان های طولانی استخراج در افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی هست را به راحتی میتوان توجیه نمود [۴۱].

۳-۳ - محتوای ترکیبات فنلی عصاره

نتایج ارزیابی ترکیبات فنلی نمونه های بررسی شده در جدول شماره ۱ نشان داد که بیشترین مقدار ترکیبات فنلی در نمونه ۱ (عصاره استخراج شده با اتانول، زمان ۲۵ دقیقه) ۵۳/۴۴ میلی گرم/ میلی لیتر و نمونه ۲ (که با اتانول ۹۶ درصد در زمان ۱۵ دقیقه) ۴۵/۶۴ میلی گرم/ میلی لیتر و نمونه ۲ بود مشاهده شد. اختلاف آماری معنی داری با سایر نمونه ها که با آب اسیدی استخراج شده بودند داشت ($P \leq 0.05$). زاهد و همکاران (۱۴۰۱) بیان کردند که بیشترین میزان ترکیبات فنول کل اندازه گیری شده مربوط به استخراج حلال (اتانول) معادل ۴/۲۴۶ ± ۵۸۹/۳۱۰ میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم

$$y = 0.0062x + 0.3007: (5) \text{ فرمول}$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی راندمان استخراج رنگدانه آنتوسیانین از پوست انگور قرمز توسط حلال و فراصوت

در شرایط استخراج بهینه به روش فراصوت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد با استفاده از حلال اتانول ۹۶٪ و زمان ۲۵ دقیقه و شدت فراصوت تنظیم شده روی ۱۰۰ مقدار آنتوسیانین ۱۲۹/۶۳۵ میلی گرم در میلی لیتر عصاره، ترکیبات فنلی ۱۱۵/۱۱۸ میلی گرم اسید گالیک در ۱۰۰ میلی لیتر محاسبه شد. زاهد و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی که بر روی استخراج آنتوسیانین از پوست انار انجام دادند، دریافتند که حلال اتانول بیشترین بازده استخراج را به خود اختصاص داده است. طبق گزارش آن ها، این بازده برابر با $350.76 \pm 1/445$ درصد بوده است در نتیجه حداکثر میزان آنتوسیانین کل به مقدار $3/146 \pm 0/35$ میلی گرم سیانیدین-۳-گلوکوزید^۲ بر گرم پودر پوست انار و بالاترین میزان ترکیبات فنلی نیز معادل $4/246 \pm 310/589$ میلی گرم اسید گالیک^۳ در ۱۰۰ گرم عصاره بود [۳۸]. انصاری و حجتی (۱۳۹۶) بیان کردند با افزایش دما میزان آنتوسیانین ها کاهش می یابد و با افزایش نسبت حلال به ماده اولیه موجب افزایش استخراج و کاهش زمان استخراج می گردد [۳۹]. در نتیجه افزایش نسبت حلال به ماده اولیه موجب افزایش راندمان استخراج می شود؛ زیرا اختلاف غلظت میان فاز جامد و مایع افزایش یافته و انتشار ترکیبات فعال زیستی به فاز مایع تسهیل می گردد. همچنین افزایش حجم حلال باعث کاهش ویسکوزیته محیط و تسریع نفوذ پذیری شده و بدین ترتیب زمان مورد نیاز برای دستیابی به بازده استخراج مطلوب، کاهش می یابد.

۳-۲- بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره

۹۶ درصد) و در زمان‌های استخراج (۱۵-۲۵ دقیقه) مشاهده شد. این نتایج به دلیل سازگاری قطبیت اتانول با ساختار ترکیبات فنلی، جلوگیری از تجزیه یا اکسیداسیون این ترکیبات در محیط غیرآبی، و فراهم آوردن زمان کافی برای نفوذ حلال و آزادسازی ترکیبات از ماتریس گیاهی است. این یافته‌ها با مطالعات پیشین نیز همسو بوده و برتری اتانول به عنوان حلال استخراج برای ترکیبات فنلی تأکید دارد.

عصاره ثبت شد که قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH بالاتری نسبت به عصاره آنتوسیانینی که با حلال (اسیدی) استخراج شده بود داشت [۳۸]. در تحقیقی که باقر و همکاران (۲۰۱۵) نیز انجام دادند اذعان نمودند ترکیبات فنلی موجود در آب انگور قرمز در استخراج با اتانول ۹۶ درصد بیشتر از سایر حلال‌هاست [۴۲]. در نتیجه بیشترین میزان ترکیبات فنلی در عصاره‌های اتانولی (به ویژه اتانول

Table 1 Investigation of antioxidant and phenolic activity of the extracted extract

Variable	Code1	Code2	Code3	Code4	Code5	Code6
Antioxidant Activity	69.35±2.8 ^a	62.23±2.5 ^b	51.28±1.9 ^c	54.12±1.7 ^c	49.19±1.1 ^f	51.36±2.5 ^d
Phenolic activity (mg gallic acid/100ml)	53.44±2.8 ^a	45.64±1.7 ^b	41.45±1.4 ^c	37.26±1.2 ^d	36.61±1.3 ^e	29.98±1.20 ^f

Code (2): Extraction with ethanol at T=15min

Code (3): Aqueous acid solvent at T=15min

Code (4): Aqueous acid solvent at T=25min

Code (5): Acidic water solvent + ethanol extraction T=15 min

Code (6): Acidic water solvent + extraction with ethanol 96 T = 25min

استخراج را کاهش داد. این پدیده احتمالاً به این دلیل رخ

می‌دهد که در دماهای بالاتر، برخی ترکیبات فرار ممکن است با سرعت بیشتری از عصاره استخراجی خارج شوند، که این امر منجر به کاهش بازده کلی استخراج می‌گردد. [۴۴]. دلیل این یافته‌ها را می‌توان به ماهیت شیمیایی آنتوسیانین‌ها و نوع حلال مرتبط دانست. اتانول، به دلیل سازگاری قطبیت خود با ساختار آنتوسیانین‌ها، نفوذ مناسب به بافت گیاهی و افزایش انحلال این ترکیبات، نقش مؤثری در بالا رفتن بازده استخراج دارد. در مقابل، استفاده از آب اسیدی یا دماهای بالاتر ممکن است موجب کاهش پایداری و حتی تخریب ترکیبات حساس مانند آنتوسیانین شود و در نتیجه بازده استخراج کاهش یابد. به طور کلی ترکیب مناسب اتانول، نسبت مناسب حلال به ماده جامد و کنترل دما، عوامل اصلی در به دست آمدن بیشترین میزان استخراج آنتوسیانین هستند.

۳-۵- اندازه‌گیری آنتوسیانین به روش pH اترافی

نتایج حاصل از مقایسه تأثیر pH بر عصاره در جدول شماره ۲ نشان داد که افزایش pH باعث کاهش معنی‌داری

۳-۴- مقدار آنتوسیانین

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین کل نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آنتوسیانین استخراج‌شده از عصاره مربوط به نمونه ۱ (استخراج با اتانول ۹۶ درصد، زمان ۲۵ دقیقه) در دمای ۴۰ درجه بود که مقدار آن ۱۲۹/۶۳۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر عصاره محاسبه شد و نسبت حلال به ماده جامد نیز ۱ به ۸ پیش‌بینی شد که اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه ۶ (اتانول + حلال آب اسیدی در زمان ۲۵ دقیقه) که ۷۱/۶۸ میلی‌گرم در میلی‌لیتر بود وجود داشت ($P \leq 0.05$). مالویا و همکاران (۲۰۱۴) دریافتند که بیشترین بازده استخراج آنتوسیانین از پوست انار زمانی حاصل می‌شود که از مخلوط حلال اتانول/ آب با نسبت حجمی ۵۰:۵۰ استفاده شود. این بازده به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر حلال‌های مورد بررسی، بالاتر بود [۴۳]. ژاکمن و همکاران (۲۰۰۹) نیز تأیید کردند که نسبت بالای اتانول در حلال، بیشترین تأثیر را بر بازده استخراج آنتوسیانین دارد. همچنین افزایش دما تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد، روند بازده

pH= در محدوده ۵۰۰ تا ۵۳۰ نانومتر است و در pH=۷ پیک مشاهده نمی‌شود [۴۵]. یافته‌های حاضر با نتایج فرهادی‌چیتگر و همکاران (۲۰۱۳) همسو است؛ به‌طوری‌که آنان در بررسی پایداری عصاره‌های سه گونه زرشک بومی ایران در محدوده pH= 1-7 گزارش کردند که با افزایش pH، سرعت ثابت واکنش افزایش یافته و در نتیجه پایداری آنتوسیانین‌ها کاهش می‌یابد. در مطالعه مذکور نیز بیشترین پایداری در pH=۱ مشاهده شد. در مجموع، نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که شرایط اسیدی، به‌ویژه pH=۱، مناسب‌ترین شرایط برای حفظ پایداری و ویژگی‌های رنگی عصاره‌های آنتوسیانینی بوده و افزایش pH تا محدوده خنثی، به‌دلیل تغییر ساختار شیمیایی این ترکیبات، موجب کاهش معنی‌دار پایداری و شدت جذب آن‌ها می‌شود.

نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد شد ($P \leq 0/05$). با افزایش pH، پایداری نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که بالاترین شاخص پایداری pH مربوط به عصاره در pH=۱ در ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر بود ($P \leq 0/05$). و پائین‌ترین شاخص پایداری در pH=۴/۵ مشاهده شد. فرهادی‌چیتگر و همکاران (۲۰۱۳) در این پژوهش به‌منظور کاربرد بیشتر آنتوسیانین‌های زرشک بومی ایران در صنعت غذا پایداری عصاره‌های سه گونه زرشک را در pH های ۱-۷ مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش حاکی از آن بود که با افزایش pH سرعت ثابت واکنش در هر سه نمونه افزایش می‌یابد آنتوسیانین‌های هر سه گونه در pH =۱ بیشترین پایداری را نشان دادند [۴۴]. انصاری و حجتی (۱۳۹۷) نیز با تغییر pH محیط یک تغییر برگشت‌پذیر در ساختار آنتوسیانین‌ها در pH =۱ فرم رنگی کاتیون فلاویلیوم و در pH =۷ فرم بدون رنگ کربینول جزء فرم‌های غالب است در هردو مشاهده شد که بیشترین شدت جذب در ۱

Table 2 Measurement of anthocyanins by pH differential

wavelength	pH=1	pH=4/5
520nm	0.912 ^a	0.794 ^b
700nm	0.141 ^a	0.093 ^b

استخراجی از بلوبری را با استفاده از مالتودکسترین و نشاسته ذرت با غلظت ماده دیواره ۱۸ درصد ریزپوشانی کردند و پایداری آن را بررسی نمودند که کارایی ریزپوشانی نمونه‌ها ۷۴/۴-۸۵/۲۲ درصد بود [۴۷]. صابریان و همکاران نیز در یک بررسی پایداری‌سازی حرارتی عصاره آنتوسیانین گلبرگ زعفران با استفاده از ریزپوشانی و کاربرد آن در مدل غذایی بررسی شد و کارایی همه دیواره‌ها بیشتر از ۹۶ درصد گزارش شد و تفاوت معنی‌داری بین مواد دیواره‌ای مختلف (صمغ عربی، صمغ فارسی و مالتودکسترین) دیده نشد [۴۸]. تفاوت در گزارش کارایی ریزپوشانی در مواد مربوط به محتوای مواد هسته‌ای متفاوت است. به‌طور خلاصه، نتایج نشان‌دهنده بهینه بودن فرمولاسیون حاوی صمغ زرد و موسیلاژ ریحان برای دستیابی به راندمان بالا در دستگاه خشک‌کن است و این یافته‌ها را می‌توان با توجه به نقش

۳-۶- راندمان تهیه پودرها

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در جدول شماره ۳ راندمان دستگاه خشک‌کن در شرایط متفاوت متغیرهای ورودی دستگاه و فرمولاسیون بیشترین بازده استخراج مربوط به نمونه شماره ۴ (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) بود که حداکثر ۱۹/۸۱ درصد محاسبه شد، که اختلاف آماری معنی‌داری با سایر نمونه‌ها مشاهده شد ($P \leq 0/05$). در واقع درصد بالای صمغ زرد نسبت به موسیلاژ ریحان به افزایش راندمان استخراج کمک می‌کند. ویژگی‌های مواد دیواره هم می‌تواند بر عملکرد نهایی دستگاه و افزایش راندمان پودر تولید شده تأثیر بگذارد. عواملی مانند دما، فشار، زمان اختلاط و هم‌زدن نیز می‌توانند بر راندمان کپسولاسیون و در نهایت بازده تأثیر بگذارند [۳۶، ۳۷، ۶۱]. همچنین دا روزا و همکاران (۲۰۱۸) عصاره آنتوسیانینی

موسیلاژ ریحان، ۱ درصد صمغ زدو) شده است. قارانیجگ و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی ریز پوشانی آنتوسیانین ها با روش کواسرویشن مرکب با صمغ زدو، صمغ دانه شاهی و ژلاتین نوع A و B به عنوان مواد دیواره، کواسروات ها را در شرایط بهینه pH و نسبت صمغ به ژلاتین و خشک کردن انجمادی تهیه نمودند. نتایج مورفولوژی نشان داد که خشک کردن انجمادی نشان داد که ژلاتین نوع A، پروتئین مناسب تری برای تشکیل کواسروات است عصاره ریز پوشانی شده پایداری حرارتی بالایی داشت و تخریب کمتری را نشان داد [۴۶]. احمد و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه اخیر، آنتوسیانین های زعفران با روش خشک کردن پاششی در بتا گلوکان و بتا سیکلودکسترین کپسوله شدند و رفتار آزادسازی آنتوسیانین های مونومر، آنتی اکسیدان ها و فنل ها مورد بررسی قرار گرفت ساختار میکرو کپسول ها با استفاده از طیف سنجی SEM و ذرات محصور خاص در حفره های مواد دیواره از میکرو گراف های SEM مشاهده شد که ترکیب آنتوسیانین را در میکرو کپسول ها تأیید می کرد [۴۹].

مواد دیواره و عوامل فرآیندی در مطالعات قبلی ریز پوشانی، تفسیر کرد. به طور کلی، ترکیب ۲ درصد صمغ زدو و ۱ درصد موسیلاژ ریحان به عنوان بهترین ترکیب شناخته شد که منجر به بیشترین راندمان استخراج گردید. همچنین مشخص شد که ترکیب مواد دیواره و شرایط عملیاتی دستگاه نقش تعیین کننده ای در بهینه سازی بازده فرایند دارند.

۳-۷- بررسی مورفولوژی ریز کپسول ها

نتایج میکروسکوپ الکترونی عبوری (SEM) در تصویر شماره ۱ نشان داد که با افزایش درصد موسیلاژ ریحان نسبت به صمغ زدو خالص، مورفولوژی سطح از حالت شبه کروی به سمت حالت ناهموار و با درصد کم کروی بودن پیش می رود، در نمونه ۳ (۱ درصد صمغ زدو، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) برهم کنش های میان موسیلاژ ریحان و صمغ زدو سبب کاهش ناهمواری و شبه کروی شدن دوباره مسطح شده است که در نمونه ۴ (۲ درصد صمغ زدو، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) مورفولوژی سطح به سمت تشکیل سطحی ناهموار و با درصد بالاتر از کروی بودن نسبت به نمونه ۱ (۲ درصد

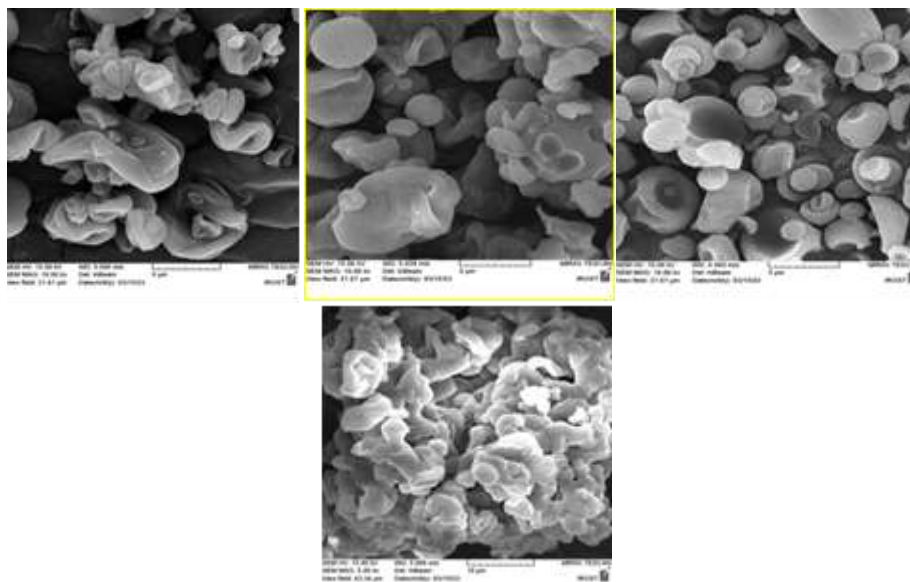


Fig 1 a: (1% gum zedo, 0% basil mucilage, 1% grape extract) b: (0% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract) c: (1% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract) d: (2% Zedo gum, 1% basil mucilage, 1% grape extract)

نتایج آنالیز گرمایی (TGA) در تصویر شماره ۲ نشان داد که پایداری دمایی با افزایش نسبت زدو به ریحان افزایش

۳-۸- بررسی وزن سنجی حرارتی (TGA)

۶۳/۸۲ به ۲۵۰/۸۷ و از ۸۱/۰۳ به ۲۶۳/۶۴ درجه سانتی گراد افزایش یافته است [۳۹]. به طور کلی، افزایش صمغ زردو در فرمولاسیون، موجب بهبود پایداری حرارتی و افزایش مقاومت نمونه‌ها در برابر تخریب گرمایی می‌شود. این یافته‌ها با نتایج مهدیه انصاری و همکاران (۱۳۹۶) نیز همخوانی دارد؛ به طوری که در پژوهش آنان، صمغ عربی در مقایسه با مالتودکسترین مقاومت حرارتی بیشتری نشان داد و باعث افزایش دمای آغاز تخریب پودرهای میکروکپسوله شد. در نتیجه، صمغ زردو به عنوان پوشش دهنده مؤثرتر از موسیلاژ ریحان عمل کرده و استفاده از نسبت بالاتر آن می‌تواند پایداری حرارتی و کیفیت نهایی ترکیب میکروکپسوله شده را بهبود دهد.

پیدا کرده است به طوری که در حالت نمونه (۴) (۲ درصد صمغ زردو، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) برهمکنش‌های الکترواستاتیکی میان گروه‌های عاملی ریحان و زردو به استحکام شبکه، قدرت بیشتری بخشیده است و این سبب افزایش پایداری حرارتی و در نتیجه پایداری بیشتر ترکیب شده است. در صورتیکه در نمونه (۱) (۱ درصد صمغ زردو، ۲ درصد موسیلاژ ریحان) این برهمکنش‌های الکترواستاتیک وجود نداشته و پایداری کمتری نسبت به ۳ نمونه دیگر دارد. مهدیه انصاری و همکاران (۱۳۹۶) به منظور افزایش پایداری رنگ مایع از پوست پیاز قرمز و کلم قرمز تولید شده در برابر عوامل محیطی، میکروانکپسولاسیون به روش خشک‌کن انجمادی و با دو عامل صمغ عربی و مالتودکسترین انجام شد با توجه به نتایج آزمون TGA و DSC، عامل صمغ عربی در برابر حرارت مقاومت بیشتری داشته است به طوری که دمای آغاز تخریب پودر انکپسوله شده توسط این پوشش دهنده برای پوست پیاز قرمز و کلم قرمز به ترتیب از

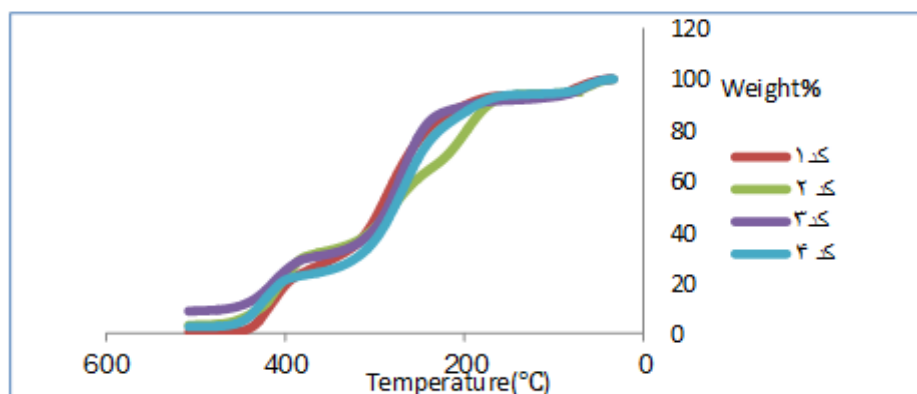


Fig 2 Thermal analysis of microencapsulated samples

acode1: (1% gum zedo, 0% basil mucilage, 1% grape extract) bcode2: (0% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract)

cocode3: (1% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract) dcode4: (2% Zedo gum, 1% basil mucilage, 1% grape extract)

الکترونی - الکترواستاتیکی است. طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) نشان داد که شیفت مشاهده‌شده در پیک مربوط به گروه‌های آروماتیک، بین ۱۶۱۶ تا ۱۶۴۱، حاکی از وجود برهمکنش میان ریحان و زردو است. علاوه بر این، پیک‌های مربوط به پیوند C-O که در بازه ۱۰۵۷ تا ۱۱۰۰ ظاهر

۳-۹- طیف‌سنجی فروسرخ (FTIR)

مقایسه آنالیز (FTIR) ترکیبات در تصویر شماره ۳ نشان می‌دهد با افزایش درصد صمغ زردو، برهمکنش‌های هیدروژنی سبب افزایش پیک در ناحیه ۳۱۰۰-۳۴۵۰ می‌گردد که این پهن شدن در این ناحیه تأییدیه این برهمکنش

همکاران (۲۰۱۵) برهمکنش متقابل شیمیایی بین مواد دیواره و مواد هسته وجود دارد همه میکروکپسول‌ها پایداری حرارتی AC را در محدوده دمایی ۸۰ تا ۱۱۴ درجه سانتی‌گراد افزایش دادند علاوه بر این، حفظ AC (تا ۴۸ درصد) در طول نگهداری در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ روز نشان داد که تیمار ترکیبی SPI و AG بهترین بود [۵۱].

شده‌اند، وجود این برهمکنش‌ها را تأیید کرده و تشکیل شبکه میان ریحان و زردو را اثبات می‌کنند. همچنین شیفت این پیک‌ها تغییر رنگ را نیز توجیه می‌کند. منصور و همکاران (۲۰۲۰) در این مطالعه شامل ریز پوشانی عصاره آنتوسیانین (AC) از تمشک قرمز با استفاده از روش خشک‌کردن انجمادی شامل فراصوت ایزوله پروتئین سویا (SPI)، صمغ عربی (AG) و ترکیب آن‌ها است [۵۰]. موحد ناوی و

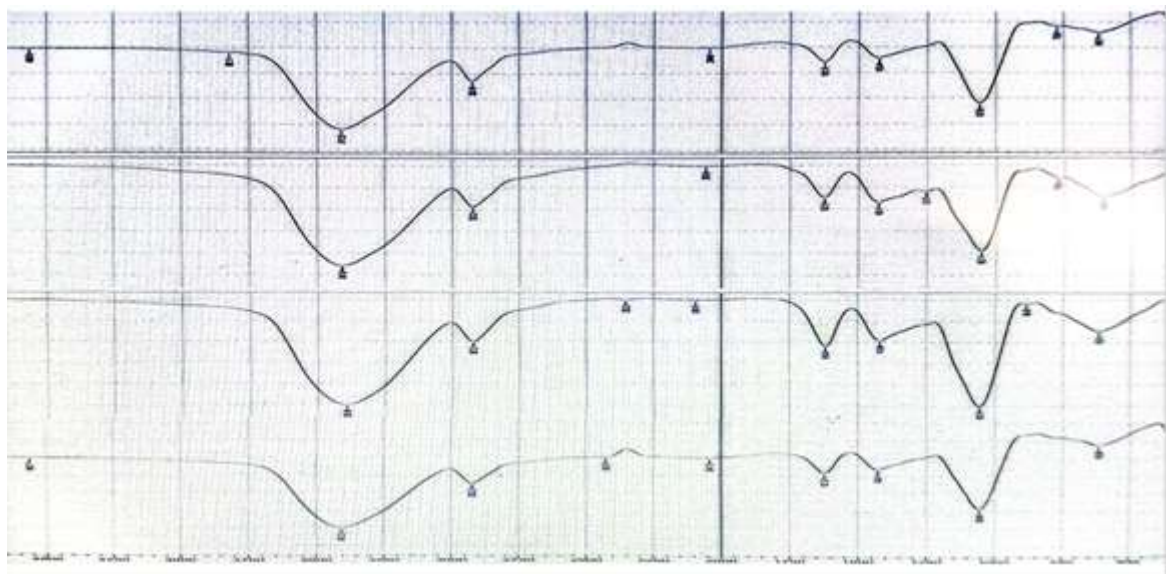


Fig 3 Infrared spectroscopy of microencapsulated samples

a: (1% gum zedo, 0% basil mucilage, 1% grape extract) b: (0% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract)

c: (1% gum zedo, 1% basil mucilage, 1% grape extract) d: (2% Zedo gum, 1% basil mucilage, 1% grape extract)

به برقراری پیوند با مولکول‌های آب هستند و از تبخیر و خروج آن‌ها جلوگیری می‌کنند [۵۲]. طبق نتایج یو و همکاران (۲۰۰۹) افزایش دما موجب کاهش درصد رطوبت نمونه‌ها شد، زیرا این عامل با افزایش سرعت انتقال رطوبت از ذرات، خروج آب را تسهیل می‌کند [۵۳]. آتاسیا و همکاران (۲۰۰۴) در تحقیقات خود مشاهده کردند که دمای هوای خشک‌کن و فشار بالا، هر دو در تسريع فرآیند خشک شدن و کاهش رطوبت مؤثر هستند. نتایج آن‌ها همچنین نشان داد که افزایش دمای ورودی به خشک‌کن منجر به کاهش رطوبت می‌شود. این پدیده به این دلیل است که هرچه اختلاف دما بین محیط خشک‌کن و ذرات بیشتر باشد، انتقال حرارت به ذرات

۳-۱۰- رطوبت

طبق داده‌های جدول شماره ۳، دو نمونه پودر ریز پوشانی شده عصاره پوست انگور قرمز از نظر میزان رطوبت مورد مقایسه قرار گرفتند که بیشترین رطوبت مربوط به نمونه ۳ (۱ درصد صمغ زردو، ۲ درصد موسیلاژ ریحان) بود که از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با هم داشتند ($P \leq 0.05$) محاسبه شد. کورشیان و همکاران (۱۳۹۴) دریافتند که نمونه‌های ریحان با نسبت موسیلاژ بالاتر، باید رطوبت بیشتری را حفظ کنند. این به دلیل ماهیت هتروپلی ساکاریدی موسیلاژ ریحان است که دارای ساختاری شاخه‌دار و گروه‌های هیدروفیل می‌باشد. این گروه‌های هیدروفیل قادر

افزایش یافته و در نتیجه، خروج رطوبت از ذرات تسریع می‌گردد [۵۴]. بررسی نتایج نشان می‌دهد که افزایش دمای خشک کردن سبب کاهش میزان رطوبت در پودرهای تولیدی شده است. همچنین رطوبت در نمونه هایی که نسبت موسیلاژ ریحان بیشتر است بالاتر از نمونه های دیگر است زیرا موسیلاژ ریحان کمپلکسی هتروپلی ساکاریدی با ساختاری منشعب بوده که دارای گروه های هیدروفیل می باشد و در نتیجه با مولکول های آب پیوند داده و مانع خروج آنها می شود.

۳-۱۱- حلالیت

طبق داده های جدول شماره ۳، بیشترین حلالیت در نمونه ۴ (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) دیده شد و اختلاف آماری معنی دار با نمونه ۱ (۱ درصد صمغ زرد، ۲ درصد موسیلاژ ریحان) داشت ($P \leq 0/05$). حصارى نژاد و همکاران (۲۰۲۱) در بیشتر غذاهای پودر شده هدف انحلال سریع و کامل در آب؛ غوطه‌ور شدن (شناور شدن) و حل

شدن بدون تشکیل کلوخه می‌باشد. لذا از نتایج مشاهده می‌شود که رابطه‌ی مثبتی بین انحلال‌پذیری و مقدار رطوبت پودرها وجود دارد [۵۵]. فضایی و همکاران (۲۰۱۲) تاثیر شرایط خشک کن پاششی و استفاده از پوشش دهنده را بر روی ویژگی های فیزیکی پودر عصاره ی توت سیاه بررسی کردند، نتایج پژوهش نشان داد که مخلوط ۲ درصد مالتو دکسترین=۶ DE و ۶ درصد صمغ عربی بالاترین حلالیت (۸۶ درصد) را داشت [۵۶]. در نتیجه صمغ زرد نقش مؤثری در بهبود حلالیت پودر ریزپوشانی شده دارد و این ویژگی از نظر کاربردی مطلوب است، زیرا در غذاهای پودری هدف، حل شدن سریع و کامل در آب بدون تشکیل کلوخه است، صمغ زرد نقش مهمی در افزایش حلالیت پودر ریزپوشانی شده ایفا می‌کند و این ویژگی مطلوب، با میزان رطوبت موجود در پودر نیز ارتباط مثبت دارد.

Table 3: Moisture, solubility, and extraction efficiency of microencapsulated powder

Variable	Code1	Code2	Code3	Code4
Solubility(%)	40.91±0.01 ^b	39.67±0.01 ^d	40.67±0.01 ^c	43.33±0.03 ^a
humidity(%)	3.35±0.01 ^c	8.06±0.00 ^b	8.19±0.00 ^d	1.61±0.00 ^a
Extraction efficiency(%)	14.59±0.01 ^b	8.15±0.01 ^c	5.23±0.00 ^d	21.32±0.01 ^a

۳-۱۲- مقدار آنتوسیانین

نتایج ارزیابی محتوای کل آنتوسیانین ها در ۲ نمونه مورد آزمایش شده نشان داد بیشترین مقدار آنتوسیانین در نمونه ریز پوشانی شده در نمونه ۴ با نسبت (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) به میزان ۱۲۲/۱۱۷ میلی گرم/ میلی لیتر مشاهده شد که اختلاف معنی داری ($P \leq 0/05$) با نمونه ریز پوشانی شده شماره ۱ (۱ درصد صمغ زرد، ۲ درصد موسیلاژ ریحان) ۷۹/۸۴ میلی گرم/ میلی لیتر بود مشاهده شد. شهیدی و همکاران (۲۰۱۴) طی مطالعه بهینه یابی خشک کردن پاششی آب انار بیان کردند که در مقادیر کم مالتو دکسترین افزایش دما سبب کاهش بیشتر مقدار کل آنتوسیانین می شود زیرا مالتو دکسترین نمی تواند به طور مؤثر سبب انکپسولاسیون آنتوسیانین شود که همین امر سبب

کاهش سریع در مقدار کل آنتوسیانین می شود [۵۷]. تونون و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تخریب آنتوسیانین ها در مدت نگهداری پودر انکپسوله شده تولید شده از آکائی با مواد پوشش دهنده مختلف به این نتیجه رسیدند که واکنش تخریب آنتوسیانین ها از معادله درجه اول پیروی می کند همچنین افزایش دما تأثیر منفی روی محتوای آنتوسیانین پودر حاصل داشت ولی نوع پوشش دهنده تأثیر معنی داری روی تخریب یا حفظ آنتوسیانین نداشت و آنتوسیانین پودر ریزپوشانی نشده با شدت بیشتری تخریب شد [۵۸]. به طور کلی، یافته ها نشان می دهد که نوع و نسبت مواد پوشش دهنده در فرایند ریزپوشانی نقش مهمی در حفظ آنتوسیانین ها دارد و ترکیبات نمونه ۴ با نسبت (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد

موسیلاژ ریحان) توانسته است پایداری و نگهداری بیشتری در حفظ آنتوسیانین ایجاد کند.

۳-۱۳- بررسی میزان ترکیبات فنلی کل کیک

بیشترین و کمترین محتوای ترکیبات فنلی به ترتیب در نمونه کیک حاوی ۶ درصد پودر ریز پوشانی در روز تولید (۱۱۲/۱۸۵ میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ میلی لیتر) و کمترین آن در نمونه کیک شاهد که حاوی عصاره آزاد بود ۲۶/۹۵ میلی گرم مشاهده شد. نمونه کیک حاوی ۶ درصد عصاره ریز پوشانی شده بود. تمام نمونه‌ها از نظر مقدار ترکیبات فنلی اختلاف آماری معنی‌دار باهم داشتند ($P \leq 0/05$). نتایج مطالعه ساری و همکاران (۲۰۱۲) نیز نشان داد که حضور کوپیگمانت‌هایی مثل اسیدهای فنلی در مدل غذایی نوشیدنی، منجر به افزایش محتوای فنلی نسبت به نمونه‌های بدون کوپیگمانت گردید [۵۹]. تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که تمامی نمونه‌های مورد مطالعه از نظر میزان ترکیبات فنلی، اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر داشتند ($P \leq 0/05$). علاوه بر این، تأثیر مدت زمان نگهداری بر محتوای ترکیبات فنلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش دوره نگهداری کیک‌ها، میزان ترکیبات فنلی کاهش یافت، به طوری که کمترین مقدار در روز هفتم نگهداری مشاهده شد. این یافته‌ها با نتایج مطالعه ساری و همکاران (۲۰۱۲) که نشان داد حضور کوپیگمانت‌هایی مانند اسیدهای فنلی در مدل‌های غذایی نوشیدنی، منجر به افزایش محتوای فنلی نسبت به نمونه‌های فاقد کوپیگمانت می‌شود، همخوانی دارد.

۳-۱۴- بررسی فعالیت آنتی‌اکسیدانی کیک

نمونه کیک حاوی ۶ درصد پودر ریز پوشانی شده در روز تولید حاوی ۸۲/۶۹ درصد بیشترین مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که با نمونه کیک حاوی عصاره آزاد که حاوی ۳۲/۳۴ درصد بود اختلاف آماری معنی‌دار با هم داشتند ($P \leq 0/05$). کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه شاهد مشاهده شد که نمونه‌های حاوی پودر ریز پوشانی به دلیل حفظ بهتر ترکیبات زیست فعال، قدرت

آنتی‌اکسیدانی بالاتری نشان دادند. مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نمونه‌ها و روند کاهش آن در طول نگهداری با نتایج حاصل از ترکیبات فنلی و آنتوسیانین در این تحقیق مطابقت داشت و کمترین مقدار در روز هفتم نگهداری مشاهده شد. یافته‌های این تحقیق با یافته‌های متینی و همکاران (۲۰۱۸) در رابطه با افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی و میزان ترکیبات فنولی کل نمونه‌های ماست حاوی عصاره ریز پوشانی شده انگور قرمز مطابقت داشت [۶۰]. میلدینزاس- کودلارز و همکاران (۲۰۰۹) در رابطه با مقادیر بالای ترکیبات فنولی و خواص آنتی‌اکسیدانی بالای ترکیبات استخراج‌شده از عصاره تفاله انگور قرمز گزارش گردید [۶۱].

۳-۱۵- بررسی مقدار آنتوسیانین کیک

استفاده از عصاره پوست انگور قرمز، پودر ریز پوشانی این عصاره تأثیر معنی‌داری بر مقدار آنتوسیانین موجود در کیک داشته است ($P \leq 0/05$). بیشترین آنتوسیانین در نمونه کیک حاوی ۶ درصد پودر ریز پوشانی در روز اول پس از تولید ۱۱۰/۱۶۰ (میلی گرم/ میلی لیتر) مشاهده شد نتایج نشان داد کاربرد پودر ریز پوشانی شده در حفظ محتوای آنتوسیانین توانسته مؤثر باشد. بیشترین میزان آنتوسیانین در نمونه‌های ریز پوشانی شده مشاهده شد. این میزان تفاوت آماری معنی‌داری با نمونه کیک حاوی عصاره آزاد داشت ($P \leq 0/05$) همچنین، محتوای آنتوسیانین در طول دوره نگهداری نمونه‌های کیک به طور معنی‌داری کاهش یافت ($P \leq 0/05$) به طوری که بیشترین مقدار در روز اول تولید و کمترین مقدار در روز هفتم نگهداری و ثبت شد. لازم به ذکر است که دروسو و همکاران (۲۰۱۵) و مارند و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعات خود مقادیر بالایی از ترکیبات فنولیک، اسیدهای فنولیک و آنتوسیانین را در تفاله انگور قرمز گزارش کرده‌اند. [۶۲، ۶۳].

۴- نتیجه گیری

این مطالعه به بررسی جامع و اثربخشی ریزپوشانی عصاره آنتوسیانین تفاله انگور قرمز با استفاده از صمغ زرد و موسیلاژ ریحان، و متعاقباً کاربرد آن در فرمولاسیون کیک ردولوت پرداخته است. یافته‌های این مطالعه نشان داد که ریزپوشانی ترکیبات عصاره آنتوسیانین تفاله انگور قرمز، به ویژه با استفاده از صمغ زرد و موسیلاژ ریحان در نسبت وزنی ۲ به ۱ (۲ درصد صمغ زرد، ۱ درصد موسیلاژ ریحان) منجر به افزایش چشمگیر پایداری و حفظ مقادیر بالای آنتوسیانین در مقایسه با عصاره آزاد گردید. این امر مؤید نقش محافظتی مؤثر مواد پوشاننده در برابر عواملی چون اکسیداسیون و تخریب حرارتی در طول فرآیند خشک کردن و نگهداری است. نمونه‌های کیک حاوی پودر ریزپوشانی شده، به طور معنی‌داری از نظر میزان آنتوسیانین، ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی، برتری قابل توجهی نسبت به نمونه کیک شاهد (حاوی عصاره آزاد) نشان دادند. یکی دیگر از یافته‌های مهم این پژوهش، تأثیر مثبت ریزپوشانی بر پایداری ترکیبات زیست‌فعال در طول زمان ماندگاری محصول بود که برخلاف نمونه شاهد که کاهش محسوسی در ترکیبات فعال خود تجربه کرد، کیک حاوی پودر ریزپوشانی شده، حفظ بهتر این ترکیبات را در طول دوره ماندگاری از خود نشان داد. به طور کلی، نتایج این مطالعه بیانگر آن است که ریزپوشانی عصاره تفاله انگور قرمز با استفاده از صمغ زرد و موسیلاژ ریحان، روشی کارآمد و پایدار برای افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌ها و رنگدانه‌های طبیعی در محصولات غذایی است. این تکنیک نه تنها به حفظ و ارتقاء ترکیبات زیست‌فعال کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان جایگزینی سالم و طبیعی برای رنگ‌ها و افزودنی‌های مصنوعی در صنایعی چون تولید نان و شیرینی، نوشیدنی‌ها، محصولات لبنی و سایر فراورده‌های غذایی مورد استفاده قرار گیرد. لذا،

توسعه و تجاری‌سازی این فناوری می‌تواند گامی مهم در جهت تولید محصولات غذایی سالم‌تر، با ارزش تغذیه‌ای بالاتر و جذابیت بصری بیشتر باشد.

پیشنهادات برای تحقیقات آینده

۱. بررسی اثر سطوح مختلف مواد پوشاننده و نسبت‌های متفاوت آن‌ها بر ویژگی‌های ریزپوشانی.
۲. ارزیابی تأثیر فرآیندهای حرارتی مختلف (مانند پخت در دماهای بالاتر) بر پایداری ریزکپسول‌ها.
۳. مطالعه اثرات حسی (طعم و عطر) ناشی از افزودن پودر ریزپوشانی شده به محصولات غذایی مختلف.
۴. مقایسه کارایی این روش ریزپوشانی با سایر تکنیک‌های رایج در صنعت.

۵- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مدیریت گروه و آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران کمال تشکر و قدردانی را دارد. امید است که یافته‌های این تحقیق به توسعه دانش و پژوهش‌های آینده در این زمینه کمک کند و بتواند به عنوان منبعی معتبر برای سایر محققان مطرح گردد.

دسترسی به داده ها

مجموعه داده‌هایی که در طول این مطالعه تولید شده و/یا مورد تحلیل قرار گرفته‌اند، در صورت درخواست از نویسنده مسئول قابل دریافت هستند.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ‌گونه منافع مالی رقابتی شناخته‌شده یا روابط شخصی که بتواند بر کار گزارش شده در این مقاله تأثیر گذاشته باشد، ندارند.

۵- منابع

- [1] Braga, M.B., et al., Evaluation of freeze-dried milk-blackberry pulp mixture: Influence of adjuvants over the physical

properties of the powder, anthocyanin content and antioxidant activity. Food

- Research International, 2019. 125: p. 108557.
- [2] Yu, Y .,et al., Bamboo leaf flavonoids extracts alleviate oxidative stress in HepG2 cells via naturally modulating reactive oxygen species production and Nrf2-mediated antioxidant defense responses. Journal of food science, 2019. 84(6): p. 1609-1620
- [3] Dardelle G, Normand V, Steenhoudt M, Bouquerand PE, Chevalier M, Baumgartner P Flavour-encapsulation and flavour-release performances of a commercial yeast-based delivery system Food Hydrocolloids 2007 Jul 1;21(5-6):953-60
- [4] Lakkis, J.M., Encapsulation and controlled release technologies in food systems. 2007: Wiley Online Library
- [5] Hosseini F, Habibi NM, Sedaghat N Effect of different packing Materials and storage conditions on the Color of Black cherry preserves.
- [6] Selvam R, Subramanian L, Gayathri R, Angayarkanni N The anti-oxidant activity of turmeric (*Curcuma longa*) Journal of ethnopharmacology 1995 Jul 7;47(2):59-67
- [7] Bendokas ,V., et al., Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020. 60(19): p. 3352-3365
- [8] Muche, B.M., R.A. Speers, and H. Rupasinghe, Storage temperature impacts on anthocyanins degradation, color changes and haze development in juice of “Merlot” and “Ruby” grapes (*Vitis vinifera*). Frontiers in Nutrition, 2018. 5: p. 421060.
- [9] Tan, C., et al., Combination of copigmentation and encapsulation strategies for the synergistic stabilization of anthocyanins. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2021. 20(4): p. 3164-3191
- [10] de Oliveira Filho, J.G., et al., The potential of anthocyanins in smart, active, and bioactive eco-friendly polymer-based films: A review. Food Research International, 2021. 142: p. 110202
- [11] Sun, Y., et al., Nanoliposomes as delivery system for anthocyanins: Physicochemical characterization, cellular uptake, and antioxidant properties. Lwt, 2021. 139: p. 110554
- [12] Rashwan, A.K., et al., Potential micro-/nano-encapsulation systems for improving stability and bioavailability of anthocyanins: An updated review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023. 63(19): p. 3362-3385
- [13] O'Sullivan, J.J., et al., Atomisation technologies used in spray drying in the dairy industry: A review. Journal of food engineering, 2019. 243: p. 57-69.
- [14] Nedovic, V., et al., An overview of encapsulation technologies for food applications. Procedia Food Science, 2011. 1: p. 1806-1815.
- [15] Grossmith F (1956) Process for the production of jellies or viscous solutions GB patent application 750,126
- [16] Idris, O H M, Williams, P A & ,95-Phillips, G O (1998) Characterisation
- [17] Amjadi, S., Roufeh Garinejad, A., & Hamishehkar, H. (2012). Investigation of antioxidant activity and stability of spray-dried microencapsulated betanin in gummies. Iranian Journal of Food Science and Technology.
- [18] Hosseini parvar, S. H., Matia-merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S. M. A., and Mortazavi, 2010. Steady shear flow behavior of gum extracted from *O cimum bacilicum* L. seed: effect concentration and temperature. Journal of Food Engineering, 101, 236-243.
- [19] Chitgar, M.F., et al., Effects of temperature and solid content on degradation kinetics of anthocyanins in barberry (*Berberis vulgaris* var *asperma*). 2015.
- [20] Abdel-Aal, E.-S.M., P. Hucl, and I. Rabalski, Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. Food chemistry, 2018. 254: p. 13-19.
- [21] Tonon, R.V., C. Brabet, and M.D. Hubinger, Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. Food research international, 2010. 43(3): p. 907-914.
- [22] Mahdavi, S.A., et al., Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with

- maltodextrin, gum Arabic and gelatin. International journal of biological macromolecules, 2016. 85: p. 379-385
- [23] Assous, M., et al., -STABILITY IN EARLY KALECKI'S MACROECONOMICS. Journal of the History of Economic Thought, 2017. 39(1): p. 69-87.
- [24] Nazarlu, Z.H.A., et al., Toxoplasma gondii: A possible inducer of oxidative stress in reproductive system of male rats. Iranian journal of parasitology, 2020. 15(4): p. 521.
- [25] Karazhiyan, H., S.M. Razavi, and G.O. Phillips, Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. Food Hydrocolloids, 2011. 25(5): p. 915-920
- [26] Kuspradini, H., et al., Antioxidant and toxicity properties of anthocyanin extracted from red flower of four tropical shrubs. Nusantara Bioscience, 2016. 82.
- [27] Tonon, R.V., et al., Physicochemical and morphological characterisation of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced with different carrier agents. International Journal of Food Science and Technology, 1950-1958.
- [28] Rutz, J.K., et al., Microencapsulation of purple Brazilian cherry juice in xanthan, tara gums and xanthan-tara hydrogel matrixes. Carbohydrate Polymers, 2013. 98(2): p. 1256-1265
- [29] Kaveh, S., et al., Spray drying of stevia extract: evaluation of physicochemical, functional and microstructural properties. Innovative Food Technologies, 2018. 5(4): p. 637-650
- [30] Kalajahi, S.E.M. and S. Ghandiha, Optimization of spray drying parameters for encapsulation of Nettle (*Urtica dioica* L.) extract. Lwt, 2022. 158: p. 113149.
- [31] Afshar, S.E., Aqua-enzymatic extraction of oil and antioxidative compounds from sesame varieties. 2020
- [32] Osorio, C., et al., Microencapsulation by spray-drying of anthocyanin pigments from corozo (*Bactris guineensis*) fruit. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010. 58(11): p. 6977-6985
- [33] Khoshnoudi-Nia, S., Z. Forghani, and S.M. Jafari, A systematic review and meta-analysis of fish oil encapsulation within different micro/nanocarriers. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022. 62(8): p. 2061-2082
- [34] Kitanovic, S., P. Ames, and J.S. Parkinson, Mutational analysis of the control cable that mediates transmembrane signaling in the *Escherichia coli* serine chemoreceptor. Journal of bacteriology, 2011. 193(19): p. 5062-5072
- [35] Khavarian-Garmsir, A.R., A. Sharifi, and N. Moradpour, Are high-density districts more vulnerable to the COVID-19 pandemic? Sustainable Cities and Society, 2021. 70: p. 102911
- [36] Antony, A. and M. Farid, Effect of temperatures on polyphenols during extraction. Applied Sciences, 2022. 12(4): p. 2107.
- [37] Mau, J.-L., et al., Physicochemical, antioxidant and sensory characteristics of chiffon cake prepared with black rice as replacement for wheat flour. Lwt, 20: ۷۵ .۱۷ p. 434-439.
- [38] Zahed, N. and R. Farahmandfar, Evaluation of color efficiency and antioxidant power of anthocyanin extract of pomegranate peel powder obtained by solvent extraction. Journal of food science and technology (Iran), 2021. 18(117)
- [39] Ansari, M. and M. Hojjati, Optimization of extraction and microencapsulation of anthocyanin pigments extracted from red onion peel and red cabbage. 2018.
- [40] Escribano-Bailon, M., Polyphenol extraction from foods. Methods in polyphenol analysis, 2003
- [41] Bucić-Kojić, A., et al., Effect of extraction conditions on the extractability of phenolic compounds from lyophilised fig fruits (*Ficus carica* L.). Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2011. 61(3): p. 195-199.
- [42] Bagheri, R., et al., Comparing the effect of encapsulated and unencapsulated fennel extracts on the shelf life of minced common kilka (*Clupeonella cultriventris caspia*) and *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in the mince. Food science & nutrition, 2016. 4(2): p. 216-222

- [43] Malviya, S., et al., Antioxidant and antibacterial potential of pomegranate peel extracts. *Journal of food science and technology*, 2014. 51(12): p. 4132-4137.
- [44] Jackman, R.L., et al., Anthocyanins as food colorants—a review. *Journal of food biochemistry*, 1987. 11(3): p. 201-247
- [45] Adam, H., et al., Electrical and optical properties of two types of Gum Arabic. *Sudan Medical Monitor*, 2013. 8(4): p. 174.
- [46] Gharanjig, H., et al., Novel complex coacervates based on Zedo gum, cress seed gum and gelatin for loading of natural anthocyanins. *International journal of biological macromolecules*, 2020. 164: p. 3349-3360
- [47] da Rosa, J.R., Nunes, G.L., Motta, M.H., Fortes, J.P., Weis, G.C.C., Hecktheuer, L.H.R., Muller, E.I., de Menezes, C.R. and da Rosa, C.S. 2019. Microencapsulation of anthocyanin compounds extracted from blueberry (*Vaccinium spp.*) by spray drying: Characterization, stability and simulated gastrointestinal conditions. *Food hydrocolloids*, 89, 742-748
- [48] Saberian,, H., and Pasban Nougabi V. 2023. Thermal stabilization of saffron petal anthocyanin extract using microencapsulation method and its application in food model. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 19(132), 17-31 (In Persian).
- [49] Ahmad, M., et al., Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour & antioxidant potential during in-vitro digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018. 109: p. 435-442
- [50] Mansour, M., M. Salah, and X. Xu, Effect of microencapsulation using soy protein isolate and gum arabic as wall material on red raspberry anthocyanin stability, characterization, and simulated gastrointestinal conditions. *Ultrasonics sonochemistry*, 2020. 63: p. 104927
- [51] Mohd Nawi, N., I.I. Muhamad, and A. Mohd Marsin, The physicochemical properties of microwave-assisted encapsulated anthocyanins from *Ipomoea batatas* as affected by different wall materials. *Food science & nutrition*, 2015. 3(2): p. 91-99
- [52] Kouroschian, M., Sharifi, A., Mahdaviyan, A., & Bolurian, S. (2015). Physicochemical properties of spray-dried microcapsules of wild red raspberry extract. *Innovations in Food Science and Technology Journal*, 4(4), 85–94.
- [53] Yu, H. Huang, Q. 2009. Enhanced in vitro anticancer activity of curcumin encapsulated in hydrophobically modified starch. *Food Chemistry* 119, 669–674
- [54] Athanasia, M. Goula, Konstantinos, G. and Adamopoulos. 2004. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 6642.
- [55] Hesarinejad, M.A., et al., The study of physicochemical and antioxidant properties of encapsulated *Portulaca oleracea* aqueous extract prepared by spray drying method. *Innovative Food Technologies*, 2021. 8(3): p. 325-335.
- [56] Fazaeli, M. Emam-Djomeh, Z. Kalbasi Ashtari, A. Omid, M. 2012. Effect of process conditions and carrier concentration for improving drying yield and other quality attributes of spray dried black mulberry (*Morus nigra*) juice. *Int. J. Food Eng.*, 8, (1), 1–2
- [57] Shahidi, B., et al., Phytochemical properties evaluation of drink powder of flaxseed (*Descurainia Sophia*) extract produced by ohmic heating. *Innovative Food Technologies*, 2021. 8(3): p. 309-324.
- [58] Tonon, R.V., Brabet, C., & Hubinger, M.D. 2010. Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3):907-914.
- [59] Sari, P., et al., Colour properties, stability, and free radical scavenging activity of jambolan (*Syzygium cumini*) fruit anthocyanins in a beverage model system: Natural and copigmented anthocyanins. *Food Chemistry*, 2012. 132(4): p. 1908-1914.
- [60] Metini, S., Mortazavi, S. A., Sadeghian, A., & Sharifi, A. (2018). Investigating the physicochemical properties of

- microencapsulated extract of red grape skin of Sardasht and studying its stability in yogurt. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 7(3), 241-254.
- [61] Mildner-Szkudlarz, S., et al., Evaluation of antioxidant activity of green tea extract and its effect on the biscuits lipid fraction oxidative stability. *Journal of food science*, 2009. 74(8): p. S362-S370.
- [62] Drosou, C., et al., A comparative study on different extraction techniques to recover red grape pomace polyphenols from vinification byproducts. *Industrial Crops and Products*, 2015. 75: p. 141-149.
- [63] Marand, M.A., et al., Fortification of yogurt with flaxseed powder and evaluation of its fatty acid profile, physicochemical, antioxidant, and sensory properties. *Powder Technology*, 2019. 359: p. 76-84



Scientific Research

Investigation of anthocyanin extraction conditions from red grapes using microencapsulation method and its application in Red Velvet cake

Nasrin Amjadian*, Shima Mozezi, Alireza Faraji

1*-Master of Science in Food Science and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Islamic Azad University, Tehran

2-Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Islamic Azad University, Tehran

3-Assistant Professor and Faculty Member, Department of Food Science and Technology, Faculty of Pharmaceutical Sciences, Islamic Azad University, Tehran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2025/12/12

Review: 2026/06/01

Accepted: 2026/06/06

Keywords:

Anthocyanin,

red grape pomace,

micro-coating,

Persian gum,

basil seed mucilage

DOI: 10.48311/fsct.2026.117769.82985

*Corresponding Author E-

The effect of applying microencapsulated red grape peel extract with Persian gum and basil seed mucilage on the physicochemical properties (total phenolic content, DPPH radical scavenging activity, anthocyanin content, thermogravimetric analysis, and Fourier-transform infrared spectroscopy) was investigated with the aim of improving its stability and using it in red velvet cake. The results showed that the addition of microencapsulated red grape peel extract to red velvet cake led to an increase and maintenance of total phenolic content and antioxidant activity in the red velvet cake samples. Moreover, microencapsulation of the extract improved the stability of phenolic and antioxidant compounds in the microencapsulated extract compared to the free extract. The obtained results indicated that total phenolic content and DPPH radical scavenging percentage of the extract were significantly affected by microencapsulation ($P \leq 0/05$). By adding 6% microencapsulated extract to red velvet cake, the total phenolic compounds and DPPH radical scavenging percentage increase compared to the free extract, and up to the seventh day of storage, higher amounts of total phenolic compounds and DPPH radical scavenging percentage were observed in the red velvet cake containing microencapsulated extract than in the cake with free extract. In addition, the microencapsulated samples with a ratio of 2:1 (2% Persian gum and 1% basil seed mucilage) significantly enhanced the stability of the red grape peel extract and showed higher efficiency in the stability tests against pH changes, environmental moisture, and solubility behavior compared to the control sample. In this study, sample No. 4, containing 2% Persian gum and 1% basil seed mucilage, was introduced as the superior treatment. This selection was made based on obtaining the highest scores in the conducted evaluations. The shelf life of red velvet cake in this treatment was confirmed for 7 days under refrigerated storage, without any considerable quality deterioration.