



بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی پودر عصاره نعنای فلفلی ریزپوشانی شده با خشک کن

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

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۷۰

امروزه اسانس گیاهان معطر مانند نعنای 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 نعنای فلفلی در برابر فساد شیمیایی کمک می‌کند. هدف از این مطالعه، بررسی برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی پودر عصاره نعنای 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 (۱۶۰، ۱۴۰ و ۱۸۰ °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 °C)، تاریکی (۱۵ °C) و دمای یخچال (۴ °C) قرار گرفتند 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 °C)، افزایش غلظت حامل موجب افزایش مقدار فنل کل گردید. نهایتاً می‌توان نتیجه گرفت که افزایش دمای خشک‌کن اثر مثبت بر برخی خواص فیزیکی پودر و اثر منفی بر تخریب ترکیبات فراسودمند مانند پلی‌فنل‌ها و کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی 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.

کلمات کلیدی:

خشک کردن پاششی،
ریزپوشانی،
صمغ عربی،
نعنای فلفلی،
ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی.

DOI: 10.52547/fsct.18.02.06

* مسئول مکاتبات:

peighambardoust@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

است [۱۰]. در ارتباط با خواص آنتی‌اکسیدانی 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، نشاسته‌های 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 کپسوله‌کننده برخوردار است [۱۶، 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. ضمناً، علاوه بر خواص فیزیکی شیمیایی پودر، مقدار فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودر نعناع 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 به مدت ۳ روز در سایه و در دمای اتاق خشک گردید. سپس توسط آسیاب چکشی خرد و از الک با مش ۴۰ (۰/۴ میلی‌متر) عبور داده شد و تا زمان انجام آزمایش‌های بعدی در دمای ۱۸ °C - نگهداری گردید. همچنین صمغ عربی (AG) با دانسیته ۱/۴ g/cm³ از شرکت سیگما آلدریج (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.

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 مونوترپن‌نوئیدها^۱ 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 آنتی‌اکسیدان طبیعی شناخته شده است [۱-۴]. اسانس روغنی، فلاونوئید^۲، فیتولها^۳، توکوفرولها^۴، آزلونها^۵، رزمارینیک اسید^۶، کاروتنوئیدها^۷ و تانن‌ها^۸ از ترکیبات فعال این گیاه هستند. ترکیبات اصلی اسانس روغنی آن منتول (۵۰-۲۹٪)، منتون (۲۵-۱۶٪)، متیل استات (۵٪)، ایزومنتون، منتوفوران و پیریتون می‌باشد [۵، ۶]. 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، آنتی‌اکسیدانی 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

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

۲-۲- آماده‌سازی عصاره نعنای فلفلی جهت

خشک کردن پاششی

به ۱۰۰ میلی لیتر آب با دمای 80°C ، مقدار معینی برگ نعنای 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 به همراه صمغ عربی در غلظت‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وزنی-حجمی توسط همزن مغناطیسی (L-81، لاینکو بی وی، هلند) مخلوط شد و محلول همگنی به دست آمد که در نهایت به خشک‌کن پاششی منتقل گردید.

۳-۲- 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 پرستالتیک 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 1800 ± 25 rpm، $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ و 0.8 ± 0.2 bar، ثابت نگه داشته شد. خوراک‌های از قبل تهیه شده به صورت هم‌جهت با هوای ورودی (160 ، 140 ، و 180°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 شیشه‌های 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.

۴-۲- اندازه‌گیری دانسیته توده

دانسیته توده با افزودن تدریجی ۲ گرم پودر عصاره نعنای 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].

۵-۲- اندازه‌گیری دانسیته ضربه

بعد از تعیین دانسیته توده، با استفاده از دانسیتومتر ضربه‌ای، ضربات مداومی به استوانه مدرج وارد شد؛ تا زمانی که 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].

۶-۲- اندازه‌گیری جریان‌پذیری پودر (زاویه

ریپوز)

زاویه ریپوز از نوع زاویه استاتیک پرشونده یا ریزشی برای تعیین جریان‌پذیری نسبی پودرهای غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱۰ گرم پودر عصاره نعنای فلفلی توزین و از درون قیف در ارتفاع ثابت و با قطر مجرای 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].

۷-۲- اندازه‌گیری شاخص پیوستگی

پیوستگی پودر با نسبت هاسنر^۱ (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 (دانسیته حاصل از ضربه)، BD (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 ۰/۰۴ تا ۰/۴ میلی‌گرم در میلی‌لیتر آماده شد. سپس به بالن ژوژه‌های ۵۰ میلی‌لیتری، ۱ میلی‌لیتر محلول استاندارد اسیدگالیک، ۲/۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچو^۱ (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 ۷۶۵ نانومتر خوانده شد [۲۲]. منحنی جذب در برابر غلظت اسیدگالیک (میلی‌گرم به میلی‌لیتر) رسم و رابطه زیر به دست آمد:

$$\text{رابطه (۲)} \quad X = 0.0013X + 0.0554$$

= جذب در ۷۶۵ نانومتر

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

مقدار ترکیبات فنلی کل موجود در عصاره نعنای 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 میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچو مخلوط شده و بعد از ۵ دقیقه، با ۵ میلی‌لیتر کربنات سدیم اشباع به خوبی مخلوط گردید. نمونه‌ها به مدت ۴۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس جذب محلول در سه تکرار توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis 2100) در طول موج ۷۶۵ 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 [۲۴].

۲-۹- اندازه‌گیری مهار رادیکال‌های آزاد

DPPH (فعالیت آنتی‌اکسیدانی)

درصد مهار رادیکال‌های آزاد (DPPH) پودرهای حاصله با استفاده از روش برن-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 rpm ۴۰۰۰ 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)

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

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

۲-۱۰- نگهداری پودر در طی زمان

پودر عصاره نعنای فلفلی در ظرف‌های دربسته به مدت ۱۲۰ روز در شرایط نگهداری زیر نور (دمای ۲۵ °C)، در تاریکی (دمای ۱۵ °C) و در دمای یخچال (۴ °C) نگهداری شدند و طی بازه‌های 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.

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 به طور معنی داری ($p < 0.05$) 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 می شود، بنابراین از دانسیته توده کاسته می شود [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 می شود، افزایش مقدار حامل باعث افزایش میزان هوای حبس شده در ذرات می شود و از آن جهت که هوا دانسیته کمتری دارد، دانسیته توده پودر کاهش می یابد [۲۹، ۳۰]. نتایج حاصل از این تحقیق مشابه یافته های

دیگری است که در آنها افزایش دما موجب کاهش دانسیته توده پودر کنسانتره آب پرتقال [۲۹]، رنگدانه بناسیانین آمارانت [۳۱] و پودر گاک [۲۶] گردید. مقدار دانسیته توده پودرهای حاوی نعناع فلفلی در محدوده ۰/۴۶-۰/۵۶ گرم بر میلی لیتر بود.

۳-۲ تغییرات دانسیته ضربه ای پودرها

با افزایش دما و غلظت صمغ عربی، از مقدار دانسیته ضربه ای پودرها کاسته شد (جدول ۱). اندازه ذره عامل مؤثر در دانسیته ضربه ای می باشد. اگر اندازه ذرات درشت تر باشد در اثر ضربه، حجم تغییر زیادی پیدا نمی کند، بنابراین دانسیته ضربه ای کوچکتر می شود. هرچه اندازه ذرات ریزتر باشد چون ذرات ریز می توانند در منافذ بین ذرات جا گیرند، در نتیجه خلل و فرج کاهش یافته و حجم نیز به تبع آن کاهش می یابد و بنابراین دانسیته ضربه ای بیشتر می شود [۳۲]. از طرفی افزایش غلظت حامل نیز با افزایش ویسکوزیته خوراک موجب تولید قطرات درشت تری درون محفظه شده و در نهایت ذرات درشت تر خشک و سبک می شوند.

Table 1 Variations of bulk and tapped densities, repose angle and Hausner 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 (°)	Hausner 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 زاویه ای که یک ماده به شکل یک توده ثابت بر یک سطح صاف و افقی تشکیل می دهد؛ تعریف می شود. این زاویه با یک شیب ثابت هنگامی که پودر بر یک سطح صاف ریخته می شود تشکیل می گردد. مطابق جدول ۱ با افزایش دما و غلظت صمغ عربی از مقدار زاویه ریپوز پودرهای

عصاره نعناع فلفلی به طور معنی داری ($p < 0.05$) کاسته شد که نشان دهنده جریان پذیری بیشتر پودرها بود. پودرهایی با جریان پذیری آزاد آنهایی هستند که زاویه ریپوز کمتر از ۴۰ درجه دارند و زاویه ریپوز بالای ۵۰ درجه نشان دهنده چسبندگی و مشکلات جریان پذیری است [۳۳]. زاویه ریپوز پودرهای عصاره نعناع فلفلی در محدوده ۲۵ الی ۲۹ درجه بود که نشان می دهد پودرها جریان پذیری آزاد دارند. تقویت جریان پذیری پودرها در

با کاهش اندازه ذره معمولاً پیوستگی افزایش می‌یابد که البته به نوع ماده بستگی دارد [۲۱، ۳۵]. کمترین مقدار پیوستگی پودر نعنای فلفلی در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین غلظت صمغ عربی (۳۰٪) به دست آمد. ویژگی‌ها و مورفولوژی سطحی ذرات نیز بر شاخص 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 [۳۶].

۳-۸- تغییرات ترکیبات فنلی کل پودرها

نتایج اندازه‌گیری ترکیبات فنلی کل پودر عصاره نعنای فلفلی خشک شده به روش پاششی در شکل ۱ آمده است. مقدار فنل کل نمونه‌ها با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، از ۴۴۰ به ۳۳۱ (mg/100g) کاهش یافت. این امر به دلیل اثر تخریبی دما بر ترکیبات فنلی بوده است.

دماهای بالاتر به مقدار رطوبت پایین‌تر آنها نسبت داده می‌شود، زیرا رطوبت بالاتر موجب تضعیف جریان‌پذیری می‌شود. بر اساس مطالعات اسکوایل و پلگ [۳۴]، 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].

۳-۴- 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 نعنای فلفلی در محدوده ۱/۱۹-۱/۲۴ بود که به منزله 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

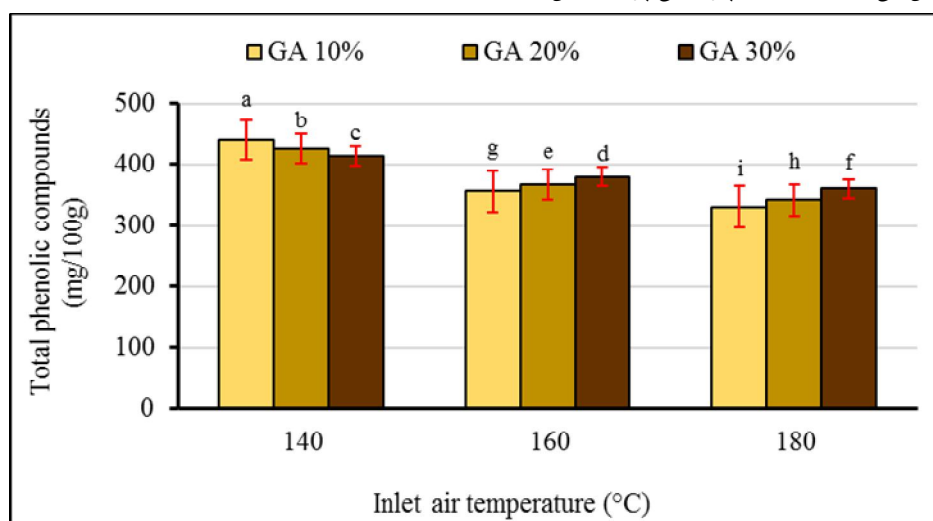


Fig 1 Total phenolic compounds of spray dried peppermint powder as influenced by gum Arabic (GA) concentration and inlet air temperature. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p < 0.05$) difference between means.

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 یک طرف 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

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 ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به بالاتر، تأثیر مثبتی بر حفظ ترکیبات فنلی داشت. با

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.

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].

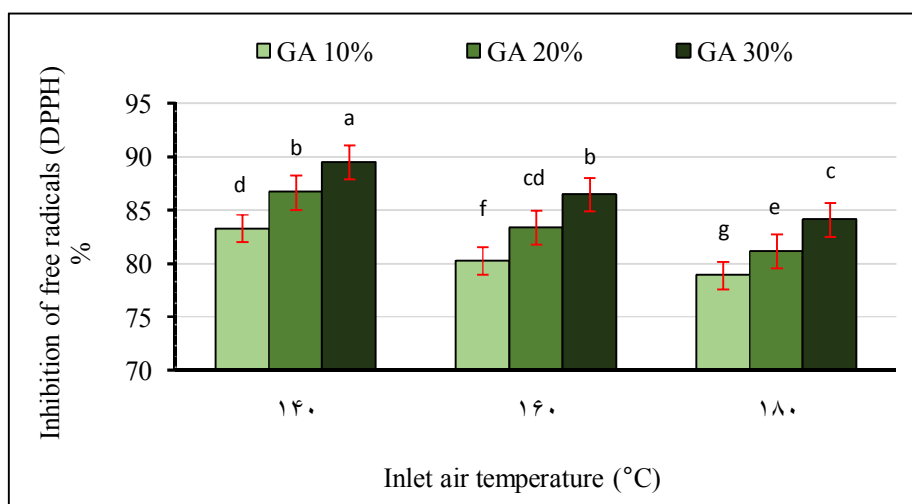


Fig 2 Inhibition of free radicals (DPPH) ability of spray dried peppermint powder as influenced by gum Arabic (GA) concentration and inlet air temperature. Data are mean of triplicate measurements (n=3). Error bars indicate SD values. Different letters indicate significant ($p < 0.05$) difference between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

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 ۷۸٪-۸۹٪ 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 اندازه‌گیری 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

به طور کلی، دو عامل مورد بررسی، یعنی غلظت صمغ عربی و دمای هوای ورودی خشک‌کن، به طور قابل توجهی فعالیت آنتی‌اکسیدانی کلی پودرها را تحت تأثیر قرار داد. با افزایش دمای هوای ورودی از ۱۴۰ تا ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل نمونه‌ها به طور 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 آنتی‌اکسیدانی 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 آنتی‌اکسیدانی را می‌توان با افزایش غلظت صمغ عربی و همچنین افزایش مقدار فنل کل توجیه کرد. در واقع با افزایش غلظت صمغ

۴- 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 نعنای 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 ۰/۵۶-۰/۴۶ گرم بر میلی‌لیتر، ۲۹-۲۵ درجه و ۱/۲۴-۱/۱۹ 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 آنتی‌اکسیدانی گردید. اما افزایش غلظت حامل در دماهای بالاتر فرایند نقش حفاظتی در حفظ ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی 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 ۱۴۰ 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 ۱۴۰ 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 پلی‌فنول‌ها باشد؛ که باعث افزایش محتوای فنلی کل پودرها گردید. نهایتاً می‌توان نتیجه گرفت که در فرایند خشک کردن پاششی عصاره نعنای افزایش دمای هوای ورودی خشک کن از ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد

($p < 0.05$) 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 [۴۰، ۳۹].

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 آنتی‌اکسیدانی (قابلیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH) به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کاهش یافت. همچنین با افزایش دمای هوای ورودی به خشک کن فعالیت آنتی‌اکسیدانی پودرهای حاصله کاهش یافت. اما با افزایش غلظت ماده حامل در همه دماهای خشک کردن، فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. دلیل کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی پودر در زمان‌های طولانی نگهداری و نیز دماهای بالای نگهداری مربوط به کاهش در ترکیبات فنلی و آنتوسیانینی آن است [۴۱]. خاصیت آنتی‌اکسیدانی پلی‌فنل‌ها 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 در نتیجه با جلوگیری از اکسیداسیون چربی‌ها، پروتئین‌ها و DNA، باعث کاهش هرچه بیشتر عوارض جانبی ناشی از اکسیداسیون گردند [۴۲]. همچنین گزارش شده است که فعالیت آنتی‌اکسیدانی به میزان زیادی با محتوای فنلی فراورده‌های غذایی در ارتباط است [۴۳]. تونون و همکاران [۴۴] نیز بیان کردند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی با افزایش میزان رطوبت محیط نگهداری، در نتیجه‌ی افزایش تخریب آنتوسیانین‌ها، کاهش یافت.

(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.

اثر مثبت بر خواص فیزیکی پودر نعناع داشت. اما افزایش دما باعث تخریب ترکیبات فراسودمند مانند پلی فنولها و کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی پودر خشک شده گردید. نتایج نشان داد که اثر تخریبی دماهای بالا را می توان با افزایش غلظت ماده حامل

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 ^{9A}	440 ⁹ ^{9A}	440 ⁹ ^{9A}	378.6 ⁶ ^D	394.5 ⁵ ^{aC}	397.4 ⁴ ^{bB}	347.7 ⁷ ^{aH}	371.2 ² ^{aF}	376.1 ¹ ^{aE}	317.5 ⁵ ^{aK}	348.4 ⁴ ^{aH}	355.0 ⁰ ^{aG}	286.5 ⁵ ^{aL}	325.8 ⁸ ^{aJ}	334.6 ⁶ ^{aI}
	160	356.0 ⁰ ^{8A}	356.0 ⁰ ^{8A}	356.0 ⁰ ^{8A}	308.8 ⁸ ^{dD}	321.3 ³ ^{gC}	324.3 ³ ^{gB}	284.6 ⁶ ^{gH}	303.7 ⁷ ^{gF}	308.1 ¹ ^{gE}	261.8 ⁸ ^{gK}	286.8 ⁸ ^{gH}	292.5 ⁵ ^{gG}	238.5 ⁵ ^{gL}	270.3 ³ ^{gJ}	277.6 ⁶ ^{gI}
	180	331.0 ⁰ ^{7A}	331.0 ⁰ ^{7A}	331.0 ⁰ ^{7A}	291.1 ¹ ^{dD}	302.1 ¹ ^{iC}	304.0 ⁰ ^{iB}	270.5 ⁵ ^{iH}	286.5 ⁵ ^{iF}	289.9 ⁹ ^{iE}	250.7 ⁷ ^{iK}	271.9 ⁹ ^{iH}	276.8 ⁸ ^{iG}	231.7 ⁷ ^{iL}	258.3 ³ ^{iJ}	264.5 ⁵ ^{iI}
20	140	426.6 ⁶ ^{8A}	426.6 ⁶ ^{8A}	426.6 ⁶ ^{8A}	366.4 ⁴ ^{bD}	381.0 ⁰ ^{bC}	384.8 ⁸ ^{bB}	335.7 ⁷ ^{bH}	358.7 ⁷ ^{bF}	363.4 ⁴ ^{bE}	305.6 ⁶ ^{bK}	335.8 ⁸ ^{bH}	343.0 ⁰ ^{bG}	276.7 ⁷ ^{bL}	315.0 ⁰ ^{bJ}	323.8 ⁸ ^{bI}
	160	367.2 ² ^{8A}	367.2 ² ^{8A}	367.2 ² ^{8A}	318.4 ⁴ ^{dD}	331.3 ³ ^{cC}	334.6 ⁶ ^{cB}	293.6 ⁶ ^{eH}	313.3 ³ ^{cF}	317.9 ⁹ ^{eE}	269.9 ⁹ ^{eK}	294.8 ⁸ ^{eH}	302.9 ⁹ ^{eG}	246.0 ⁰ ^{eL}	278.8 ⁸ ^{eJ}	286.2 ² ^{eI}
	180	341.7 ⁷ ^{8A}	341.7 ⁷ ^{8A}	341.7 ⁷ ^{8A}	300.3 ³ ^{hD}	311.0 ⁰ ^{hC}	313.0 ⁰ ^{hB}	278.6 ⁶ ^{hH}	294.3 ³ ^{hF}	299.0 ⁰ ^{hE}	258.2 ² ^{hK}	280.1 ¹ ^{hH}	285.2 ² ^{hG}	239.1 ¹ ^{hL}	266.1 ¹ ^{hJ}	272.5 ⁵ ^{hI}
30	140	414.2 ² ^{8A}	414.2 ² ^{8A}	414.2 ² ^{8A}	355.3 ³ ^{dD}	369.5 ⁵ ^{cC}	373.2 ² ^{cB}	326.5 ⁵ ^{dH}	347.6 ⁶ ^{dF}	353.3 ³ ^{dE}	297.6 ⁶ ^{dK}	326.2 ² ^{dH}	333.1 ¹ ^{dG}	268.3 ³ ^{dL}	305.7 ⁷ ^{dJ}	333.9 ⁹ ^{dI}
	160	380.0 ⁰ ^{8A}	380.0 ⁰ ^{8A}	380.0 ⁰ ^{8A}	329.3 ³ ^{dD}	348.4 ⁴ ^{dC}	346.7 ⁷ ^{dB}	304.1 ¹ ^{dH}	324.7 ⁷ ^{dF}	329.5 ⁵ ^{dE}	279.0 ⁰ ^{dK}	306.3 ³ ^{dH}	313.0 ⁰ ^{dG}	254.4 ⁴ ^{dL}	288.8 ⁸ ^{dJ}	296.5 ⁵ ^{dI}
	180	360.7 ⁷ ^{8A}	360.7 ⁷ ^{8A}	360.7 ⁷ ^{8A}	316.9 ⁹ ^{dD}	328.1 ¹ ^{iC}	331.1 ¹ ^{iB}	294.9 ⁹ ^{iH}	312.4 ⁴ ^{iF}	316.5 ⁵ ^{iE}	273.7 ⁷ ^{iK}	295.6 ⁶ ^{iH}	302.1 ¹ ^{iG}	252.5 ⁵ ^{iL}	280.7 ⁷ ^{iJ}	278.9 ⁹ ^{iI}

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	82.8 ⁸ ^{dA}	82.8 ⁸ ^{dA}	82.8 ⁸ ^{dA}	72.3 ³ ^{dD}	73.0 ⁰ ^{cC}	73.8 ⁸ ^{eB}	65.6 ⁶ ^{aF}	68.0 ⁰ ^{aE}	68.5 ⁵ ^{aE}	61.3 ³ ^{aI}	63.1 ¹ ^{aH}	64.2 ² ^{aG}	57.0 ⁰ ^{aL}	58.9 ⁹ ^{aK}	60.4 ⁴ ^{aJ}
	160	80.0 ⁰ ^{eA}	80.0 ⁰ ^{eA}	80.0 ⁰ ^{eA}	70.5 ⁵ ^{iC}	71.0 ⁰ ^{iB}	71.4 ⁴ ^{iB}	65.4 ⁴ ^{gG}	66.5 ⁵ ^{gF}	67.2 ² ^{gE}	60.4 ⁴ ^{gJ}	62.6 ⁶ ^{gI}	63.1 ¹ ^{gH}	56.6 ⁶ ^{gM}	57.8 ⁸ ^{gL}	59.6 ⁶ ^{gK}
	180	78.5 ⁵ ^{fA}	78.5 ⁵ ^{fA}	78.5 ⁵ ^{fA}	68.8 ⁸ ^{gC}	69.7 ⁷ ^{gB}	70.1 ¹ ^{gB}	64.4 ⁴ ^{fF}	65.5 ⁵ ^{fE}	65.9 ⁹ ^{fE}	60.0 ⁰ ^{fI}	62.3 ³ ^{fG}	61.6 ⁶ ^{fH}	55.6 ⁶ ^{fL}	57.7 ⁷ ^{fK}	58.4 ⁴ ^{fJ}
20	140	86.3 ³ ^{bA}	86.3 ³ ^{bA}	86.3 ³ ^{bA}	75.1 ¹ ^{bC}	76.4 ⁴ ^{bB}	76.1 ¹ ^{bB}	69.5 ⁵ ^{bF}	71.2 ² ^{bE}	71.2 ² ^{bE}	64.3 ³ ^{bH}	66.3 ³ ^{bG}	66.3 ³ ^{bG}	59.1 ¹ ^{bL}	61.3 ³ ^{bJ}	62.5 ⁵ ^{bI}
	160	83.0 ⁰ ^{dA}	83.0 ⁰ ^{dA}	83.0 ⁰ ^{dA}	72.7 ⁷ ^{dD}	74.4 ⁴ ^{dC}	74.9 ⁹ ^{dB}	68.2 ² ^{cG}	69.5 ⁵ ^{cF}	70.6 ⁶ ^{cE}	62.8 ⁸ ^{eJ}	65.7 ⁷ ^{eI}	66.1 ¹ ^{eH}	58.6 ⁶ ^{eM}	60.2 ² ^{eL}	62.5 ⁵ ^{eK}
	180	80.7 ⁷ ^{eA}	80.7 ⁷ ^{eA}	80.7 ⁷ ^{eA}	71.5 ⁵ ^{dD}	72.5 ⁵ ^{iC}	73.1 ¹ ^{iB}	67.1 ¹ ^{hF}	67.2 ² ^{hF}	69.1 ¹ ^{hE}	62.7 ⁷ ^{hH}	62.7 ⁷ ^{hH}	65.5 ⁵ ^{hG}	57.8 ⁸ ^{hK}	59.2 ² ^{hJ}	62.0 ⁰ ^{hI}
30	140	89.4 ⁴ ^{aA}	89.4 ⁴ ^{aA}	89.4 ⁴ ^{aA}	77.6 ⁶ ^{aC}	79.4 ⁴ ^{aB}	79.1 ¹ ^{aB}	71.6 ⁶ ^{cG}	72.3 ³ ^{cF}	74.1 ¹ ^{cE}	65.3 ³ ^{cI}	67.7 ⁷ ^{cI}	69.3 ³ ^{cH}	61.4 ⁴ ^{eM}	63.0 ⁰ ^{cL}	65.1 ¹ ^{cK}
	160	86.4 ⁴ ^{bA}	86.4 ⁴ ^{bA}	86.4 ⁴ ^{bA}	75.6 ⁶ ^{dD}	78.3 ³ ^{bB}	77.6 ⁶ ^{cC}	71.4 ⁴ ^{dF}	71.8 ⁸ ^{dF}	73.1 ¹ ^{dE}	65.2 ² ^{dI}	66.4 ⁴ ^{dH}	68.9 ⁹ ^{dG}	60.9 ⁹ ^{dL}	62.1 ¹ ^{dK}	64.7 ⁷ ^{dJ}
	180	84.5 ⁵ ^{cA}	84.5 ⁵ ^{cA}	84.5 ⁵ ^{cA}	74.7 ⁷ ^{cC}	75.4 ⁴ ^{cC}	76.1 ¹ ^{cB}	69.2 ² ^{fF}	69.4 ⁴ ^{fF}	71.4 ⁴ ^{fE}	64.3 ³ ^{fH}	64.1 ¹ ^{fH}	67.6 ⁶ ^{fG}	60.6 ⁶ ^{fK}	60.6 ⁶ ^{fJ}	64.8 ⁸ ^{fI}

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.

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

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

- [14] Adamiec J. & Kalembe D. (2004). Microencapsulation of peppermint oil during spray-drying. *International Drying Symposium*, B(4):1510-1517.
- [15] Nikjoo, R. Peighambaroust, 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 Bioprocess Technology* 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 K.G. (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 tenuissima* 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 x piperita*. *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.

- (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] Painsi 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.
- 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.

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.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

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

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 °C) and three Arabic gum (as carrier) concentrations (10, 20 and 30 % w/v) were used. Bulk and tapped densities, repose angle, Hausner 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 (25°C), darkness (25 °C) and refrigerated (4 °C). 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 Hausner ratio. TPC of powders were decreased by increasing inlet air temperature. However, at higher temperatures (160 and 180°C), 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.