

بهینه‌سازی ریزپوشانی عصاره پوماس سیب و بررسی خواص ضد میکروبی آن در مدل غذایی (کیک روغنی)

پروین شرایعی^{۱*} و الهام آذرپژوه^۲

۱ و ۲: استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۵

چکیده

پژوهش حاضر با هدف استفاده بهینه از پوماس سیب به عنوان پسماند کشاورزی و کارخانه‌های تولید آب سیب اجرا شد. بدین منظور ابتدا عصاره پوماس سیب با روش آب تحت بحرانی (دمای استخراج ۱۳۷ درجه سلسیوس، زمان استخراج ۲۹/۹۱ دقیقه و نسبت آب به پوماس ۳۱ میلی‌لیتر بر گرم) استخراج و پس از آن با استفاده از دیواره‌های مختلف (مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان‌های معادل ۷ و ۲۰ و پکتین) و روش خشک‌کردن انجمادی ریزپوشانی شد. برای طراحی ترکیب دیواره‌ها از نرم‌افزار سطح پاسخ استفاده شد و شبکه یک‌طرفه با نقاط محوری ارتقا یافته در طرح مخلوط (۱۴ ترکیب دیواره) طراحی گردید. ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ریزپوشانی‌ها (میزان رطوبت، راندمان ریزپوشانی، ترکیبات فنلی کل، قدرت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی) نشان داد که استفاده از مخلوط دیواره‌های مالتودکسترین و پکتین تا نقطه مرکزی طرح مثلثی (۳۳/۳۳ درصد)، نسبت به استفاده از دیواره‌ها به تنهایی، باعث بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌شود. بهینه‌یابی غلظت دیواره‌های مختلف برای ریزپوشانی عصاره پوماس سیب با استفاده از بهینه‌یابی عددی و نموداری مشخص کرد که ترکیب دیواره بهینه حاوی ۳۳/۴۱ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۰/۷، ۳۵/۸۴ درصد دیواره پکتین و ۳۰/۷۵ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ است. تأثیر عصاره آزاد (با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و ریزپوشانی شده بهینه (با غلظت ۳۰۰ و ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر خصوصیات حسی (عطر و طعم، رنگ و پذیرش کلی) و میکروبی (تعداد کل کپک و مخمر) کیک روغنی، در مقایسه با نگهدارنده سنتزی سوربات پتاسیم (با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد عصاره پوماس سیب قادر به کنترل رشد کپک و مخمر با حفظ خصوصیات حسی در کیک است و کمترین میزان رشد کپک و مخمر بعد از ۹ روز نگهداری در شرایط محیطی در نمونه حاوی ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عصاره ریزپوشانی شده مشاهده گردید که معادل اثر نگهدارنده شیمیایی سوربات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بود.

واژه‌های کلیدی

ترکیبات فنلی، مالتودکسترین، پکتین، طرح مخلوط

مقدمه

را به جای انواع سنتزی در مواد غذایی به کار برد (Kaur et al., 2006). از این رو تلاش برای استخراج افزودنی‌های طبیعی، به ویژه از محصولات جانبی صنایع غذایی مانند پوست و دانه انگور، پوست و پالپ مرکبات، تفاله سیب و انار، ضایعات پوست

در سال‌های اخیر، نپذیرفتن افزودنی‌ها و نگهدارنده‌های شیمیایی از سوی مصرف‌کنندگان، به دلیل سرطان‌زایی و سمیت احتمالی، باعث توجه به یافتن افزودنی‌های طبیعی شده است که بتوان آنها

بتواند این ترکیبات را در برابر عوامل محیطی حفظ کند اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از روش‌های افزایش پایداری ترکیبات حساس، ریزپوشانی کردن است. به طور کلی ریزپوشانی این ترکیبات به منظور غلبه بر مشکلاتی مانند ناپایداری بو و طعم و مزه نامطلوب و برای بهبود دسترسی زیستی و مدت ماندگاری این ترکیبات به منظور استفاده در غنی‌سازی محصولات غذایی است (Fang & Bhandari, 2010). از آنجا که فرآیند ریزپوشانی ترکیبات مؤثر تحت تأثیر مواد هسته، جنس دیواره و روش خشک کردن قرار می‌گیرد، انتظار می‌رود استفاده از مواد دیواره مناسب از جمله مالتودکسترین و پکتین با روش خشک کردن مناسب (مانند خشک کردن انجمادی) به تولید ریز کپسول‌های پایدار منجر شود.

امروزه در سرتاسر دنیا در ارتباط با ریزپوشانی ترکیبات زیست فعال حاصل از منابع گیاهی مختلف به منظور بهره‌مندی از خواص بیولوژیکی مطلوب آنها پژوهش‌های متعددی شده است. تامپس ساپونجاک و همکاران (Tumbas Saponjac et al., 2016)، ترکیبات زیست فعال استخراج شده از پوماس آلبالو را با دیواره‌های وی پروتئین و پروتئین سویا (۱۰ و ۱۵ درصد) ریزپوشانی و پایداری ریزکپسول‌ها را در محصول کوکی^۵ طی ۴ ماه نگهداری بررسی کردند و نشان دادند کوکی‌های حاوی ترکیبات زیست فعال ریزپوشانی شده، خصوصیات حسی مطلوبی دارند و رنگ آنها تحت تأثیر غلظت ریزکپسول‌ها تغییر می‌یابد. این محققان همچنین گزارش دادند که میزان ترکیبات فنلی کل، میزان آنتوسیانین‌ها و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کوکی‌ها در اثر استفاده از

سیب‌زمینی، ضایعات پیاز و پوسته دانه‌ها افزایش یافته است (Weisburger, 1999).

پوماس سیب، محصول ضایعاتی کارخانه‌های فرآوری سیب است که ۲۵ درصد وزن میوه تازه را تشکیل می‌دهد (Waldbauer et al., 2017). پوماس سیب شامل پوست سیب، گوشت باقی مانده، هسته با دانه‌ها و دم میوه است که به علت رطوبت بالا (حدود ۷۰ تا ۸۵ درصد) در معرض شدید آلودگی میکروبی قرار دارد (Kara & Doymaz, 2015). بررسی‌های فیتوشیمیایی نشان می‌دهد که پوماس سیب غنی از ترکیبات فنلی و زیست‌فعال مختلف مانند اسیدهای فنلی، فلاونول‌ها^۱، کوئرستین گلیکوزید^۲، دی‌هیدروچالکون‌ها^۳ و آنتوسیانین‌هاست (Vrhovsek et al., 2004; Schieber et al., 2001; Kammerer et al., 2014) که اثرهای ضدمیکروبی، ضدویروسی، ضدسرطان‌زایی، ضدالتهابی و آنتی‌اکسیدانی دارند (Takos et al., 2006; Petti & Scully, 2009). در حال حاضر این محصول جانبی و با ارزش به دلیل غیرقابل استفاده بودن، دور ریخته می‌شود یا به مصرف خوراک دام می‌رسد. بنابراین، با توجه به میزان بالای تولید میوه سیب در کشور (۳ میلیون تن در سال ۱۳۹۶)، لزوم استفاده صنعتی و بهینه از چنین حجم وسیعی از ضایعات (حدود ۲۰۰ هزار تن^۴) ضروری به نظر می‌رسد.

عصاره استخراج شده از منابع گیاهی، عموماً غنی از اجزای فعال و حساس (ترکیبات ضد اکسایشی و ضدمیکروبی) است؛ اما مشخص شده است پایداری این ترکیبات در شرایط محیطی مختلف پایین است. بنابراین، استفاده از روشی که

1- Flavonols

3- Dihydrochalcone

5- Cookie

2- Quercetin glycoside

۴- میزان تولید میوه سیب در سال ۱۳۹۶، حدود ۳ میلیون تن بوده است که ۹۰۰ هزار تن آنها برای فرآوری در کارخانه‌های آبمیوه مصرف شده است (۳۰ تا ۴۰ درصد میوه‌ها، فرآوری می‌شوند). با احتساب اینکه پوماس سیب، حدود ۲۵ درصد وزن میوه تازه است، سالانه ۲۰۰ هزار تن پوماس از کارخانه‌های فرآوری به دست می‌آید.

است که سبب کاهش عمر مفید این دسته از مواد غذایی می‌شود. کپک‌های رایزوپوس/استولونیفر، پنی سیلیوم/اکسیپانسوم، پنی سیلیوم/استولونیفر، مونیلیا سیتوفیلیا و گونه‌های موکور و ژئوتریشوم از مهم‌ترین کپک‌های عامل فساد در کیک و محصولات نانوائی هستند (Sahari & Asgari, 2013). با توجه به مصرف زیاد این فرآورده‌ها، لازم است که کنترل‌های میکروبی هم از نظر بهداشتی و هم از نظر صنعتی به منظور بالا بردن زمان ماندگاری و حفظ کیفیت فرآورده به کار برده شود. از آنجا که استفاده از نگهدارنده‌های شیمیایی از جمله سوربات پتاسیم، بنزوات و پروپیونات و غیره به علت مسمومیت، آسیب کبدی، سرطان‌زایی و به مخاطره انداختن سلامتی محدود شده است، این صنعت به دنبال استفاده از نگهدارنده‌های طبیعی و بی‌ضرر (مانند عصاره‌های گیاهی) است، که ضمن حفظ کیفیت و ویژگی‌های حسی، باعث افزایش زمان ماندگاری و بهبود سلامتی مردم نیز گردد. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از عصاره ریزپوشانی شده و آزاد پوماس سیب در فرمولاسیون ماده غذایی مانند کیک به جای نگهدارنده سنتزی سوربات پتاسیم، علاوه بر کنترل و یا مهار رشد کپک‌ها باعث افزایش زمان ماندگاری نیز شود.

با توجه به اهمیت استفاده بهینه از پسماند محصولات کشاورزی و کارخانه‌های صنایع غذایی (کارخانه‌های تولید آب سیب) و استخراج ترکیبات زیست‌فعال از آنها و هم‌چنین نبود تحقیق مدون در این خصوص، پژوهش حاضر با هدف‌های زیر اجرا شد: بررسی تأثیر فرآیند ریزپوشانی با استفاده از دیواره‌های مختلف (مالتودکسترین با دکستروز

ریزکپسول‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. رامی‌رز امبوسا و همکاران (Ramirez Amborsi et al., 2014)، روتین^۱، فلوریدزین^۲ و اسید کلروژنیک^۳ (ترکیبات فنلی موجود در دانه، آب و پوماس سیب) را با استفاده از دیواره بتاسیکلودکسترین ریزپوشانی کردند و نشان دادند ترکیب پلی‌فنلی روتین، بالاترین راندمان ریزپوشانی را دارد، ریزکپسول‌های حاصل از فلوریدزین و روتین انحلال‌پذیری بیشتری در اتانول دارند، در حالی که ریزکپسول‌های حاصل از اسید کلروژنیک انحلال‌پذیری بالاتری در آب دارند.

در پژوهش دیگر، ریزپوشانی عصاره پلی‌فنلی پوست انگور با استفاده از روش‌های خشک کردن پاششی و انجمادی بررسی گردید. در این پژوهش از صمغ عربی، صمغ گوار^۴ و پلی‌دکستروز به عنوان حامل‌های کپسوله کردن استفاده و میزان پلی‌فنل‌ها و آنتوسیانین‌های حفظ شده به ترتیب ۸۱ تا ۹۵ و ۸۰ تا ۹۹ درصد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در حدود ۸۳ تا ۸۵ درصد گزارش شده است (Kuch & Norena, 2016).

یکی از روش‌های ارزیابی پایداری ترکیبات ریزپوشانی شده و آزادسازی آنها در زمان معین و به صورت کامل، بررسی پایداری این ترکیبات در سامانه‌های غذایی است. کیک یکی از محصولات نانوائی پر مصرف به شمار می‌رود که به دلیل عمومی بودن مصرف آن بین قشرهای مختلف مردم و منحصر نبودن مصرف آن به گروه سنی معین، جایگاه بسیار خوبی برای مصرف داراست (Ayobi et al., 1998). رشد کپک و مخمر، یکی از مهم‌ترین مشکلات صنعت تولید محصولات پخت (نظیر کیک)

1- Rutin
3- Chlorogenic acid

2- Phloridzin
4- Guar

صنایع غذایی مشهد استفاده گردید. دستگاه شامل تانک آب دیونیزه، پمپ (Comet type: MTP AX 2/70m) برای تأمین فشار، محفظه استخراج با ظرفیت ۱۴۰ میلی لیتر، کویل گرم کننده محفظه، فشارسنج و کنترل کننده دیجیتالی است. برای استخراج نمونه‌ها از آب دیونیزه استفاده گردید. شرایط استخراج عصاره شامل دمای استخراج ۱۳۷ درجه سلسیوس، زمان استخراج ۲۹/۹۱ دقیقه و نسبت آب به پوماس ۳۱ میلی لیتر بر گرم استخراج بود (شرایط بهینه بر اساس طرح باکس بنکن^۴ مشخص شده است). پس از اتمام استخراج، دمای عصاره حاصل توسط سیستم خنک کننده و با استفاده از جریان آب سرد کاهش یافت.

سپس عصاره در خشک کن انجمادی در دمای ۵۵- درجه سلسیوس با فشار ۰/۱۵ میلی متر جیوه طی ۲۰ ساعت خشک شد. نمونه‌های خشک شده تا زمان اجرای آزمایش‌های بعدی، در تاریکی و دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

ریزپوشانی عصاره پوماس سیب

به منظور ریزپوشانی عصاره پوماس سیب، ترکیب دیواره‌های مختلف (مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان معادل ۷، پکتین و مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان معادل ۲۰) با استفاده از طرح مخلوط (طراحی شبکه یک طرفه با نقاط محوری ارتقا یافته) مشخص شدند. کل منطقه مثلثی شامل ۱۴ نقطه طراحی شده با سه تکرار بود. ابتدا محلول‌های مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان معادل ۷ و ۲۰ و پکتین با درصدهای مشخص شده در جدول آنالیز آماری سطح پاسخ مرکب (جدول ۱) در آب مقطر در غلظت ۱۰ درصد تهیه گردیدند. پس

اکی‌والان ۷، پکتین و مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰) در غلظت‌های مختلف بر پایداری عصاره استخراج شده؛ ارزیابی حسی؛ و بررسی فعالیت ضد میکروبی (ضد قارچی) عصاره آزاد و ریزپوشانی شده در سیستم غذایی (کیک روغنی)، در مقایسه با نگهدارنده شیمیایی سوربات پتاسیم.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

پوماس سیب از کارخانه رضوی واقع در شهر مشهد خریداری و بلافاصله در آون با دمای ۴۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به رطوبت زیر ۱۰ درصد خشک شد. نمونه‌های خشک شده با آسیاب آزمایشگاهی پودر شدند و اندازه ذرات آنها با استفاده از الک با مش ۴۰ میکرومتر تنظیم شد. نمونه‌ها تا زمان اجرای آزمون‌ها در فریزر با دمای ۱۸- درجه سلسیوس نگهداری شدند.

سایر مواد مورد استفاده در این پژوهش شامل اتانول ۹۶ درصد، اسید کلریدریک، کلرید سدیم، نیترات منیزیم، محیط کشت میکروبی، رادیکال ۲ و ۲-دی فنیل ۱-۱- پیکرو دی هیدرازیل^۲، معرف فولین سیوکالچو^۳، کلرید پتاسیم، کلرید آلومینیوم، هیدروکسید سدیم، کلرید آهن هفت آب، کربنات-پتاسیم، استات سدیم، متانول، مالتودکسترین (دکستروزاکی‌والان معادل ۷ و ۲۰) و پکتین (دکستروزاکی‌والان ۷۰ تا ۷۵) از شرکت‌های سیگما و مرک خریداری شدند.

استخراج ترکیبات زیست فعال پوماس سیب

برای استخراج ترکیبات زیست فعال پوماس سیب از دستگاه طراحی و ساخته شده توسط آزمایشگاه فناوری‌های نوین موسسه پژوهشی علوم و

1- Dextrose equivalent (DE)

3- Folin Ciocalteu

2- 2,2- Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)

4- Box-Behnken

حاوی ۳۳/۴۱ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی والان ۷، ۳۵/۸۴ درصد دیواره پکتین و ۳۰/۷۵ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی والان ۲۰) با غلظت‌های ۳۰۰۰، ۴۵۰۰ و ۷۰ میلی‌گرم بر لیتر به مخلوط اضافه شدند (مقادیر بر اساس آزمون حداقل غلظت مهارکنندگی رشد کپک با استفاده از روش رقیق‌سازی لوله‌ای انتخاب شدند). پس از اتمام پخت و خروج سینی‌ها از درون فر، کیک‌های پخته شده به آزمایشگاه انتقال داده شدند و اجازه داده شد در معرض هوای آزمایشگاه سرد گردند. کیک‌ها در بسته‌های پلی‌اتیلنی با ضخامت ۷۰ میکرون بسته‌بندی و به مدت ۹ روز در شرایط محیط (دمای ۲۵ درجه سلسیوس) نگهداری شدند و در روز تولید (بعد از ۴ ساعت خنک شدن)، ۳ و ۹ روز پس از تولید، آزمایش اندازه‌گیری تعداد کل کپک و مخمر اجرا شد.

از آن، محلول‌ها به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی مخلوط و ۲۴ ساعت در یخچال برای کامل شدن فرآیند هیدراتاسیون نگهداری شدند (Wang et al., 2013). عصاره پوماس سیب در نسبت هسته به مواد دیواره ۱ به ۵ تهیه شد. محلول‌های تهیه شده به منظور یکنواخت شدن، به مدت ۳۰ دقیقه با همزن مغناطیسی هم زده شدند. محلول‌های حاوی مواد دیواره و هسته (حدود ۲۰۰ میلی‌لیتر از هر نمونه) در خشک‌کن‌های انجمادی، مانند روش خشک کردن عصاره‌ها، خشک شدند.

روش تهیه خمیر و پخت کیک روغنی (یزدی)

کیک روغنی به روش نقی‌پور (Naghypour, 2012) تهیه شد. سوربات پتاسیم به عنوان نگهدارنده شیمیایی ضد میکروبی در سطح ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و همچنین عصاره استخراج شده پوماس سیب (عصاره آزاد) و ریزپوشانی شده بهینه (ترکیب دیواره

جدول ۱- ترکیب دیواره بر اساس سطح پاسخ مخلوط عصاره ریزپوشانی شده پوماس سیب

ترکیب دیواره (درصد)			
تیمار	مالتودکسترین با دکستروزاکی والان معادل ۷	پکتین	مالتودکسترین با دکستروزاکی والان معادل ۲۰
۱	۰	۵۰	۵۰
۲	۵۰	۰	۵۰
۳	۰	۰	۱۰۰
۴	۵۰	۵۰	۰
۵	۱۰۰	۰	۰
۶	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷
۷	۱۰۰	۰	۰
۸	۰	۱۰۰	۰
۹	۰	۰	۱۰۰
۱۰	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷
۱۱	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷
۱۲	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳
۱۳	۵۰	۵۰	۰
۱۴	۰	۱۰۰	۰

اندازه‌گیری قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد

خصوصیات شیمیایی پوماس سیب

DPPH^۱

محللول ۰/۰۰۶ درصد رادیکال آزاد DPPH در متانول تهیه شد. به لوله‌های آزمایش حامل یک میلی‌لیتر محللول متانولی نمونه با غلظت‌های مختلف (بسته به قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد)، یک میلی‌لیتر از محللول فوق اضافه شد. لوله‌های آزمایش بعد از ورتکس شدن به مدت یک ساعت در جای تاریک نگهداری شدند و جذب آنها در طول موج ۵۱۲ نانومتر در برابر شاهد قرائت گردید. درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد بر حسب رابطه ۱ محاسبه شد.

$$A\% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100 \quad (1)$$

که در آن،

$A\%$ = درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH؛ A_c = جذب شاهد؛ A_s = جذب نمونه (Brand Williams *et al.*, 1995).

تعیین مقدار رطوبت ریزکپسول‌ها

مقدار رطوبت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج فروسرخ (مادون‌قرمز) (MX-50, Japan) در دمای 105 ± 1 درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد (Najaf Najafi, 2010).

تعیین مقدار ترکیبات فنلی ریزکپسول‌ها

برای شکستن دیواره و حل شدن مواد هسته، ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر با مخلوطی از اتانول، اسیداستیک و آب (نسبت ۵۰:۸:۴۲) با هم‌زن مغناطیسی به مدت ۲ دقیقه کاملاً مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ گردید. پس از فیلتر کردن، از مایع بالایی (سوپرناتانت^۲) برای تعیین ترکیبات فنلی به روش یوسنیک و همکاران (Usenik *et al.*, 2008) استفاده شد.

آزمون‌های شیمیایی بر اساس روش‌های استاندارد مندرج در نشریه انجمن رسمی شیمیدان‌ها (AOAC, 2000) اجرا گردید. درصد رطوبت از طریق خشک کردن با اون الکتریکی (Memmert oven, model UL 40, schwabach, Germany) و خاکستر با استفاده از کوره الکتریکی (Ex.1200.2L, Excition Co., Iran) و در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس تعیین شد. پروتئین با استفاده از دستگاه کج‌جدال (Gerhardt, German) و ضریب تبدیل ۶/۲۵ اندازه‌گیری شد. چربی توسط دستگاه سوکسله تعیین و میزان کربوهیدرات کل نیز از طریق کسر مجموع رطوبت، پروتئین، خاکستر و چربی از صد محاسبه گردید.

تعیین ترکیبات فنلی

میزان ترکیبات فنلی کل پوماس سیب و ریزکپسول‌ها با معرف فولین‌سیوکالچو اندازه‌گیری شد. به ۱۰۰ میکرولیتر عصاره نمونه (با متانول ۱۰:۱ حجمی / حجمی رقیق شده) ۶ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر و ۵۰۰ میکرولیتر معرف فنل‌سیوکالچو اضافه گردید، بعد از ۸ ثانیه تا ۸ دقیقه در دمای اتاق ۱/۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم (۲۰ درصد وزنی / حجمی) اضافه گردید. عصاره مخلوط و به آن اجازه داده شد که ۳۰ دقیقه در دمای ۴۰ درجه سلسیوس بماند و سپس جذب در ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. میزان ترکیبات فنولی کل موجود در نمونه از روی منحنی استاندارد تعیین و بر حسب میزان اسید گالیک بیان شد. منحنی استاندارد با رسم کردن داده‌های جذب اسید گالیک در طول موج ۷۶۵ نانومتر در غلظت‌های ۱۰۰ تا ۹۵۰ پی‌پی‌ام به دست آمد (Usenik *et al.*, 2008).

ده نفر ارزیاب آموزش دیده به روش روندا و همکاران (Ronda et al., 2005) مقایسه شدند. از روش ارزیابی هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱= ناپذیرفتنی (خیلی بد)، ۵ = خیلی خوب) برای بررسی این ویژگی‌ها استفاده شد. ارزیابی حسی تمام نمونه‌های یک یک روز پس از پخت و در دمای اتاق پیگیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر مقادیر مختلف دیواره‌ها بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی ریزکپسول‌ها با طراحی شبکه یک طرفه با نقاط محوری ارتقا یافته در طرح مخلوط بررسی شد. کل منطقه مثلثی شامل ۱۴ نقطه طراحی شده با سه تکرار بود. از نرم‌افزار Design expert 11 برای آنالیز رگرسیون سطوح سه بعدی و نقاط پاسخ کوکس استفاده شد. ترکیب دیواره‌های مختلف در جدول ۱ آورده شده است.

آزمایش‌های مرتبط با تعیین خواص ضد میکروبی عصاره پوماس سیب (آزاد و ریزپوشانی شده) و آزمایش‌های مرتبط با ارزیابی حسی و میکروبی کیک روغنی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شدند. میانگین‌های حاصل از اجرای آزمون‌ها با نرم‌افزار MStatC و بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) مقایسه شدند.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکی شیمیایی پوماس سیب

مشخصات فیزیکی شیمیایی پودر خشک شده پوماس سیب مورد استفاده در این پژوهش در جدول ۲ نشان داده شده است.

در این جدول مشاهده می‌شود پوماس سیب حاوی مقادیر بالایی فیبر خام و کربوهیدرات و مقدار

تعیین راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی

راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی بر طبق روش باربوسا و همکاران (Barbosa et al., 2005) محاسبه شد. در این روش، ابتدا مقدار ترکیبات فنلی سطحی یا ریزپوشانی نشده تعیین می‌شود. بدین منظور، ۱۰۰ میلی‌گرم از پودر ریزپوشانی شده با ۱ میلی‌لیتر از مخلوط اتانول و متانول (نسبت ۱:۱) توسط ورتکس به مدت ۱ دقیقه انحلال پودرهای ریزپوشانی نشده مخلوط گردید. پس از فیلتر کردن مخلوط، مقدار ترکیبات فنلی سطحی با روش یوسنیک و همکاران (Usenik et al., 2008) تعیین شد. میزان ترکیبات فنلی کل نیز در پودرهای ریزپوشانی شده طبق همان روش به دست آمد. راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی برابر رابطه ۲ محاسبه گردید:

$$(2) \quad \text{راندمان ریزپوشانی} = \frac{(TP-SP)}{TP} \times 100$$

که در آن،

TP و SP = به ترتیب ترکیبات فنلی کل و سطحی.

کشت و شمارش کپک و مخمر در محصول کیک روغنی

آزمون میکروبی شامل شمارش کلی کپک و مخمر برابر استاندارد ۲-۱۰۸۹۹ و با استفاده از محیط کشت پوتیتودکستروز آگار^۱ دنبال شد (ISIRI, 2008). برای آماده‌سازی نمونه از استاندارد ۴-۸۹۲۳ استفاده شد (ISIRI, 2006). پلیت‌های کشت داده شده در ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۳ روز گرمخانه‌گذاری و سرانجام تعداد کلنی‌های تشکیل شده بررسی و شمارش شدند.

ارزیابی حسی

تیمارهای مختلف بر پایه ویژگی‌های حسی مورد نظر (رنگ، عطر و طعم و پذیرش کلی) توسط

کمی چربی و خاکستر است. مقدار ترکیبات پلی‌فنلی ۱۳/۳۴ میلی‌گرم در صد گرم با قدرت گیرندگی کل پوماس سیب استخراج شده با آب تحت بحرانی، رادیکال آزاد DPPH معادل ۹۲/۳۹ درصد است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی بودر پوماس سیب و عصاره استخراج شده با روش آب تحت بحرانی

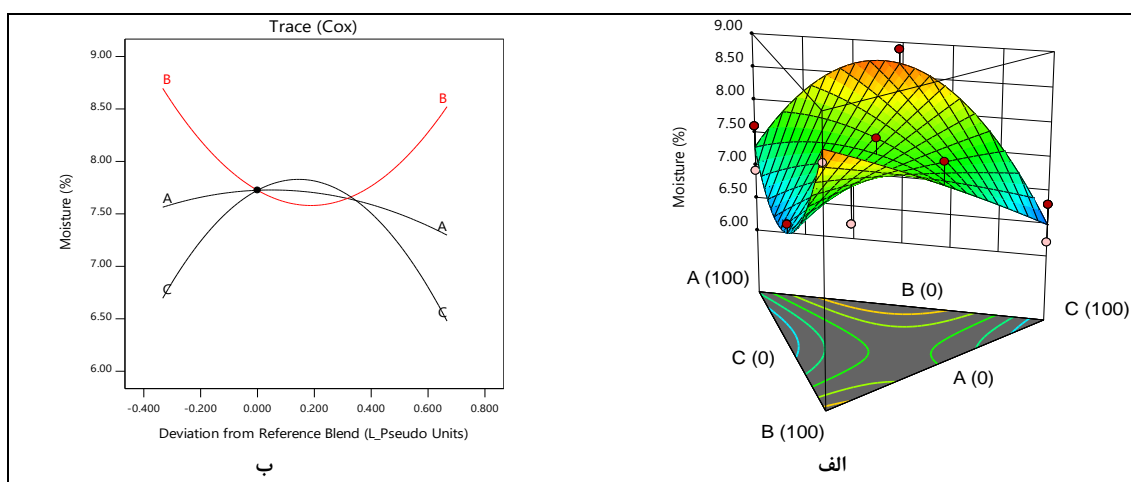
مقدار	ویژگی	
۱۲/۰±۷۴/۱۶*	رطوبت (گرم در صد گرم)	
۲/۰±۱۱/۰۹	خاکستر (گرم در صد گرم)	
۳۷/۰±۲۳/۲۵	فیبرخام (گرم در صد گرم)	
۴/۰±۱۱/۰۴	پروتئین (گرم در صد گرم)	پوماس سیب خشک شده
۳/۰±۰۴/۰۷	چربی (گرم در صد گرم)	
۴۰/۰±۷۷/۲۲	کربوهیدرات کل (گرم در صد گرم)	
۱۳/۰±۳۴/۰۵	مقدار ترکیبات فنلی کل (میلی‌گرم بر گرم)	عصاره استخراج شده
۹۲/۰±۳۹/۰۶	قدرت گیرندگی رادیکال آزاد DPPH (درصد)	با فرآیند آب تحت بحرانی

* اعداد (± انحراف معیار)، میانگین ۳ تکرار است.

ب) مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت مالتودکسترین یا کاهش نسبت پکتین در دیواره، میزان رطوبت ریزکپسول‌ها کاهش می‌یابد. گزارش شده است که کاربرد مالتودکسترین به عنوان دیواره پوشش‌دهنده، به دلیل مقاومت کم در برابر انتقال جرم، باعث افزایش سرعت خشک کردن می‌شود (Ezbiarasi *et al.*, 2014). سایر محققان در مورد ریزپوشانی میوه پنی‌ری^۲ و میوه گاک^۳ با روش خشک کردن پاششی همخوانی دارد (Krishnaiah *et al.*, 2012; Tuyen *et al.*, 2010).

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ریزکپسول‌ها

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ریزکپسول‌های تهیه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول مشاهده می‌شود میزان رطوبت ریزکپسول‌ها تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) با یکدیگر دارند. رطوبت یکی از ویژگی‌های مهم در مواد پودری است که بر راندمان خشک شدن، خاصیت سیالی پودر، چسبندگی، ثبات ذخیره‌سازی، دمای انتقال شیشه‌ای و رفتار کریستالیزاسیون تأثیر می‌گذارد. در نمودار پاسخ کوکس^۱ و رویه پاسخ (شکل ۱ - الف و



شکل ۱- تأثیر ترکیب دیواره بر میزان رطوبت ریزکپسول (Moisture: درصد). الف: نمودار رویه پاسخ، ب) نمودار کوکس. A، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷؛ B، پکتین و C، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰.

1- Cox

2- *Morinda cirifolia*

3- *Momordica cochinchinensis*

جدول ۳- تأثیر نوع و غلظت ترکیبات دیواره (بر اساس طرح مرکب) بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ریزکپسول‌های تهیه شده

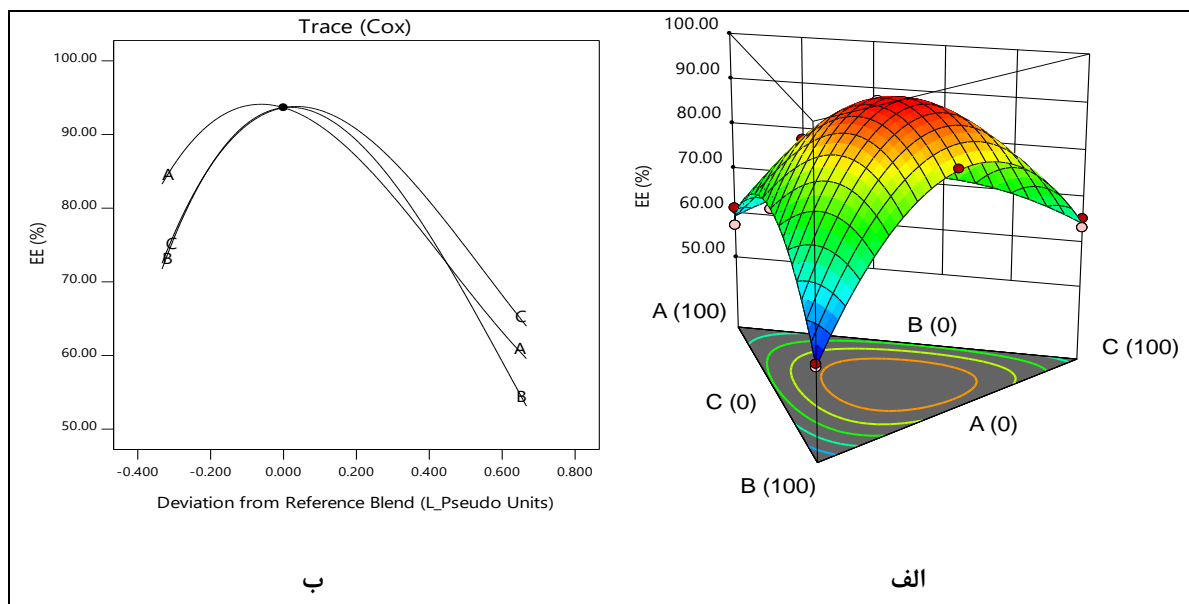
قدرت گیرندگی رادیکال آزاد (درصد)	ترکیبات فنلی کل (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم)	راندمان ریزپوشانی (درصد)	رطوبت (درصد بر اساس وزن مرطوب)	ترکیب دیواره (درصد)		
				مالتودکسترین پکتین DE= ۲۰	پکتین DE= ۷	مالتودکسترین DE= ۷
۶۹/۰۴±۰/۸۴d	۱۰۸۹/۰۹±۷/۱۵b	۸۴/۵۴±۰/۹۴b	۷/۸۹±۰/۵۱ab*	۵۰	۵۰	۰
۶۴/۵۱±۱/۱۸e	۹۷۸/۵۱±۶/۸۲e	۷۱/۵۰±۲/۰۵d	۸/۹±۰/۵۱a	۵۰	۰	۵۰
۵۸/۵۶±۰/۷۳f	۸۹۰/۵۷±۵/۷۹f	۶۳/۰۹±۱/۹۵e	۶/۷۸±۰/۳۴bc	۱۰۰	۰	۰
۴۹/۱۱۵±۰/۲۶h	۹۰۱/۹۷±۷/۸۱f	۷۲/۳۷±۱/۶۱d	۶/۸۳±۰/۹۰bc	۰	۵۰	۵۰
۴۹/۱۱±۰/۲۶k	۷۹۶/۲۱۹±۴/۱۶i	۵۷/۳۷±۰/۸۱f	۷/۶۲±۰/۹۴ ab	۰	۰	۱۰۰
۴۵/۵۴±۰/۹۸i	۱۰۹۶/۴۲±۴/۷۶b	۸۱/۲۳±۲/۵۱c	۷/۱۳±۰/۷۰b	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷
۶۵/۲۸±۰/۷۹e	۸۳۰/۷۸±۸/۲۰h	۶۱/۳۷±۲/۷۶e	۶/۹۴ ±۰/۷۷bc	۰	۰	۱۰۰
۴۴/۲۵±۰/۷۳i	۷۰۸/۳۸±۷/۱۴k	۵۳/۱۰±۲/۳۴g	۸/۷۸±۱/۱۸ a	۰	۱۰۰	۰
۴۰/۵۶±۰/۸۸۵j	۸۷۲/۵۷±۶/۶۵g	۶۵/۰۶±۳/۴۱e	۶/۲۱±۰/۶۵bc	۱۰۰	۰	۰
۶۸/۵۷±۰/۸۵d	۱۰۳۱/۳۳±۶/۳۱d	۸۴/۳۶±۱/۷۹bc	۷/۷۲±۱/۴۳a	۶۶/۶۷	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷
۸۱/۰۵±۰/۹۰c	۱۰۷۳/۸۳±۲/۵۶c	۸۱/۰۷±۱/۵۸c	۷/۴۷±۱/۴۱ ab	۱۶/۶۷	۱۶/۶۷	۶۶/۶۷
۸۶/۸۸±۰/۱۵b	۱۲۹۳/۴۶±۳/۳۵a	۹۳/۲۱±۱/۷۴a	۷/۹۵±۱/۰۶ab	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳	۳۳/۳۳
۹۰/۳۶±۰/۴۳a	۹۸۳/۹۷±۲/۴۴e	۷۲/۴۱±۱/۲۳d	۶/۸۲±۰/۹۶bc	۰	۵۰	۵۰
۵۳/۱۱±۰/۴۳g	۷۲۸/۳۸±۵/۳۰j	۵۲/۸۲±۰/۴۷g	۸/۳۵ ±۰/۴۹ a	۰	۱۰۰	۰

* ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون (میانگین ± انحراف معیار) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن) ($P < 0.05$).

ریزپوشانی ترکیبات فنلی هستند (Jafari *et al.*, 2008). استفاده از پکتین و مالتودکسترین به صورت ترکیب با هم، به سبب ایجاد گرانیروی بالاتر، پوسته‌ای را به سرعت در اطراف ذرات حین خشک کردن ایجاد می‌کند و از این طریق سبب حفاظت بهتر ترکیبات فنلی در برابر شرایط خشک کردن و عوامل محیطی می‌شود (Ezbiarasi *et al.*, 2014). این امکان نیز وجود دارد که فنل‌ها و فلاوونول‌ها با پلی‌ساکاریدها ترکیب شوند. میل ترکیبی فنل‌ها به پلی‌ساکاریدها بستگی به میزان انحلال‌پذیری آنها در آب، اندازه مولکول، تحرک و شکل پلی‌فنل‌ها دارد (Shahidi & Nacz, 2003).

راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی در ریزکپسول‌های تهیه شده از ۵۲/۸۲ تا ۹۳/۲۱ درصد متغیر است (جدول ۳).

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از مخلوط دیواره‌های مالتودکسترین و پکتین تا نقطه مرکزی طرح مثلثی (۳۳/۳۳ درصد)، نسبت به استفاده از دیواره‌ها به تنهایی، باعث افزایش راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی ($P < 0.05$) شده است و با افزایش بیشتر هر یک از دیواره‌ها از نقطه مرکزی، راندمان ریزپوشانی ترکیبات مؤثر کاهش یافته است (شکل ۲ - الف و ب). ویژگی‌های دیواره و مواد هسته، مانند ویژگی‌های امولسیون‌کنندگی و پارامترهای خشک شدن، از عوامل مؤثر بر راندمان

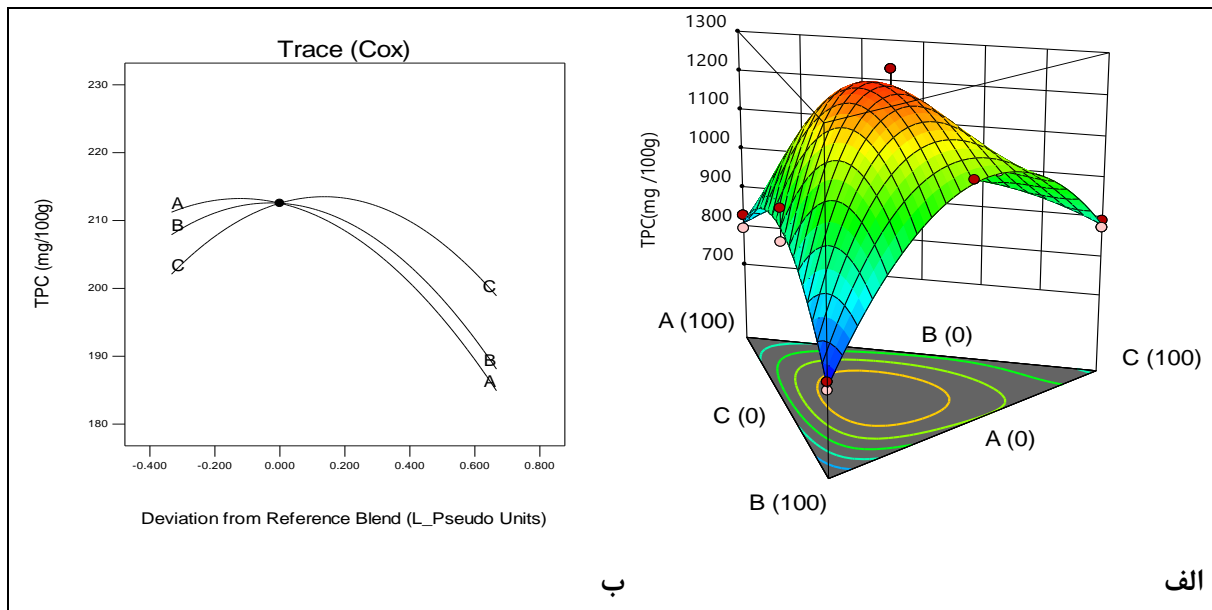


شکل ۲- تأثیر ترکیب دیواره بر راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی (EE : درصد). الف: نمودار رویه پاسخ، ب) نمودار کوکس. A : مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷؛ B : بکتین؛ C : مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰.

استفاده از دیواره مالتودکسترین با درجه هیدرولیز ۲۰، نسبت به دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷، باعث حفظ بهتر ترکیبات فنلی شده است.

مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان بالاتر، به علت کاهش نفوذپذیری کپسول به اکسیژن به حفظ بیشتر ترکیبات فنلی و مواد حساس در کپسول کمک می‌کند (Jafari et al., 2008).

شکل ۳، پاسخ کوکس تأثیر ترکیبات دیواره را بر میزان ترکیبات فنلی ریزکپسول‌های مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۳ و شکل ۳ (الف و ب) مشاهده می‌شود، میزان ترکیبات فنلی در ریزکپسول‌ها با افزایش غلظت دیواره‌ها (از غلظت صفر تا میزان ۳۳/۳۳ درصد) ابتدا به میزان قابل توجهی افزایش و پس از آن با افزایش بیشتر غلظت دیواره (از ۳۳/۳۳ تا ۱۰۰ درصد)، کاهش می‌یابد.



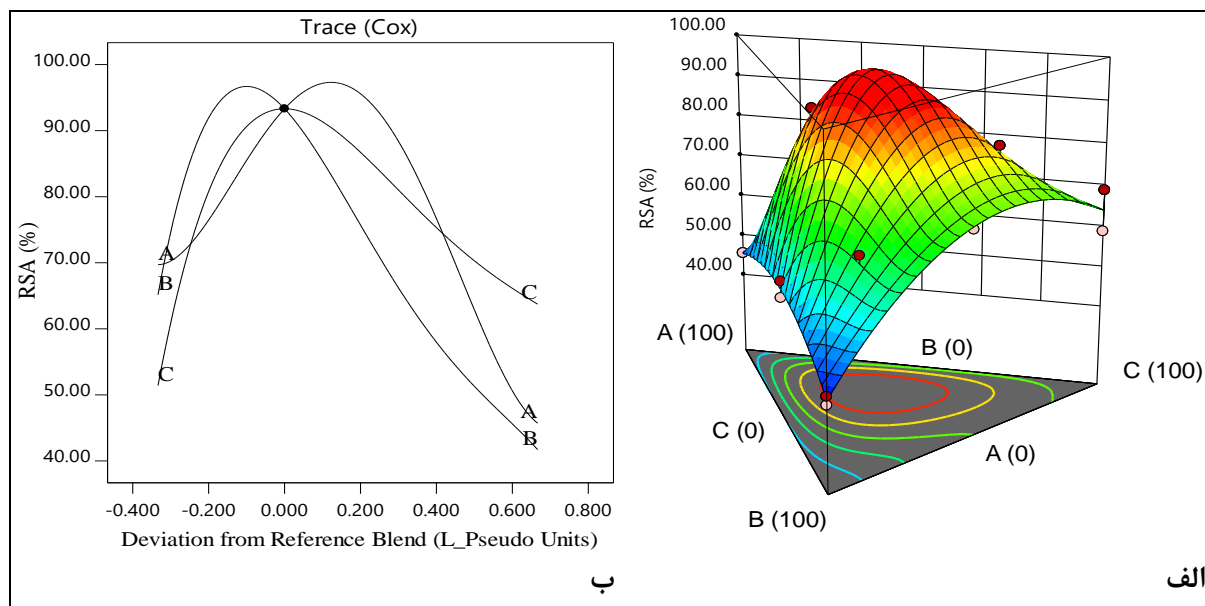
شکل ۳- تأثیر ترکیب دیواره بر میزان ترکیبات فنلی (TPC: میلی گرم بر صد گرم). الف: نمودار رویه پاسخ، ب) نمودار کوکس. A، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷؛ B، پکتین؛ C، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰.

آنتی‌اکسیدانی، نقش مهمی در حذف رادیکال‌های آزاد و فلزهای سنگین و جلوگیری از تشکیل هیدروپراکسیدها در سلول‌های گیاهی دارند (Nogala-Kalucka *et al.*, 2005). نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های پیو (PU, 2010) و بلاساکاسیویتانویک و همکاران همخوانی دارد.

بهینه‌یابی

شرایط بهینه غلظت دیواره‌های مختلف برای ریزپوشانی عصاره پوماس سیب با استفاده از بهینه‌یابی عددی^۱ و نموداری^۲ نرم افزار تعیین شد. بیشینه کردن راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی، میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی به عنوان هدف‌های مورد نظر آزمایش‌ها در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد نظر قرار گرفت و شرایط برای پرداختن به فرآیند بهینه با استفاده از تابع مطلوبیت، به دست آمد.

همان‌طور که از جدول ۳ نیز مشاهده می‌شود، قدرت آنتی‌اکسیدانی ریزکپسول‌های تولید شده بر حسب میزان گیرندگی رادیکال آزاد نیز از ۴۰/۵۶ تا ۹۰/۳۶ درصد متغیر است. با مشاهده نمودارهای کوکس و رویه پاسخ (شکل ۴ الف و ب) مشخص می‌شود در ریزکپسول‌های تهیه شده با دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ به تنهایی در غلظت‌های پایین‌تری، نسبت به دکستروزاکی‌والان ۷، باعث حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود. ترکیب دیواره‌های مالتودکسترین و پکتین (در نقطه مرکزی طرح مثلثی)، در مقایسه با ماده دیواره مالتودکسترین به تنهایی، حاکی از اثر حفاظتی بهتر ترکیب دو دیواره مالتودکسترین و پکتین بر حفظ قدرت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی عصاره است که با نتایج به دست آمده از میزان ترکیبات فنلی و راندمان ریزپوشانی ترکیبات فنلی نیز هم‌پوشانی دارد. ترکیبات فنلی، به دلیل داشتن ویژگی‌های



شکل ۴- تأثیر ترکیب دیواره بر قدرت گیرندگی رادیکال آزاد $DPPH(RSA)$ (درصد). الف: نمودار رویه پاسخ، ب) نمودار کوکس. A، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷؛ B، پکتین؛ C، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰.

تأثیر افزودن عصاره پوماس سیب (آزاد و ریزپوشانی‌شده) بر خواص حسی و میکروبی کیک روغنی

نتایج ارزیابی حسی کیک روغنی (عطر و طعم، رنگ و پذیرش کلی) تحت تأثیر افزودن عصاره (ریزپوشانی‌شده با ترکیب دیواره بهینه با غلظت‌های ۳۰۰۰ و ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و عصاره آزاد و خشک شده انجمادی (۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)، در مقایسه با افزودن نگهدارنده شیمیایی سوربات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و نمونه شاهد (فاقد هر نوع ماده افزودنی)، در جدول ۴ نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد افزودن نگهدارنده‌ها (طبیعی و سنتزی)، باعث افزایش مطلوبیت کیک روغنی به لحاظ عطر و طعم، رنگ و

شرایط بهینه غلظت دیواره‌ها برای ریزپوشانی ترکیب دیواره حاوی ۳۳/۴۱ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷، ۳۵/۸۴ درصد دیواره پکتین و ۳۰/۷۵ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ حاصل شد. در شرایط بهینه ترکیب دیواره‌ها، راندمان ریزپوشانی، میزان ترکیبات فنلی، قدرت گیرندگی رادیکال آزاد و رطوبت ریزکپسول به دست آمده به ترتیب ۹۳/۴۴ درصد، ۱۲۶۳/۷۰ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم، ۹۲/۱۲ درصد، و ۷/۶۷ درصد حاصل شد. برای حصول اطمینان از درست بودن شرایط، آزمایش در شرایط بهینه تکرار گردید. نبود تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) مقادیر حاصل از مدل‌ها و مشاهدات تجربی، کارایی مدل را به خوبی اثبات کرد.

اولیه کیک را عاملی اثرگذار بر بهبود ویژگی‌های حسی از جمله بافت، رنگ و عطر و طعم می‌داند. صالحی و همکاران (Salehi et al., 2006)، اثر پودر سیب (۰، ۵، ۱۵، ۱۰ و ۲۰ درصد (وزنی/وزنی)) را به عنوان جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون کیک بررسی کردند و نشان دادند با افزایش درصد پودر سیب به فرمولاسیون، به دلیل افزایش شیرینی و بهبود طعم، پذیرش کلی نیز افزایش می‌یابد و نمونه حاوی ۱۵ درصد پودر سیب بالاترین امتیاز را از نظر ارزیابی حسی به دست داده است. پذیرش کلی در نمونه حاوی ۲۰ درصد پودر سیب، به دلیل کاهش حجم و سفت شدن کیک کاهش یافت.

پذیرش کلی نسبت به نمونه شاهد، شده است و نمونه حاوی عصاره ریزپوشانی شده با غلظت ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، بالاترین امتیاز عطر و طعم، رنگ و پذیرش کلی را کسب کرده است (آزمون دانکن، $P < 0.05$).

بهبود ویژگی‌های حسی کیک روغنی در اثر افزودن عصاره آزاد و ریزپوشانی شده پوماس سیب احتمالاً به دلیل تأثیر ترکیبات فنلی موجود در آنها بر خواص حسی است. آویس و همکاران (Avis, et al., 2007) نیز با افزودن پوست پرتقال به کیک فنجانی بهبود عطر و طعم محصول تولیدی را گزارش داده‌اند. نخعی مقدم (Nakhae Moghadm, 1999) افزودن عصاره متانولی پوست پرتقال به فرمولاسیون

جدول ۴- میانگین امتیاز داورن به شاخص عطر و طعم کیک روغنی یک روز پس از پخت تحت تأثیر افزودن سوربات پتاسیم، عصاره خشک شده انجمادی (ریزپوشانی نشده، ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) و عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه (۳۰۰ و ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر).

نمونه کیک	عطر و طعم	رنگ	پذیرش کلی
شاهد	۳/۳۰±۰/۰۹b	۳/۰۳±۰/۰۸b	۳/۳۳±۰/۰۲ d
سوربات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)	۳/۳۰±۰/۰۳b	۳/۲۳±۰/۰۳b	۳/۴۳±۰/۰۱c
عصاره خشک شده انجمادی- ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۴/۴۰±۰/۱۷a	۴/۱۰±۰/۰۵a	۴/۰۷±۰/۱۳b
عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه- ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۴/۶۸±۰/۱۳a	۴/۲۵±۰/۱۰a	۴/۶۱±۰/۱۲ a
عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه- ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر	۴/۷۰±۰/۴۸a	۴/۳۰±۰/۴۸a	۴/۷۰±۰/۰۶a

* ارقام دارای حروف مشترک در هر ستون (میانگین ± انحراف معیار) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن $P < 0.05$).

می‌یابد؛ اما هر دو نوع افزودنی طبیعی و سنتزی سبب کاهش میزان رشد کپک و مخمر در نمونه‌های تولیدی، نسبت به نمونه شاهد، شده‌اند. کمترین میزان رشد کپک و مخمر بعد از ۹ روز نگهداری در شرایط محیطی در نمونه حاوی ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه و نمونه حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سوربات پتاسیم مشاهده می‌شود. لازم است گفته شود مطابق با استاندارد ملی ایران در خصوص فرآورده‌های قنادی

در جدول ۵ نتایج ارزیابی میکروبی کیک روغنی (تعداد کل کپک و مخمر) تحت تأثیر افزودن عصاره ریزپوشانی شده و عصاره آزاد خشک شده انجمادی، در مقایسه با افزودن نگهدارنده شیمیایی سوربات پتاسیم و نمونه شاهد، طی ۹ روز نگهداری در شرایط محیط (دمای ۲۵ درجه سلسیوس) نشان داده شده است.

در این جدول مشاهده می‌شود که با افزایش زمان نگهداری، میزان رشد کپک و مخمر افزایش

پوماس سیب احتمالاً به دلیل وجود ترکیبات فنلی است. مشخص شده است ترکیبات فنلی با دارا بودن ویژگی‌های ضد میکروبی به لپیدهای غشای سلولی و میتوکندری وارد می‌شوند و ضمن تغییر شکل سلولی و ایجاد نفوذپذیری بیشتر آنها، باعث خروج یون و دیگر محتویات سلولی می‌گردند. خروج مقادیر مشخصی از مواد داخل باکتری می‌تواند برای سلول قابل تحمل باشد، ولی خروج مقادیر زیاد محتویات سلولی با خروج مولکول‌ها و یون‌های حیاتی سبب مرگ سلول می‌شود (Pauli, 2006). مهار بهتر عصاره ریزپوشانی شده، نسبت به عصاره آزاد، احتمالاً به دلیل حفاظت ترکیبات فنلی طی فرآیند حرارتی تهیه کیک و آزاد سازی تدریجی آنها طی دوره نگهداری است.

با توجه به نتایج حاصل از آزمون حسی و میکروبی، می‌توان عصاره آزاد و ریزپوشانی شده پوماس سیب را به جای نگهدارنده شیمیایی سوربات پتاسیم معرفی کرد.

به شماره ۲۳۹۵، تمام نمونه‌های کیک حاوی افزودنی‌های طبیعی و سنتزی تا پایان ۹ روز نگهداری در شرایط محیط، به لحاظ بار میکروبی، در محدوده قابل قبول قرار دارند (ISIRI, 1994).

اثر بازدارندگی از رشد کپک و مخمر توسط سوربات پتاسیم، احتمالاً به دلیل مهار آنزیم‌های دهیدروژناز، سولفیدریل اکسیداز و کاتالاز در سلول میکروبی است (Buazzi & Marth, 1991). مارین و همکاران (Marin et al., 2002)، تأثیر نگهدارنده‌های بر پایه اسید ضعیف (مانند سوربات پتاسیم، بنزوات سدیم، پروپیونات کلسیم) را در انواع فرآورده‌های قنادی بر محافظت از فساد آسپیریلوس نایجر و آسپیریلوس فلاووس بررسی و گزارش کردند که سوربات پتاسیم با غلظت ۰/۳ درصد (۳ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) به طور چشم‌گیری مانع از رشد و فساد قارچی در این نوع محصولات شده است. محافظت از رشد کپک و مخمر با عصاره ریزپوشانی شده و آزاد

جدول ۵- میزان رشد کپک مخمر در کیک روغنی ($Log 10 (cfu/g)$) طی ۹ روز نگهداری در شرایط محیطی تحت تأثیر افزودن سوربات پتاسیم، عصاره خشک شده انجمادی (ریزپوشانی نشده، ۳۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه (۳۰۰ و ۴۵۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر).

دوره نگهداری (روز)			نمونه کیک
۹	۳	در روز اول تولید	
۱/۶۴±۰/۵۵ a	۱/۲۲±۰/۱۰ a	-	شاهد
۰/۲۲±۰/۰۶ d	-	-	سوربات پتاسیم (۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر)
۱/۲۸± ۰/۱۸ b	۰/۸۸±۰/۱۸ b	-	عصاره خشک شده انجمادی - ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر
۰/۶۷± ۰/۰۶ c	-	-	عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه - ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر
۰/۲۶± ۰/۰۲ d	-	-	عصاره ریزپوشانی شده با ترکیب دیواره بهینه - ۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر

اعداد دارای حروف مشترک در هر ستون از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن، $P < 0.05$).

و پکتین) و ترکیب آنها بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی ریزکپسول‌های تولید شده بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان از

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر نوع ماده دیواره (مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان معادل ۷ و ۲۰

بهبود یابی عددی و نموداری، ترکیب دیواره حاوی ۳۳/۴۱ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷، ۳۵/۸۴ درصد دیواره پکتین و ۳۰/۷۵ درصد دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ حاصل شد.

نتایج ارزیابی میکروبی یک روغنی (تعداد کل کپک و مخمر) تحت تأثیر افزودنی‌های طبیعی و سنتزی، طی ۹ روز نگهداری در شرایط محیط (دمای ۲۵ درجه سلسیوس)، نیز نشان داد کمترین میزان رشد کپک و مخمر بعد از ۹ روز نگهداری در شرایط محیطی در نمونه حاوی ۴۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر عصاره ریزپوشانی با ترکیب دیواره بهینه و نمونه حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سوربات پتاسیم مشاهده شده است.

دست رفتن ترکیبات فنلی به شکلی چشمگیر به نوع، غلظت و ترکیب مواد دیواره بستگی دارد. میزان ترکیبات فنلی و قدرت آنتی‌اکسیدانی ریزکپسول‌های تهیه شده با مخلوط دیواره‌های یکسان (۳۳/۳۳ درصد از هریک از دیواره‌های مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان، مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ و پکتین)، مخلوط دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷ (۶۶/۶۷ درصد)، پکتین (۱۶/۶۷ درصد) و مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ (۱۶/۶۷ درصد) و مخلوط دیواره مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۷ (۱۶/۶۷ درصد)، پکتین (۱۶/۶۷ درصد) و مالتودکسترین با دکستروزاکی‌والان ۲۰ (۶۶/۶۷ درصد) به ترتیب نسبت به سایر ترکیبات دیواره‌ها بیشتر است. شرایط بهینه غلظت دیواره‌ها برای ریزپوشانی با استفاده از

تعارض منافع

نویسندگان در رابطه با انتشار مقاله ارائه شده به طور کامل از سوء اخلاق نشر، از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پرهیز نموده‌اند و منافعی تجاری در این راستا وجود ندارد.

مراجع

- ISIRI. 1994. Microbiological properties in confectionery and confectionery products. National Standard of Iran, No. 2395. Iranian Institute of Standards and Industrial Research. [In Persian]
- ISIRI. 2006. Microbiology of Food and Livestock Nutrition - Test Preparation - Primary Suspensions and Decreased Tests for Microbiological Tests - Part 4: Special Regulations for the Preparation of Products other than milk, meat, fish and their products. Ha. Iranian National Standard No. 4- 8923: Iranian Institute of Standards and Industrial Research. [In Persian]
- ISIRI. 2008. Microbiology of Food and Livestock Nutrition - Comprehensive Method for Counting Molds and Yeasts, Part II: Colonial Counting Methods in Products with Equal Activity (Aw) Equal or Less than 0.95. Iranian National Standard, No. 2-10899, Iranian Institute of Standards and Industrial Research. [In Persian]
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington. DC.

- Avis, C., Akingbala, J., and Bassus-Tatlor, G. 2007. Effect of drying and storage on flavor quality of orange peel for cupcakes. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 5(2): 78-82.
- Ayoubi, A., Habibi Najafi, M.B., and Karimi, M. 2008. The effect of adding whey protein concentrate (wpc) and guar gum and xanthan gum on the qualitative and physicochemical properties of oil cake, *Iranian Journal of Food Science and Technology*. 4 (2):35-49. [In Persian]
- Barbosa, M., Borsarelli, C., and Mercadante, A.2005. Light stability of spray-dried bixin encapsulated with different edible polysaccharide preparations. *Food Research Intemational*. 38(8): 989-994.
- Belscak-Cvitanovic, A., Stojanovic. R., Manojlovic, V., Komes, D., Juranovic Cindric, I., Nedovic, V., and Bugarski, B. 2011. Encapsulation of polyphenolic antioxidants from medicinal plant extracts in alginate–chitosan system enhanced with ascorbic acid by electrostatic extrusion. *Food Research International*. 44(4): 1094–1101.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., and Berset, C. 1995. Use of a freeradical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel-Wissens-chaft and Technologie* 28(1): 25–30.
- Buazzi, M.M., and Marth, E. H.1991. Mechanism in the inhibition of *Listeria monocytogenes* by potassium sorbate. *Food Microbioloy*. 8(3): 249-56.
- Ezbilarasi, p. N., Iena, B. S., and Anandharamakrishnan, C. 2014. Microencapsulation of Garcinia Fruit extract by spray drying and its effect on bread quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 94(6): 1116-1123.
- Fang, Z.M. and Bhandari, B. 2010. Encapsulation of polyphenols- a review. *Trends in Food Science and Technology*. 21 (10): 510-523.
- Jafari, s. M., Assadpoor, E., He, Y., and Bhandari, B. 2008. Encapsulation efficiency of food flavours and olis during spray drying. *Drying Technology*. 26(7): 816-835.
- Kara, C., and Doymaz, I. 2015. Effective moisture diffusivity determination and mathematical modelling of drying curves of apple pomace. *Heat Mass Transffer*. 51(7): 983–989.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., and Nithyanandam, R. 2012. Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. *Chemical engineering Research and Design*. 90(5): 622-632.
- Kuck, L.S.; Norena, C.P.Z.2016. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. *Food Chemistry*. 194, 569–576.
- Lata, B., Trampczynska, A. and Paczesna, J. 2009. Cultivar variation in apple peel and whole fruit phenolic composition. *Scientia Horticulturae*. 121(2): 176- 181.
- Marin, S., and Guynot, M.E. 2002. *Aspergillus Flavus* *Aspergillus Niger*, and *Penicillium corylophilum* spoilage prevention of Bakery Products by Means of Weak-acid Preservatives. *Journal of Food Science*. 67(7): 22.
- Najaf Najafi, M. 2010. Usage of ultrasonic waves in the production of emulsion and microencapsulation of effective compounds of Cardamom Oil. PhD dissertation. Ferdowsi University of Mashad. [In Persian]
- Naghipour, F., Sahraeian, B., Habibi, M., Karimi, M.Rial Haddad Khodaparast, M., and Sheikh al-Islami, Z. 2016. Evaluation of the effect of soy juice powder as a natural additive on improving the technological and sensory properties of gluten-free oil cake based on sorghum flour. *Journal of Food Science and Technology*. 61 (13): 89-98. [In Persian]
- Nogala-Kalucka, M., Korczak, J., Dratwia, M., Lampart-Szczapa, E., Siger, A., and Buchowski, M. 2005. Changes in antioxidant activity and free radical scavenging potential of rosemary extract and tocopherols in isolated rapeseed oil triacylglycerols during accelerated tests. *Food Chemistry*. 93, 227–235.

- Pauli, A. 2006. α -Bisabolol from chamomile-A specific ergosterol biosynthesis inhibitor. *Journal of Aromatherapy*. 16(1): 5-21.
- Ramírez-Ambrosi M.; Caldera F.; Trotta F.; Berrueta L.A.; Gallo B. 2014. Encapsulation of apple polyphenols in β -CD nanosponges. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 80(1): 85-92.
- Ronda, F., Gomes, M., Blanco, C.A., and Caballero, P.A. 2005. Effects of polyols and nondigestible oligosaccharides on the quality of sugar free sponge cakes. *Journal of Food Chemistry*. 90(4): 549-55.
- Sahari, M.A. and Asgari, S. 2013. Effects of Plants Bioactive Compounds on Foods Microbial Spoilage and Lipid Oxidation. *Food Science and Technology*. 1(3): 52-61.
- Shahidi, F., and Naczk. 2003. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*, CRC press, R.V.
- Takos AM, Ubi BE, Robinson SP and Walker AR, 2006. Condensed tannin biosynthesis gene are regulated separately from other flavonoid biosynthesis genes in apple fruit skin. *Plant Science*. 170(3): 487-499.
- Tumbas Saponjac, V., Cetković, G., Canadanović-Brunet, J., Pajin, B., Djilas, S., Petrović, J., Lončarević, I., Stajčić, S., and Vulić, J. 2016. Sour cherry pomace extract encapsulated in whey and soy proteins: Incorporation in cookies. *Food Chemistry*. 207, 27–33.
- Tuyen, C. K., Nguyen. M. H., and Roach, P. D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98(3): 385-392.
- Usenić, V., Fabčić, J. and Stampar, F. 2008, Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*. 107, 185–192.
- Vrhovšek, U., Rigo, A., Tonon, D., and Mattivi, F. 2004. Quantitation of polyphenols in different apple varieties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52, 6532–6538
- Wang, G., Chen, J. and Shi, Y. 2013. Preparation of microencapsulated xanthophyll for improving solubility and stability by nanoencapsulation. *Journal of Food Engineering*. 117(1): 82–88.
- Weisburger, J. 1999. Mechanisms of action of antioxidants as exemplified in vegetables, tomatoes and tea. *Food and Chemical Toxicology*. 37(9): 943-948.

Original Research

Optimization of Microencapsulation of Pomace Apple Extract and Evaluation of its Antimicrobial Properties in the Food Model (Oily Cake)

P. Sharayei*, E. Azarpazhooh

* Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran. Email: parvin_sharayei@yahoo.com

Received: 2 May 2020, Accepted: 25 December 2020

<http://doi: 10.22092/fooder.2020.342811.1267>

Abstract

The present study was carried out with the aim of optimizing the use of apple pomace as an agricultural residue and apple juice factories. To achieve this, pomace apple extract was extracted using the subcritical water method (extraction temperature of 137 C, extraction time of 29.91 minutes, and water to pomace ratio of 31 ml/g), and the product was coated using different walls (maltodextrin with dextrose equivalents of 7 and 20, and pectin) and the freeze-drying method. The design of the wall composition was done using the software of the response surface and one-way network design with augmented axial points in mixture design (14 mixture walls). Evaluation of the physicochemical properties of microcapsules (moisture content, yield of microencapsulation, total phenolic compounds, strength of the antioxidant component) showed that using a mixture of maltodextrin and pectin walls at the central point of the triangular design (33.33 %) improved physicochemical properties more than the walls alone. Optimizing the concentration of different walls for microporous pomace apple extract using numerical optimization and optimization diagram showed that the optimal wall composition contains 33.41% of maltodextrin wall with dextrose equivalent 7, 35.84% of pectin and 30.75% of the maltodextrin wall with dextrose equivalent 20, dextrose. Also, the effects of free extract (with a concentration of 300 mg/l) and microcapsulated extracts with mixing the optimal walls (with concentrations of 3000 and 4500 mg/l) compared with the addition of synthetic preservative of potassium sorbate (100 mg/l) and the control sample (without any additive substance) on the sensory properties (aroma or taste, smell, and overall acceptance), total phenolic and microbial contamination (the total number of mould and yeast) of oily cakes were evaluated. The results showed that the pomace extract was able to control the growth of mould and yeast by maintaining the sensory and phenolic characteristics in the oily cakes, and the lowest growth of yeast and mould after 9 days of storage in environmental conditions was observed in samples containing 4500 mg/l microcapsulated extract that was approximately equivalent to the effect of the chemical preservative potassium sorbate (100 mg/l).

Key words: Phenolic compound, Maltodextrin, Pectin, Mixture design.