مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی پودر عصاره نعناع فلفلی ریزپوشانی شده با خشک‌کن پاششی: اثر شرایط مختلف نگهداری بر ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر حاصل

راضیه نیک جو[۱]، سیدهادی پیغمبردوست[۲*]، عارف اولاد غفاری[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

۲- عضو هیات علمی گروه پژوهشی مواد غذایی، پژوهشکده غذایی و کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج

۳- استاد تکنولوژی مواد غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۹۷ /۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۷۰

کلمات کلیدی:

خشک کردن پاششی،

ریزپوشانی،

صمغ عربی،

نعناع فلفلی،

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.06

* مسئول مکاتبات:

peighambardoust@tabrizu.ac.ir

چکیده

امروزه اسانس گیاهان معطر مانند نعناع فلفلی به دلیل داشتن خواص ضد باکتریایی، ضد قارچی، آنتی‌اکسیدانی و جذب رادیکال‌های آزاد مورد توجه قرار گرفته است. ریزپوشانی با خشک کردن پاششی روش نوینی برای محافظت ترکیبات فرار و حساس به حرارت و اکسیژن است. این روش به حفظ مواد مؤثر فرار اسانس نعناع فلفلی در برابر فساد شیمیایی کمک می‌کند. هدف از این مطالعه، بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی پودر عصاره نعناع فلفلی خشک شده با روش پاششی و مطالعه اثر زمان نگهداری بر برخی ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر حاصل بود. برای این منظور از سه دمای هوای ورودی (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ ^{o}C) در خشک کن پاششی، سه غلظت (۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی-حجمی) صمغ عربی (به عنوان حامل) استفاده شد. آزمون‌های پودر شامل دانسیته توده، دانسیته ضربه، زاویه ریپوز، شاخص پیوستگی، اندازه‌گیری ترکیبات فنلی و فعالیت مهار رادیکال DPPH بود. همچنین پودرها به مدت ۱۲۰ روز تحت شرایط نگهداری در نور (۲۵ ^{o}C)، تاریکی(۱۵ ^{o}C) و دمای یخچال (٤ ^{o}C) قرارگرفتند و ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آنها در فواصل زمانی ۳۰ روزه ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که دانسیته توده، دانسیته ضربه و شاخص پیوستگی با افزایش غلظت حامل و دمای هوای ورودی، کاهش یافت. مقدار فنل کل پودرها با افزایش دمای ورودی به خشک کن، کاهش یافت؛ اما در دماهای بالاتر (۱۶۰ و ۱۸۰ ^{o}C) ، افزایش غلظت حامل موجب افزایش مقدار فنل کل گردید. نهایتا می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای خشک‌کن اثر مثبت بر برخی خواص فیزیکی پودر و اثرمنفی بر تخریب ترکیبات فراسودمند مانند پلی‌فنل‌ها و کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پودر خشک شده داشت. اثر تخریبی دماهای بالا را می‌توان با افزایش غلظت ماده حامل (صمغ عربی) جبران نمود. همچنین معلوم گردید که بیشترین میزان کاهش ترکیبات فنلی در تیمارهای با غلظت حامل کمتر و شرایط نگهداری در نور بود، لذا برای حفظ پایداری ترکیبات فنلی در طی دوره‌های طولانی، نگهداری در دمای پایین و شرایط تاریکی مناسب‌تر است.

۱- مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* L متعلق به خانواده *Lamiaceae* (نعناعیان) از جمله گیاهان دارویی و معطری است که به دلیل طیف وسیع کاربرد آن در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی در سطح وسیعی از مزارع کشت می‌شود. برگ‌ها، اسانس و عصاره نعناع، قسمت‌های مورد استفاده این گیاه است. نعناع فلفلی در طب سنتی و پزشکی نیز استفاده می‌شود که دلیل آن حضور مونوترپنوئیدها[1] و ترکیبات فنلی مختلف است. اسانس نعناع فلفلی به عنوان یک ماده ضد میکروبی، ضد اسپاسم، ضد نفخ، ضد اسید، ضد ویروس و همچنین به عنوان آنتی اکسیدان طبیعی شناخته شده است [۱-٤]. اسانس روغنی، فلاونوئید[2]، فیتول‌ها[3]، توکوفرول‌ها[4]، آزولن‌ها[5]، رزمارینیک اسید[6]، کاروتنوئیدها[7] و تانن‌ها[8] از ترکیبات فعال این گیاه هستند. ترکیبات اصلی اسانس روغنی آن منتول (۵۰-۲۹٪)، منتون (۲۵-۱٦٪)، منتیل استات (۵٪)، ایزومنتون، منتوفوران و پیپریتون می‌باشد [۵، ٦]. در بین ترکیبات فعال نعناع فلفلی، پلی-فنل‌ها از فراوانترین متابولیت‌های ثانویه هستند. از جمله خواص بیولوژیک مفید پلی‌فنل‌ها می‌توان به اثر ضدباکتریایی، ضد ویروسی، آنتی اکسیدانی و ضد التهابی آنها اشاره کرد [۷]. ناپایداری این ترکیبات، دشواری استفاده از عصاره‌ها و دمنوش‌های مایع، مشکلات حمل و نقل و نگهداری، از جمله چالش‌های پیش رو در کاربرد این ترکیبات می‌باشند. از طرف دیگر پلی‌فنل‌ها ناپایدار بوده و طعم تلخ و نامطلوبی دارند که این ویژگی نیز استفاده دارویی و خوراکی این ترکیبات را محدود می‌سازد [۸]. یکی از راه‌های کاهش این مشکلات، ریزپوشانی ترکیبات فنلی و حساس به شرایط نامساعد محیطی است [۹]. در بین انواع روش‌های ریزپوشانی، خشک کردن پاششی عملیات متداول برای تبدیل مواد مایع به پودر به منظور نگهداری، تسهیل انبارداری، حمل و نقل، جایجایی و سایر صرفه‌های اقتصادی است [۱۰]. در ارتباط با خواص آنتی اکسیدانی عصاره نعناع فلفلی تحقیقات متعددی انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به توانایی مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH در ۹ گونه نعناع [۱۱] و آثار ترکیبات شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی اسانس نعناع فلفلی [۱۲] اشاره کرد. همچنین خشک کردن عصاره آبی نعناع با حامل‌های دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است [۱۳-۱۵]. از جمله ترکیبات حامل میتوان به صمغ‌ها، نشاسته های اصلاح شده، دکسترین‌ها و لیپیدها اشاره کرد. صمغ عربی به دلیل حلالیت بالا و ویسکوزیته پائین، همچنین دارا بودن مقدار کمی پروتئین در ترکیب خود و خاصیت امولسیفایری از کاربرد گسترده‌ای به عنوان عامل دیواره و کپسوله کننده برخوردار است [۱٦، ۱۷]. در مطالعه قبلی تأثیر فرایند خشک کردن پاششی بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر نعناع فلفلی با استفاده از حامل مالتودکسترین بررسی شد و اثر دماهای خشک کردن و غلظت مالتودکسترین بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر حاصله مطالعه گردید. اما در تحقیق حاضر خشک کردن پاششی عصاره نعناع فلفلی با استفاده از حامل صمغ عربی مورد مطالعه قرار گرفته است. ضمنا، علاوه بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر، مقدار فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرنعناع در شرایط مختلف نگهداری (اثر دما و نور) مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد خام

برگ‌های نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) از مناطق کوهپایه‌ای زاگرس واقع در استان ایلام تهیه شد و به‌مدت ۳ روز در سایه و در دمای اتاق خشک گردید. سپس توسط آسیاب چکشی خرد و از الک با مش ٤۰ (۰/٤ میلی‌متر) عبور داده شد و تا زمان انجام آزمایش‌های بعدی در دمای ۱۸- ^{o}C نگهداری گردید. همچنین صمغ عربی (AG) با دانسیته ۱/٤ g/cm^3 از شرکت سیگما آلدریچ (آلمان) جهت استفاده به عنوان حامل در فرایند خشک کردن پاششی تهیه شد. کربنات سدیم، فولین، گالیک اسید، DPPH و متانول از شرکت مرک (آلمان) خریداری شد.

1. Monoterpenoids
2. flavonoids
3. phytols
4. tocopherols
5. azulenes
6. rosmarinic acid
7. carotenoids
8. tannins

۲-۲- آماده‌سازی عصاره نعناع فلفلی جهت خشک کردن پاششی

به ۱۰۰ میلی لیتر آب با دمای ۸۰ °C ، مقدار معینی برگ نعناع فلفلی خشک و خرد شده با نسبت ۱ به ۱۰ افزوده و به مدت ۳۰ دقیقه در همین دما به آرامی هم زده شد. سپس عصاره استخراج شده از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد. عصاره تهیه شده به‌همراه صمغ عربی در غلظت‌های۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی-حجمی توسط همزن مغناطیسی(L-81، لابینکو بی وی، هلند) مخلوط شد و محلول همگنی به دست آمد که در نهایت به خشک‌کن پاششی منتقل گردید.

۲-۳- خشک‌کن پاششی

در این تحقیق از خشک‌کن پاششی در مقیاس آزمایشگاهی (مهام صنعت، نیشابور، ایران) استفاده گردید. محفظه خشک‌کن به صورت استوانه‌ای با قسمت تحتانی مخروطی شکل با قطر قسمت استوانه‌ای ۱ متر و ارتفاع کل محفظه ۲ متر بود. دستگاه مجهز به یک پمپ تغذیه حجمی پریستالتیک با دبی تغذیه متغیر و ظرفیت حداکثر ۲ لیتر مایع در ساعت با فشار یک bar برای تغذیه خوراک به افشانه بود. خوراک ورودی توسط اتمایزر چرخشی با قطر ۵ سانتی‌متر و قابلیت چرخش توسط کمپرسور هوا، به داخل محفظه خشک‌کن به صورت جریان هم‌جهت با هوای داغ، اتمیزه شد. در همه آزمون‌ها، دور اتمایزر، سرعت جریان خوراک، دمای خوراک و فشار هوای نازل با استفاده از نتایج حاصل از آزمون و خطاهای انجام گرفته، به ترتیب در ۱۸۰۰ rpm، ۲۵ میلی لیتر بر دقیقه، ۱±۳۰ °C و ۰/۱± ۴/۲ bar، ثابت نگه داشته شد. خوراک‌های از قبل تهیه شده به صورت هم‌جهت با هوای ورودی (۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ °C) به داخل محفظه پمپ شدند. پودرهای حاصل از خروجی اصلی تا رسیدن به دمای ثابت و ممانعت از تغییرات رطوبت در دسیکاتور قرار گرفته و سپس در شیشه های تیره و دور از نور تا زمان انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری گردید. آب مقطر به مدت ۱۰ دقیقه قبل از شروع خشک کردن تا رسیدن به دمای خشک‌کن به میزان ثابت، به عنوان خوراک به دستگاه داده شد.

۲-۴- اندازه گیری دانسیته توده

دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر عصاره نعناع فلفلی به استوانه مدرج (۱۰ mL) با درجه‌بندی ۰/۱ mL و از نسبت جرم پودر به حجم اشغال شده در استوانه مدرج، به صورت گرم بر میلی لیتر محاسبه گردید [۱۸].

۲-۵- اندازه گیری دانسیته ضربه

بعد از تعیین دانسیته توده، با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه مدرج وارد شد؛ تا زمانی‌که تغییرات حجم پودر در استوانه متوقف گردید (میانگین ۴۰۰ ضربه)، در نهایت نسبت جرم پودر به حجم حاصل پس از ضربه محاسبه و دانسیته توده حاصل از ضربه بدست آمد [۱۹].

۲-۶- اندازه‌گیری جریان‌پذیری پودر (زاویه ریپوز)

زاویه ریپوز از نوع زاویه استاتیک پرشونده یا ریزشی برای تعیین جریان پذیری نسبی پودرهای غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱۰ گرم پودر عصاره نعناع فلفلی توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطرمجرای خارجی ۱۲ میلی‌متر عبور داده و بر یک سطح افقی صاف ریخته شد و تشکیل یک توده داد. زاویه ریپوز از طریق زاویه تشکیل شده به وسیله شیب توده محصول نسبت به سطح مبنا محاسبه گردید [۲۰].

۲-۷- اندازه‌گیری شاخص پیوستگی

پیوستگی پودر با نسبت هاسنر[1] (HR) قابل محاسبه می‌باشد. نسبت هاسنر به صورت نسبت دانسیته ضربه به دانسیته توده با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد [۲۱].

رابطه (۱)

$$HR = \frac{TD}{BD}$$

در این فرمول HR (نسبت هاسنر)، TD[2](دانسیته حاصل از ضربه)، BD[3](دانسیته توده) می‌باشند. در طبقه بندی پیوستگی پودرها، نسبت هاسنر کمتر از ۱/۲ با پیوستگی کم، بین ۱/۴-۱/۲ با پیوستگی متوسط و بیشتر از ۱/۴ با پیوستگی زیاد طبقه بندی می‌شود.

1. Hausner ratio
2. Tapped density
3. Bulk density

۲-۸- اندازه گیری ترکیبات فنلی کل

۲-۸-۱- ترسیم منحنی کالیبراسیون

ابتدا محلول‌های استاندارد اسیدگالیک در متانول با غلظت‌های مختلف در دامنه ۰/۰٤ تا ۰/٤ میلی‌گرم در میلی‌لیتر آماده شد. سپس به بالن ژوژه‌های ۵۰ میلی‌لیتری، ۱میلی‌لیتر محلول استاندارد اسیدگالیک، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچو[4] (برای تهیه این معرف، معرف فولین سیوکالچو غلیظ با آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰ رقیق شد) و ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم اشباع (۲۰٪) اضافه و با آب مقطر به حجم نهایی رسانده شد. محلول به مدت ۲ ساعت در اتاق تاریک نگهداری و جذب آن در طول موج ۷٦۵ نانومتر خوانده شد [۲۲]. منحنی جذب در برابر غلظت اسیدگالیک (میلی‌گرم به میلی‌لیتر) رسم و رابطه زیر به دست آمد:

رابطه (۲)

۰/۰۰۱۳ X +۰/۰۵٤ = جذب در ۷٦۵ نانومتر

غلظت فنل کل بر مبنای اسید گالیک (mg/mL) =X

مقدار ترکیبات فنلی کل موجود در عصاره نعناع فلفلی از طریق روش رنگ سنجی به روش فولین- سیوکالچو مورد بررسی قرار گرفت [۲۳]. در این روش مقدار ۱ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی، با ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین سیوکالچو مخلوط شده و بعد از ۵ دقیقه، با ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم اشباع به خوبی مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت ٤۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس جذب محلول در سه تکرار توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis 2100) در طول موج ۷٦۵ نانومتر خوانده شد. مقدار کل ترکیبات فنلی با استفاده از معادله خط رسم شده برای اسیدگالیک، بر مبنای میلی‌گرم اسیدگالیک در میلی‌لیتر عصاره بیان شد [۲٤].

۲-۹- اندازه‌گیری مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (فعالیت آنتی اکسیدانی)

درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) پودرهای حاصله با استفاده از روش برند- ویلیامز و همکاران محاسبه شد [۲۵].

براساس این روش ۱ گرم از پودرهای حاصله را در ۱۰ میلی‌لیتر متانول حل کرده و به خوبی هم زده شد. سپس ۳/۹ میلی‌لیتر از محلول متانولی DPPH (۰/۱ میلی مولار) با غلظت ۲۵ ppm (۰/۰۲۵ گرم DPPH در یک لیتر متانول) را به ۰/۱ میلی‌لیتر از محلول پودری افزوده و به خوبی ورتکس شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ با دور ٤۰۰۰ rpm به مدت ۵ الی ۷ دقیقه سانتریفیوژ شد و بعد از آن به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و دمای اتاق قرار گرفتند. جذب محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتری خوانده شد. فعالیت مهار رادیکال آزاد براساس درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید.

رابطه (۳)

$$DPPH\ inhibition\ \% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \times 100$$

Ac جذب نمونه کنترل (نمونه فاقد نعناع فلفلی) و As جذب نمونه عصاره می‌باشد.

۲-۱۰- نگهداری پودر در طی زمان

پودر عصاره نعناع فلفلی در ظرف‌های دربسته به مدت ۱۲۰ روز در شرایط نگهداری زیر نور (دمای ۲۵ ^{o}C)، در تاریکی (دمای ۱۵ ^{o}C) و در دمای یخچال (٤ ^{o}C) نگهداری شدند و طی بازه-های زمانی ۱۵ روزه به مدت ۱۲۰ روز ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرها ارزیابی شد.

۲-۱۱- آنالیز آماری

در این پژوهش دو فاکتور عددی دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی (هر فاکتور در سه سطح) با کاربرد طرح فاکتوریل کامل و در سه تکرار مورد مطالعه قرار گرفت و اثرات خطی و متقابل فاکتورها با کاربرد آنالیز واریانس و استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۳ مورد ارزیابی قرار گرفت تا فاکتورهای مؤثر از لحاظ آماری شناسایی شوند. اثر دما و غلظت بر میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن جهت بررسی معنی‌دار بودن داده‌ها در سطح احتمال خطای ۹۵٪ مشخص گردید.

4. Folin-Ciocalteu

۳- نتایج

۳-۱ تغییرات دانسیته توده پودرها

تغییرات دانسیته توده پودرها تحت تأثیر دمای هوای ورودی خشک کن و غلظت صمغ عربی در جدول ۱ نشان داده شده است. با افزایش دما و غلظت حامل، از مقدار دانسیته توده پودرها به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) کاسته شد. با افزایش دما به دلیل خروج یکباره رطوبت اندازه ذرات بزرگتر شده و خلل و فرج و فضای خالی بین ذرات پودر بیشتر می‌شود، بنابراین از دانسیته توده کاسته می‌شود [۲۶-۲۸]. افزایش غلظت ماده حامل نیز به دلیل افزایش اندازه ذرات پودر و همچنین کاهش مقادیر رطوبت آنها باعث کاهش دانسیته توده گردید. با توجه به اینکه حامل باعث تشکیل پوسته در سطح ذرات می‌شود، افزایش مقدار حامل باعث افزایش میزان هوای حبس شده در ذرات می‌شود و از آن جهت که هوا دانسیته کمتری دارد، دانسیته توده پودر کاهش می‌یابد [۲۹، ۳۰]. نتایج حاصل از این تحقیق مشابه یافته‌های دیگری است که در آنها افزایش دما موجب کاهش دانسیته توده پودر کنسانتره آب پرتقال [۲۹]، رنگدانه بتاسیانین آمارانت [۳۱] و پودر گاک [۲۶] گردید. مقدار دانسیته توده پودرهای حاوی نعناع فلفلی در محدوده ۰/۴۶-۰/۵۶ گرم بر میلی‌لیتر بود.

۳-۲-تغییرات دانسیته ضربه‌ای پودرها

با افزایش دما و غلظت صمغ عربی، از مقدار دانسیته ضربه‌ای پودرها کاسته شد (جدول ۱). اندازه ذره عامل مؤثر در دانسیته ضربه‌ای می‌باشد. اگر اندازه ذرات درشت‌تر باشد در اثر ضربه، حجم تغییر زیادی پیدا نمی‌کند، بنابراین دانسیته ضربه‌ای کوچکتر می‌شود. هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد چون ذرات ریز می‌توانند در منافذ بین ذرات جا گیرند، در نتیجه خلل و فرج کاهش یافته و حجم نیز به تبع آن کاهش می‌یابد و بنابراین دانسیته ضربه‌ای بیشتر می‌شود [۳۲]. از طرفی افزایش غلظت حامل نیز با افزایش ویسکوزیته خوراک موجب تولید قطرات درشت‌تری درون محفظه شده و در نهایت ذرات درشت‌تر خشک و سبک می‌شوند.

Table 1 Variations of bulk and tapped densities, repose angle and Haunser ratio of spray dried peppermint powder as influenced by Arabic gum concentration and inlet air temperature.

Arabic gum (%)	Inlet air temperature (°C)	Bulk density (g/mL)	Tapped density (g/mL)	Repose angle (°)	Haunser ratio (-)
10	140	0.561±0.002^{a}	0.694±0.004^{a}	28.67±0.28^{a}	1.24±0.011^{a}
	160	0.546±0.002^{b}	0.672±0.002^{b}	28.33±0.37^{a}	1.23±0.003^{a}
	180	0.530±0.001^{d}	0.651±0.002^{c}	27.67±0.14^{b}	1.23±0.005^{a}
20	140	0.535±0.001^{c}	0.650±0.002^{c}	27.33±0.18^{b}	1.21±0.002^{b}
	160	0.524±0.005^{e}	0.630±0.002^{d}	26.67±0.35^{c}	1.20±0.011^{c}
	180	0.512±0.003^{f}	0.615±0.002^{e}	26.33±0.41^{c}	1.20±0.009^{c}
30	140	0.495±0.001^{g}	0.606±0.001^{f}	25.67±0.22^{d}	1.22±0.004^{b}
	160	0.482±0.003^{h}	0.577±0.006^{g}	25.33±0.11^{d}	1.20±0.020^{c}
	180	0.465±0.001^{i}	0.562±0.003^{h}	24.67±0.10^{e}	1.21±0.004^{b}

Data are mean of triplicate measurements± SD values. Different letters indicate significant ($p<0.05$) difference between means.

۳-۳- تغییرات جریان پذیری (زاویه ریپوز)

زاویه ساکن یا ایستای ریپوز به صورت زاویه‌ای که یک ماده به شکل یک توده ثابت بر یک سطح صاف و افقی تشکیل می‌دهد؛ تعریف می‌شود. این زاویه با یک شیب ثابت هنگامی که پودر بر یک سطح صاف ریخته می شود تشکیل می‌گردد. مطابق جدول ۱ با افزایش دما و غلظت صمغ عربی از مقدار زاویه ریپوز پودرهای عصاره نعناع فلفلی به طور معنی‌داری ($p<0.05$) کاسته شد که نشان‌دهنده جریان‌پذیری بیشتر پودرها بود. پودرهایی با جریان‌پذیری آزاد آنهایی هستند که زاویه ریپوز کمتر از ۴۰ درجه دارند و زاویه ریپوز بالای ۵۰ درجه نشان‌دهنده چسبندگی و مشکلات جریان‌پذیری است [۳۳]. زاویه ریپوز پودرهای عصاره نعناع فلفلی در محدوده ۲۵ الی ۲۹ درجه بود که نشان می‌دهد پودرها جریان‌پذیری آزاد دارند. تقویت جریان‌پذیری پودرها در

دماهای بالاتر به مقدار رطوبت پایین‌تر آنها نسبت داده می‌شود، زیرا رطوبت بالاتر موجب تضعیف جریان‌پذیری می‌شود. بر اساس مطالعات اسکووایل و پلگ [۳٤]، این موضوع به دلیل افزایش پل‌های مایع و نیروی موئینگی بین ذرات می‌باشد. از طرف دیگر با افزایش اندازه ذرات، نیروهای بین ذره‌ای ضعیف‌تر می‌شود، چسبندگی بین ذرات کاهش می‌یابد و ذراتی با جریان‌پذیری بیشتر تولید می‌شود [۳۲].

۳-٤-تغییرات شاخص پیوستگی پودرها

یکی دیگر از روش‌های ارزیابی جریان‌پذیری پودرها، تعیین نسبت هاسنر و یا همان پیوستگی است. بر اساس نتایج جدول ۱ پیوستگی پودر عصاره نعناع فلفلی در محدوده ۱/۲٤-۱/۱۹ بود که به‌منزله چسبندگی کم تا متوسط و به عبارت دیگر در محدوده خوب تا قابل قبول قرار داشت. اندازه ذرات کوچکتر و حضور ذرات ریز، منجر به ویژگی‌های جریان‌پذیری ضعیف‌تری می‌شود که به صورت نسبت اعداد هاسنر بزرگتر مشخص می‌شود. وقتی که اندازه ذره افزایش می‌یابد، طبق انتظار پیوستگی پودر کاهش و با کاهش اندازه ذره معمولاً پیوستگی افزایش می‌یابد که البته به نوع ماده بستگی دارد [۲۱، ۳۵]. کمترین مقدار پیوستگی پودر نعناع فلفلی در دمای ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین غلظت صمغ عربی (۳۰٪) به دست آمد. ویژگی‌ها و مورفولوژی سطحی ذرات نیز برشاخص جریان‌پذیری پودرها موثرند؛ بدین شکل که ذرات با چروکیدگی یا تورفتگی سطحی بیشتر، سطح تماس بین ذره‌ای کمتری نسبت به ذرات با سطوح صاف دارند. کاهش سطح تماس بین ذرات موجب کاهش واکنش‌ها و اتصالات بین ذره‌ای و در نتیجه کاهش پیوستگی پودرها می‌شود [۳٦].

۳-۸-تغییرات ترکیبات فنلی کل پودرها

نتایج اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل پودر عصاره نعناع فلفلی خشک شده به روش پاششی در شکل ۱ آمده است. مقدار فنل کل نمونه‌ها با افزایش دمای هوای ورودی از ۱٤۰ تا ۱٦۰ درجه سانتیگراد، از ٤٤۰ به ۳۳۱ (mg/100g) کاهش یافت. این امر به دلیل اثر تخریبی دما بر ترکیبات فنلی بوده است.

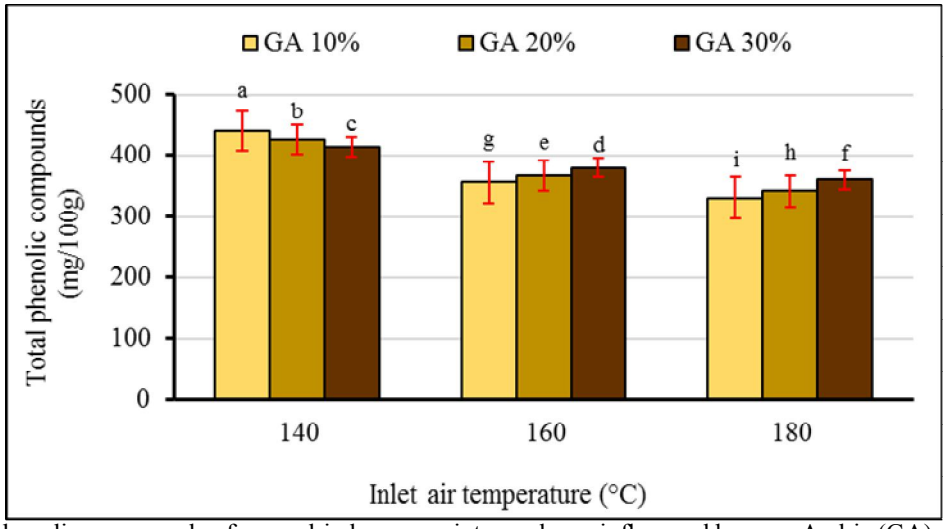

Fig 1 Total phenolic compounds of spray dried peppermint powder as influenced by gum Arabic (GA) concentration and inlet air temperature. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p<0.05$) difference between means.

ترکیبات فنلی در برابر دماهای بالای خشک کردن حساس بوده و افزایش دما می‌تواند باعث تجزیه حرارتی یا اکسیداسیون و در نتیجه باعث کاهش محتوای ترکیبات فنلی شود. از طرفی افزایش غلظت صمغ عربی (از ۱۰ تا ۳۰ درصد) از دمای ۱٤۰درجه سانتی‌گراد به بالاتر، تأثیر مثبتی بر حفظ ترکیبات فنلی داشت. با افزایش غلظت ماده حامل حفظ ترکیبات فنلی افزایش یافت که این امر ممکن است به دلیل اثر محافظتی صمغ عربی در دماهای بالا بر ترکیبات فنلی از یک‌طرف و نیز به دلیل پلیمریزاسیون و سنتز پلی فنول‌ها از طرف دیگر باشد که باعث افزایش محتوای فنلی کل پودرها گردید. گزارش شده است که پودرهای خشک

شده پاششی در دماهای پایین‌تر، تمایل به آگلومراسیون دارند که به دلیل مقدار رطوبت بالاتر آنها می‌باشد. آگلومراسیون باعث می‌شود که ذرات پودر کمتر در معرض اکسیژن قرار بگیرند و بنابراین ترکیبات فنلی از تجزیه شدن محافظت می‌شوند [۱۶، ۱۸].

۳-۶- قدرت مهارکنندگی رادیکال آزاد (DPPH)

فعالیت آنتی اکسیدانی پودرها با معیار قدرت مهار رادیکال‌های آزاد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل ۲ آمده است.

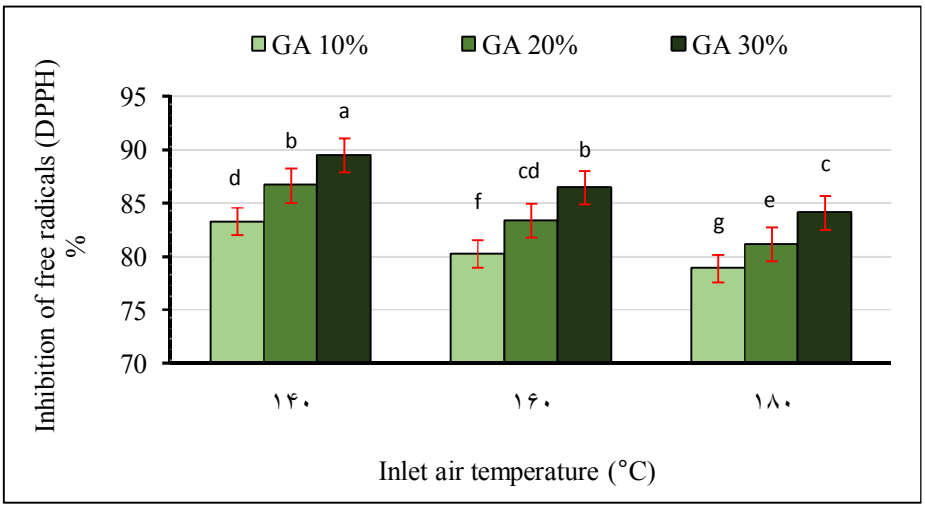

Fig 2 Inhibition of free radicals (DPPH) ability of spray dried peppermint powder as influenced by gum Arabic (GA) concentration and inlet air temperature. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p<0.05$) difference between means.

به طور کلی، دو عامل مورد بررسی، یعنی غلظت صمغ عربی و دمای هوای ورودی خشک‌کن، به طور قابل توجهی فعالیت آنتی اکسیدانی کلی پودرها را تحت تأثیر قرار داد.

با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، فعالیت آنتی اکسیدانی کل نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری ($p<0.05$) کاهش یافت. در غلظت ۱۰ درصد صمغ عربی کاهش از ۸۳/۲ به ۷۸/۹ درصد، در غلظت ۲۰ درصد صمغ عربی کاهش از ۸۶/۷ به ۸۱/۲ و در غلظت ۳۰ درصد صمغ عربی کاهش از ۸۹/۵ به ۸۴/۱ درصد ملاحظه شد (شکل ۱). کاهش میزان فنل کل در دمای بالاتر خشک کردن منجر به از دست رفتن فعالیت آنتی اکسیدانی پودر می‌شود. همچنین احتمالاً دماهای بالاتر، به دلیل اثر منفی بر ساختار ترکیبات فنلی، منجر به شکستن یا سنتز آنها به شکل‌های مختلف می‌شود [۲۶، ۲۷]. به طور مشابه، افزایش فعالیت آنتی-اکسیدانی را می‌توان با افزایش غلظت صمغ عربی و همچنین افزایش مقدار فنل کل توجیه کرد. در واقع با افزایش غلظت صمغ عربی به دلیل کاهش مقدار ترکیبات با فعالیت آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش اندازه ذرات فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش می‌یابد [۳۷، ۳۸]. به طور کلی، بهترین قدرت مهار رادیکال آزاد در دمای هوای ورودی ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و غلظت ۳۰ درصد صمغ عربی بود. همچنین درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد پودرهای عصاره نعناع فلفلی خشک شده به روش پاششی در محدوده ۸۹٪-۷۸٪ بود که نشان‌دهنده درصد بازدارندگی خوب این پودرها بود.

۳-۷- تأثیر زمان و شرایط مختلف نگهداری (نور،تاریکی و یخچال) بر تغییرات مقدار فنل کل

نتایج اندازه گیری مقدار فنل کل پودر اسانس نعناع فلفلی در طی زمان و شرایط مختلف نگهداری در جدول ۲ آمده است. با افزایش زمان نگهداری، میزان فنل کل به طور معنی داری

($p<0.05$) کاهش پیدا کرد. بیشترین کاهش در ۳۰ روز اول نگهداری مشاهده شد و پس از آن سیر نزولی کاهش محتوای فنلی آرام‌تر شد. بیشترین مقدار کاهش ترکیبات فنلی در تیمارهای با غلظت ماده حامل کمتر و شرایط نگهداری در نور بود و کمترین مقدار کاهش مربوط به تیمارهای با غلظت حامل بالاتر و شرایط نگهداری در یخچال بود. بنابراین برای پایداری و یا حتی بهبود ترکیبات فنلی در طی دوره‌های نگهداری طولانی مدت، نگهداری در شرایط دمای پایین و یخچال مناسب‌تر می‌باشد. کاهش بیشتر محتوای فنلی در تیمارهای قرار گرفته شده در معرض نور به دلیل تأثیر نور بر ترکیبات فنلی بود؛ زیرا نور باعث افزایش سرعت تجزیه ترکیبات فنلی می‌شود [۳۹، ٤٠].

۳-۸- تأثیر زمان و شرایط مختلف نگهداری (نور،تاریکی و یخچال) بر قدرت مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH)

با توجه به نتایج جدول ۳، با افزایش زمان نگهداری در همه تیمارهای غلظت‌های مختلف ماده حامل، فعالیت آنتی اکسیدانی (قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH) به طور معنی‌داری ($p <0.05$) کاهش یافت. هچنین با افزایش دمای هوای ورودی به خشک کن فعالیت آنتی اکسیدانی پودرهای حاصله کاهش یافت. اما با افزایش غلظت ماده حامل در همه دماهای خشک کردن، فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش یافت. دلیل کاهش ظرفیت آنتی اکسیدانی پودر در زمان‌های طولانی نگهداری و نیز دماهای بالای نگهداری مربوط به کاهش در ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی آن است [٤١]. خاصیت آنتی‌اکسیدانی پلی فنل‌ها به واسطه گروه‌های هیدروکسیل موجود در ساختار مولکول‌های آن می‌باشد که قادرند از طریق دادن اتم هیدروژن به رادیکال آزاد منجر به ثبات آن شده و درنتیجه با جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و DNA، باعث کاهش هرچه بیشتر عوارض جانبی ناشی از اکسیداسیون گردند [٤٢]. همچنین گزارش شده است که فعالیت آنتی اکسیدانی به میزان زیادی با محتوای فنلی فراورده‌های غذایی در ارتباط است [٤٣]. تونون و همکاران [٤٤] نیز بیان کردند که فعالیت آنتی اکسیدانی با افزایش میزان رطوبت محیط نگهداری، در نتیجه‌ی افزایش تخریب آنتوسیانین‌ها، کاهش یافت.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر شرایط مختلف فرایند خشک کردن پاششی (دمای هوای ورودی و غلظت صمغ عربی) هرکدام در سه سطح بر ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی پودر عصاره نعناع فلفلی بررسی گردید. ویژگی‌های دانسیته توده و ضربه‌ای، زاویه ریپوز و شاخص پیوستگی پودرهای خشک شده تحت تأثیر غلظت حامل و دمای هوای ورودی به خشک کن قرار گرفتند و همگی با افزایش دما و افزایش غلظت حامل کاهش یافتند. مقدار دانسیته توده، زاویه ریپوز و شاخص پیوستگی پودرها به ترتیب در محدوده ۰/۵٦-۰/٤٦ گرم بر میلی‌لیتر ، ۲۹-۲۵ درجه و ۱/۲٤-۱/۱۹، بود که نشان دهنده جریان پذیری بالا و چسبندگی کم پودرها بود. همچنین افزایش دمای هوای ورودی با افزایش تخریب پلی‌فنول‌ها، موجب کاهش مقدار فنل باقی مانده در پودرهای تولید شده و همچنین کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی گردید. اما افزایش غلظت حامل در دماهای بالاتر فرایند نقش حفاظتی در حفظ ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی اکسیدانی از خود نشان داد. بیشترین میزان کاهش ترکیبات فنلی در تیمارهای با غلظت حامل کمتر و شرایط نگهداری در نور بوده است و کمترین میزان کاهش مربوط به تیمارهای با غلظت حامل بالاتر و شرایط نگهداری در یخچال بوده است. به طور کلی در بین شرایط مختلف نگهداری، نور بیشترین اثر مخرب را بر مقدار فنل و حفظ فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها گذاشت و نگهداری در دمای یخچال نیز بهترین شرایط برای حفظ نمونه‌ها به شمار می‌رود. افزایش غلظت حامل در دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد تحرک مولکولی را با توجه به کاهش جاذب الرطوبه بودن و افزایش در ویسکوزیته پودرها، کاهش داد. از طرفی افزایش غلظت از دمای ۱٤۰ درجه سانتی‌گراد به بالاتر، تأثیر مثبتی بر حفظ ترکیبات فنلی داشت و با افزایش غلظت حامل قابلیت حفظ ترکیبات فنلی افزایش یافت که این امر ممکن است به دلیل اثر محافظتی افزایش غلظت حامل در دماهای بالا بر ترکیبات فنلی و همچنین به دلیل پلیمریزاسیون و سنتز پلی فنول‌ها باشد؛ که باعث افزایش محتوای فنلی کل پودرها گردید. نهایتا می‌توان نتیجه گرفت که در فرایند خشک کردن پاششی عصاره نعناع افزایش دمای هوای ورودی خشک کن از ۱٤۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد

اثر مثبت بر خواص فیزیکی پودر نعناع داشت. اما افزایش دما باعث تخریب ترکیبات فراسودمند مانند پلی‌فنول‌ها و کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پودر خشک شده گردید. نتایج نشان داد که اثر تخریبی دماهای بالا را می‌توان با افزایش غلظت ماده حامل (صمغ عربی) جبران نمود. همچنین معلوم گردید که بیشترین میزان کاهش ترکیبات فنلی در تیمارهای با غلظت حامل کمتر و شرایط نگهداری در نور بوده است.

Table 2 Variations of total phenolic content (TPC) of spray-dried peppermint powder as influenced by Arabic gum concentration (10-30%), inlet air temperature (140-180°C), storage days (up to 120 days) and storage conditions (Daylight at 20°C, Darkness at 20°C and refrigerated at 4°C).

Arabic gum (%)	Inlet air temperature (°C)	Storage days/conditions															
		1			30			60			90			120			
		Daylight		Darkness	Refrigerated	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge
10	140	440.9^{gA}		440.9^{gA}	440.9aA	378.6aD	394.5aC	397.4aB	347.7aH	371.2aF	376.1aE	317.5aK	348.4aH	355.0aG	286.5aL	325.8aJ	334.6aI
	160	356.0^{gA}		356.0^{gA}	356.0gA	308.8gD	321.3gC	324.3gB	284.6gH	303.7gF	308.1gE	261.8gK	286.8gH	292.5gG	238.5gL	270.3gJ	277.6gI
	180	331.0^{iA}		331.0^{iA}	331.0iA	291.1iD	302.1iC	304.0iB	270.5iH	286.5iF	289.9iE	250.7iK	271.9iH	276.8iG	231.7iL	258.3iJ	264.5iI
20	140	426.6^{bA}		426.6^{bA}	426.6bA	366.4bD	381.0bC	384.8bB	335.7bH	358.7bF	363.4bE	305.6bK	335.8bH	343.0bG	276.7bL	315.0bJ	323.8bI
	160	367.2^{eA}		367.2^{eA}	367.2eA	318.4eD	331.3eC	334.6eB	293.6eH	313.3eF	317.9eE	269.9eK	294.8eH	302.9eG	246.0eL	278.8eJ	286.2eI
	180	341.7^{hA}		341.7^{hA}	341.7hA	300.3hD	311.0hC	313.0hB	278.6hH	294.3hF	299.0hE	258.2hK	280.1hH	285.2hG	239.1hL	266.1hJ	272.5hI
30	140	414.2^{cA}		414.2^{cA}	414.2cA	355.3cD	369.5cC	373.2cB	326.5cH	347.6cF	353.3cE	297.6cK	326.2cH	333.1cG	268.3cL	305.7cJ	333.9cI
	160	380.0^{dA}		380.0^{dA}	380.0dA	329.3dD	348.4dC	346.7dB	304.1dH	324.7dF	329.5dE	279.0dK	306.3dH	313.0dG	254.4dL	288.8dJ	296.5dI
	180	360.7^{fA}		360.7^{fA}	360.7fA	316.9fD	328.1fC	331.1fB	294.9fH	312.4fF	316.5fE	273.7fK	295.6fH	302.1fG	252.5fL	280.7fJ	278.9fI

Data are mean of duplicate measurements. Significant ($p < 0.05$) differences between means are shown by different lower-case and upper-case letters for each column and row, respectively.

Table 3 Free radical inhibition (DPPH) ability of spray dried peppermint powder as influenced by Arabic gum concentration (10-30%), inlet air temperature (140-180 °C), storage days (1-120 days) and storage conditions (day light at 20°C, dark at 20°C and fridge at 4°C)

Arabic gum (%)	Inlet air temperature (°C)	Storage days/conditions															
		1			30			60			90			120			
		Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	Daylight	Dark	Fridge	
10	140	82.8dA	82.8dA	82.8dA	72.3dD	73.0eC	73.8eB	65.6aF	68.0aE	68.5aE	61.3aI	63.1aH	64.2aG	57.0aL	58.9aK	60.4aJ	
	160	80.0eA	80.0eA	80.0eA	70.5fC	71.0fB	71.4fB	65.4gG	66.5gF	67.2gE	60.4gJ	62.6gI	63.1gH	56.6gM	57.8gL	59.6gK	
	180	78.5fA	78.5fA	78.5fA	68.8gC	69.7gB	70.1gB	64.4iF	65.5iE	65.9iE	60.0iI	62.3iG	61.6iH	55.6iL	57.7iK	58.4iJ	
20	140	86.3bA	86.3bA	86.3bA	75.1bC	76.4bB	76.1bB	69.5bF	71.2bE	71.2bE	64.3bH	66.3bG	66.3bG	59.1bL	61.3bJ	62.5bI	
	160	83.0dA	83.0dA	83.0dA	72.7dD	74.4dC	74.9dB	68.2eG	69.5eF	70.6eE	62.8eJ	65.7eI	66.1eH	58.6eM	60.2eL	62.5eK	
	180	80.7eA	80.7eA	80.7eA	71.5eD	72.5fC	73.1fB	67.1hF	67.2hF	69.1hE	62.7hH	62.7hH	65.5hG	57.8hK	59.2hJ	62.0hI	
30	140	89.4aA	89.4aA	89.4aA	77.6aC	79.4aB	79.1aB	71.6cG	72.3cF	74.1cE	65.3cJ	67.7cI	69.3cH	61.4cM	63.0cL	65.1cK	
	160	86.4bA	86.4bA	86.4bA	75.6bD	78.3bB	77.6bC	71.4dF	71.8dF	73.1dE	65.2dI	66.4dH	68.9dG	60.9dL	62.1dK	64.7dJ	
	180	84.5cA	84.5cA	84.5cA	74.7cC	75.4cC	76.1cB	69.2fF	69.4fF	71.4fE	64.3fH	64.1fH	67.6fG	60.6fK	60.6fJ	64.8fI	

Data are mean of duplicate measurements. Significant ($p<0.05$) differences between means are shown by different lower case and upper case letters for each column and row, respectively.

۵- منابع

[1] Katikova O.I.U., Kostin I.A.V., Iagudina R.I. & Tishkin V.S. (2001). Effect of plant preparations on lipid peroxidation parameters in acute toxic hepatitis. Voprosy Meditsinskoi Khimii 47(6):593–598. [in Russian]

[2] Dragland S., Senoo H., Wake K., Holte K. & Blomhoff R. (2003). Several culinary and medicinal herbs are important sources of

[14] Adamiec J. & Kalemba D. (2004). Microencapsulation of peppermint oil during spray-drying. International Drying Symposium, B(4):1510-1517.
[15] Nikjoo, R. Peighambardoust, S. H. & Olad Ghaffari, A. (2020). Effect of spray drying on physicochemical characteristics and quality of peppermint powder. Journal of Food Science and Technology, 16:99-109 [in Persian].
[16] Quek S.Y., Chok N.K. & Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. Chemical Engineering and Processing 46:386-392.
[17] Frascareli E., Silva V., Tonon R. & Hubinger M. (2012). Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. Food and Bioproducts Processing 90(3):413-424.
[18] Goula A.M., Adamopoulos K.G. & Kazakis N.A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. Drying Technology 22(5):1129–1151.
[19] Goula A.M. & Adamopoulos KG. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: 1. Drying kinetics and product recovery. Drying Technology 26:714-725.
[20] Bhandari B.R., Datta N. & Howes T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. Drying Technology 15:671–684.
[21] Jinapong N., Suphantharika M. & Jamnong P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. Journal of Food Engineering 84:194–205.
[22] Capannesi C., Palchetti I., Mascini M. & Parenti A. (2000). Electrochemical sensor and biosensor for polyphenol detection in olive oils. Food Chemistry 71:553-562.
[23] Song, F.-L., Gan, R.-Y., Zhang, Y., Xiao, Q., Kuang, L., & Li, H.-B. (2010). Total phenolic contents and antioxidant capacities of selected Chinese medicinal plants. International Journal of Molecular Sciences, 11(6):2362-2372.
[24] McDonald S., Prenzler P.D., Autolovich M. & Robards K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry 73:73-84.
[25] Brand-Williams W., Cuvelier M.E. & dietary antioxidants. Journal of Nutrition 133(5):1286–1290.
[3] Ka M.H., Choi E.H., Chun H.S. & Lee K.G. (2005). Antioxidative activity of volatile extracts isolated from *Angelica tenuissimae* roots, peppermint leaves, pine needles, and sweet flag leaves. Journal of Agricultural and Food Chemistry 53(10):4124–4129.
[4] Lopez V., Martin S., Gomez-Serranillos M.P., Carretero M.E., Jager A.K. & Calvo M.I. (2010). Neuroprotective and neurochemical properties of mint extracts. Phytotherapy Research 24(6):869-874.
[5] Bradley P.R. (Ed) (1992). British herbal compendium, Vol 1. British Herbal Medicine Association, Bournemouth.
[6] Leung A.Y. & Foster S. (1996). Encyclopedia of common natural used in food, drug and cosmetics, 2nd Ed. Wiley, New York.
[7] Bennick A. (2002). Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. Critical Reviews in Oral Biology and Medicine 13:184-196.
[8] Bell L.N. (2001). Stability testing of nutraceuticals and functional foods. In: Wildman R. E.C. (Eds.), Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods. CRC Press, New York. Pp. 501-516.
[9] Jafari S.M., Assadpoor E., He Y. & Bhandari B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavors and oils during spray drying. Drying Technology 26:816-35.
[10] Mujumdar A.S. (2004). Research and development in drying: Recent trends and future prospects. Drying Technology, 22:1-26.
[11] Ahmad N., Fazal H., Ahmad I. & Abbasi B.H. (2012). Free radical scavenging (DPPH) potential in nine *Mentha* species. Toxicology and Industrial Health 28(1):83–89.
[12] Schmidt E., Bail S., Buchbauer G., Stoilova I., Atanasova T., Stoyanova A., Krastanov A. & Jirovetz L. (2009). Chemical composition, olfactory evaluation and antioxidant effects of essential oil from *Mentha xpiperita*. Natural Product Communications 4(8):1107-1112.
[13] Hosseinzadeh S., Hddad Khodaparast M.H., Bostan A. & Mohebbi M. (2016). Microencapsulation of Spearmint (*Mentha spicata*) oil using spray drying method. Iranian Food Science and Technology Research Journal. 12:499-511.

Berset C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT-Food Science and Technology 28:25-30.
[26] Kha T.C., Nguyen M.H. & Roach P.D. (2010). Effect of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. Journal of Food Engineering 98:385–392.
[27] Mishra P., Mishra S. & Mahanta C.L. (2013). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of Amla (*Emblica officinalis*) juice powder. Food and Bioproducts Processing 92:252-258.
[28] Goula A.M. & Adamopoulos K.G. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. Journal of Food Engineering 66(1):35-42.
[29] Goula A.M. & Adamopoulos K.G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. Innovative Food Science and Emerging Technologies 11:342–351.
[30] Santhalakshmy S., Bosco S.J.D., Francis S. & Sabeena M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried Jamun fruit juice powder. Powder Technology 274:37-43.
[31] Cai Y.Z. & Corke H. (2000). Production and properties of spray-dried *Amaranthus betacyanin* pigments. Journal of Food Science 65:1248–1252.
[32] Abdullah E.C. & Geldart D. (1999). The use of bulk density measurements as flowability indicators. Powder Technology 102:151–165.
[33] Bhandari B.R., Datta N., D'Arcy B.R. & Rintoul G.B. (1998). Co-crystallization of honey with sucrose. LWT-Food Science and Technology 31(2):138–142.
[34] Scoville E. & Peleg M. (1981). Evaluation of the effect of liquid bridges on the bulk properties of model powders. Journal of Food Science 46:174–177.
[35] Fitzpatrick J.J., Barringer S.A. & Iqbal T. (2004). Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. Journal of Food Engineering 61(3):399–405.
[36] Wang W., Jiang Y. & Zhou W. (2013). Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. Journal of Food Engineering 119:724-30.
[37] Bhandari B.R., Senoussi A., Dumoulin E.D. & Lebert A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices. Drying Technology 11:1081–1092.
[38] Wagner L.A. & Warthesen J.J. (1995). Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. Journal of Food Science 60(5):1048–1053.
[39] Paini M., Aliakbarian B., Casazza A., Lagazzo A., Botter R. & Perego P. (2015). Microencapsulation of phenolic compounds from olive pomace using spray drying: A study of operative parameters. LWT-Food Science and Technology 62(1):177-186.
[40] Pesek C.A. & Warthesen J.J. (1987). Photodegradation of carotenoids in a vegetable juice system. Journal of Food Science 52:744.
[41] Fang Z.X. & Bhandari B. (2011). Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. Food Chemistry 129:1139–1147.
[42] Rice-Evans C.A., Miller N.J. & Paganga G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends in Plant Science 2:152-159.
[43] Ersus S. & Yurdagel U. (2007). Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot (*Daucus carota* L.) by spray drier. Journal of Food Engineering 80:805–812.
[44] Tonon V., Brabet C. & Hubinger M. (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.

Iranian Journal of Food Science and Technology

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Investigating some physical and functional properties of peppermint powder encapsulated by spray drying: effect of different storage conditions on phenolic compounds and antioxidant activity of the obtained powder

Nikjoo, R. [1], Peighambardoust, S. H. [2*], Olad Ghaffari, A. [3]

1. MSc graduated, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
2. Professor of Food Technology, Department of Food Science, College of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Academic Staff of Food Research Group, Food and Agriculture Research Department, Standard Research Institute (SRI), Karaj, Iran.

ARTICIE INFO

Article History:

Received 24 August 2018
Accepted 08 September 2019

Keywords:

Spray drying,
Microencapsulation,
Arabic gum,
Peppermint,
Physicochemical properties

DOI: **10.52547/fsct.18.02.06**

*Corresponding Author E-Mail:
peighambardoust@tabrizu.ac.ir

ABSTRACT

Recently, essential oils of plants such as peppermint have gained more interest due to their antibacterial, antifungal, antioxidant activity and free radicals scavenging ability. Microencapsulation by spray drying is a novel method to preserve volatile and heat/oxygen sensitive compounds. This method retains essential and volatile compounds of peppermint against chemical spoilage and helps to improve handling properties of the obtained powder. The aim of this study was to investigate some physical and functional properties of spray-dried peppermint powder, and to study the effect of storage conditions on phenolic compounds and antioxidant activity of the resulting powder. For this purpose, three air temperatures (140, 160 and 180 ºC) and three Arabic gum (as carrier) concentrations (10, 20 and 30 % w/v) were used. Bulk and tapped densities, repose angle, Haunser ratio, total phenolic content (TPC) and DPPH radical scavenging ability of the powders were measured. Powders were stored for 120 days under three different conditions: daylight (25ºC), darkness (25 ºC) and refrigerated (4 ºC). TPC and DPPH of stored powders were then measured at time intervals of 30 days. Results showed that increasing inlet air temperature and carrier concentration led to decrease in bulk and tapped densities and Haunser ratio. TPC of powders were decreased by increasing inlet air temperature. However, at higher temperatures (160 and 180ºC), increasing carrier concentration increased TPC of powders. Overall, it can be concluded that increasing inlet air temperature positively influenced certain physical characteristics of spray-dried powders, while destructed TPC and decreased DPPH scavenging ability of the powders. Negative effect of high temperatures can be compensated by increasing carrier (Arabic gum) concentration. It was concluded the most reduction in TPC occurred when a low carrier concentration and day light storage condition was used. Thus, storing the powders for 120 days under low temperatures and darkness could preserve TPC and DPPH radicals scavenging ability of peppermint powders.