

تحلیل ویژگی‌های بافتی تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولید شده از خشک‌کن خلأیی پاششی

سمانه صادق‌زاده نماور^۱ - جعفر امیری پریان^{۲*} - رضا امیری چایجان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

پردازش تصاویر دیجیتال به‌عنوان روشی جدید برای ارزیابی کمی و کیفی خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی و دارویی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز آلتراسونیک به‌منظور تولید پودر خشک از عصاره برگ کنگر فرنگی فرموله شده با ماده افزودنی لاکتوز استفاده شد. روند خشک کردن در یک محفظه خشک‌کن خلأ و در دمایی پایین‌تر از دمای خشک‌کن‌های پاششی معمول انجام شد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر شرایط عملی بهینه (۳٪، ۲۰ kPa، ۷۵°C)، نامطلوب (۲٪، ۴۰ kPa، ۵۵°C) و دو شرایط (۲٪، ۳۰ kPa، ۶۵°C) و خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت و اثر زاویه در جهت‌های چهارگانه (۰°، ۴۵°، ۹۰° و ۱۳۵°) روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار پودر عصاره برگ کنگر فرنگی می‌باشد. برای تشخیص بافت، تصاویر میکروسکوپی (SEM) به دو صورت تک ذره و ذرات توده‌ای تهیه شدند. ده ویژگی بافتی تصاویر با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطوح خاکستری به‌منظور ارزیابی کیفی بافت پودر عصاره استخراج گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل بافت نشان داد که پودرهای حاصل از شرایط خشک کردن در دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) و غلظت محلول (۲ گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر) دارای تعداد بیشتری از ذرات با بافت صاف و یکنواخت بودند. در نتیجه در این شرایط، پارامترهای انرژی، همبستگی، همگنی و glcmstd بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنترپی، rangefilt و stdfilt کمترین مقدار را دارا بودند. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهت‌های اندازه‌گیری مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: برگ کنگر فرنگی، خشک‌کن خلأیی پاششی، پودر عصاره، پردازش تصویر، ویژگی‌های بافت، ماتریس هم‌وقوعی سطح

خاکستری

مقدمه

سرشار از مواد مغذی مهم مانند ویتامین A، ویتامین C، پتاسیم و فیبر است (Lattanzio, 2009).

در بخش دارویی، عصاره خشک در تهیه قرص، کپسول، حبه، پماد و به‌عنوان محصولات واسطه استفاده می‌شود. عصاره خشک را می‌توان با حذف آب از یک محلول عصاره تغلیظ شده از مواد گیاهی (برگ، ریشه، دانه‌ها، کل گیاه، گل آذین، میوه‌ها و غیره)، به‌صورت پودر خشک آماده کرد.

اخیراً استفاده از خشک‌کن پاششی برای خشک کردن عصاره‌های مواد غذایی و گیاهی و همچنین برای کپسوله کردن برخی از محصولات مشتق شده از گیاهان مورد توجه واقع شده است. خشک‌کن پاششی به‌طور گسترده‌ای در آماده‌سازی پودر خشک از عصاره گیاهان دارویی، پالپ میوه، روغن‌های گیاهی و غیره استفاده می‌شود (Woo *et al.*, 2010). یکی از روش‌های تازه توسعه‌یافته خشک‌کن پاششی، روش خلأ مافوق صوت است، که نقاط قوت خشک‌کن پاششی را با ترکیب نازل مافوق صوت و محفظه خلأ افزایش می‌دهد

در طول چند سال اخیر توجه رو به رشدی به گیاه کنگر فرنگی به‌عنوان یک گیاه قدیمی با خصوصیات جدید در غذاهای کاربردی، مشاهده شده است. کنگر فرنگی گونه‌ای متعلق به تیره *Asteraceae* است که قبل از میلاد مسیح در قرن چهارم به‌عنوان غذا و دارو شناخته شده است. این گیاه موردپسند مصریان باستان، یونانی‌ها و رومیان، واقع شده بود که آن را هم به‌عنوان غذا و هم به‌عنوان دارو (به خاطر اثرات مفید آن در برابر بیماری‌های صفراوی - کبدی و به‌عنوان کمک گوارش) استفاده می‌کردند (Marzi *et al.*, 1975; Sonnante *et al.*, 2002). کنگر فرنگی نوعی ماده غذایی از گروه سبزی‌ها است که

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار، گروه مهندسی بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(Email: Amiriparian@gmail.com)

*- نویسنده مسئول

DOI: 10.22067/jam.v8i2.63321

پارامترهای بافت تصویر مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که افزودن صمغ، تأثیر معنی‌داری بر ریزساختار بستنی داشته و باعث کاهش قطر معادل حباب، تخلخل، آنتروپی و افزایش کرویت حباب می‌شود (Mirarab *et al.*, 2015). در تحقیقی خواص رنگ و بافت اسنک‌های حبه‌ای، با روشی مبتنی بر تصویربرداری در شرایط مختلف سرخ کردن مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق اثر درجه حرارت سرخ کردن (۱۷۰، ۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سلسیوس) و زمان سرخ کردن (۰/۵، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ دقیقه) بر خواص رنگی و بافتی تصویر (*L, a* و *b* بعد فراکتال، همبستگی، آنتروپی، کنتراست و همگنی) بررسی شد (Mohammadi Moghaddam *et al.*, 2014). همچنین در تحقیقی دیگر، کپسوله کردن عصاره وانیل با استفاده از نشاسته‌های سوکسینیک انیدرید با به کار بردن تجزیه و تحلیل بافت تصویر و آرایه آشکارساز گاز مورد مطالعه قرار گرفت. کپسوله کردن عصاره وانیل با کپسول و نشاسته اصلاح شده ۱۰۰ Hi-Cap با دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی انجام شد. راندمان کپسوله کردن با مرتبط کردن بافت نشاسته و حفظ عطر محصول بررسی شد. تجزیه و تحلیل بافت با استفاده از استخراج ویژگی ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) انجام گردید (Rodríguez *et al.*, 2013). محققان زیادی نیز اثر شرایط خشک‌کن پاششی را روی خصوصیات شکل (مورفولوژی) پودر سس ماهی (Chindapan *et al.*, 2010) و پودر شیر (Nikolova *et al.*, 2015) با استفاده از یک بررسی جامع از تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد مطالعه قرار دادند.

با توجه به بررسی تحقیقات انجام‌شده، مشخص گردید که تاکنون پژوهشی در زمینه تشخیص بافت پودرهای عصاره برگ کنگر فرنگی بر اساس تکنیک پردازش تصویر روی ذرات توده‌ای و تک ذره انجام نشده است. لذا هدف از این مطالعه، طراحی الگوریتمی مبتنی بر روش پردازش بافت تصاویر میکروسکوپی ذرات توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برگ کنگر فرنگی تولیدشده با خشک‌کن خلأیی پاششی می‌باشد تا در جهت شناسایی و تشخیص تغییر بافت ذرات با توجه به تغییر شرایط خشک‌کن گامی مؤثر برداشته شود.

مواد و روش‌ها

مواد

برگ‌های تازه کنگر فرنگی از باغ گیاهان دارویی همدان خریداری شد. متانول و لاکتوز تک آبه از شرکت سیگما آلدیج، آلمان خریداری گردید. آب مقطر نیز به‌عنوان حلال در کل آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

(Semyonov *et al.*, 2011). انتظار می‌رود که خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره ساز آلتراسونیک بتواند با زمان باقی مانده کوتاه از قطرات یکنواخت تولیدشده توسط ریز ذره ساز آلتراسونیک، همچنین از طریق دمای پایین و جو خلأ در محفظه خشک‌کن بازده بالایی را نتیجه دهد (Freitas *et al.*, 2004; Sadykhov and Kish, 1997).

امروزه، پردازش تصویر برای تصاویر مواد غذایی حاصل از سیستم‌های مختلف میکروسکوپی، به‌منظور دستیابی به داده‌های عددی در مورد مورفولوژی، ساختار و میکرو ساختار مواد غذایی تحلیل شده، به کار برده می‌شود (Moghimi *et al.*, 2015). به همین دلیل، روش‌های میکروسکوپی و پردازش تصویر می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب، ارزیابی کمی و کیفی میکرو ساختار مواد غذایی، ایجاد همبستگی عددی بین داده‌های میکرو ساختار به‌دست‌آمده از تصاویر و خصوصیات بافتی پودر مواد غذایی را ممکن سازد (Aguilera, 2007).

بافت، الگوی اطلاعات یا نظم ساختاری در یک تصویر می‌باشد و در آنالیز ویژگی‌ها و شرح تصویر استفاده می‌شود. در تحلیل تصویر، بافت نشان‌دهنده آرایش مکانی سطوح خاکستری پیکسل‌های نواحی مختلف است و یکی از ویژگی‌های مهمی است که در تشخیص اشیاء یا مناطق موردنظر در یک تصویر کاربرد دارد. بافت تصویر با یک روش آماری، به نام روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) تجزیه و تحلیل می‌شود. در این روش، ویژگی‌های مختلف بافت به‌واسطه ماتریسی که از اطلاعات موجود در پیکسل‌ها (به‌عنوان مثال مؤلفه‌های اصلی یک تصویر) مشتق شده، استخراج می‌شود. این ویژگی‌های بافتی برای مشخص کردن بافت محصول نیز می‌تواند باشد. مزایای استفاده از این روش که به یک‌روند در تجزیه و تحلیل تصویر برای ارزیابی کیفیت مواد غذایی اشاره می‌کند، در بررسی‌های پیشرفته توسط محققان زیادی مورد بحث قرار گرفت (Zheng *et al.*, 2006; Yu *et al.*, 2012; Tournier *et al.*, 2012; Kamruzzaman *et al.*, 2012). استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) برای استخراج ویژگی‌های بافت‌های آماری مرتبه دوم برای برآورد حرکت تصاویر توسط Mohanaiah و همکاران (۲۰۱۳) ارائه شده بود. در این تحقیق، چهار ویژگی شامل: گشتاور لحظه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور لحظه‌ای معکوس و آنتروپی با استفاده از نرم‌افزار Xilinx FPGA محاسبه شد و نتایج نشان داد که ویژگی‌های بافتی دقت تشخیص بالا و زمان محاسبات کمتری دارند، از این‌رو به نحو احسن برای برنامه‌های کاربردی تشخیص الگوی بلادرنگ استفاده گردید. میرعرب رضی و همکاران با بررسی اثر چربی (۵/۲، ۵، ۵/۷ و ۱۰ درصد)، درصد شیره انگور (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد) و فرآیند تولید (انجماد و سرد کردن)، ریز ساختار بستنی را با استفاده از پردازش

روش تجربی

آماده‌سازی محلول عصاره آبی از برگ کنگر فرنگی

برگ‌های تازه کنگر فرنگی پس از شستشو با آب در سایه خشک گردید و با یک آسیاب آزمایشگاهی (Artisan M.D 5000, Iran) پودر شدند. برگ کنگر فرنگی پودر شده، با آب مقطر در حال جوش از طریق تکان دهنده^۱ با سرعت ۹۰۰ دور بر دقیقه به مدت سه ساعت، عصاره‌گیری انجام گرفت. سپس عصاره به دست آمده سانتریفیوژ شده و توسط کاغذ صافی واتمن NO.4 فیلتر شد. این روش در دو تکرار انجام شد و ترکیب فیلتر شده در یک دستگاه تیخیر روتاری (IKA-RV 10, Germany) تحت فشار خلأ به منظور خشک شدن تیخیر گردید. سپس غلظت مورد نظر محلول با اضافه کردن آب مقطر به عصاره حاصل شد. غلظت عصاره توسط رفاکتومتر (Krusz OpTronic DR 101-60, Germany) با داشتن محدوده متغیر صفر-۶۰ درصد و رزولوشن ۰/۱ تعیین شد. پس از آن لاکتوز تک آبه به عنوان یک افزودنی با عصاره برگ کنگر فرنگی با نسبت وزنی مشخص (۲:۱) فرموله شد و سپس به منظور تشکیل یک محلول همگن آبی تکان داده شد. در نهایت این مخلوط با استفاده از خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک ساخته شده در آزمایشگاه پس از برداشت (دانشگاه بوعلی سینا، همدان) خشک و پودر شد.

فرآیند خشک کردن خشک‌کن پاششی خلأیی و ریز ذره‌ساز التراسونیک

در تحقیق حاضر، روش جدید خشک‌کن پاششی که از یک خشک‌کن خلأیی پاششی با ریز ذره‌ساز التراسونیک استفاده می‌کند گزارش شده است. اجزای اصلی دستگاه، سیستم تغذیه عصاره برگ کنگر فرنگی، شامل یک پمپ پریستالتیک، یک سیستم اتمیزه‌کننده محلول با طراحی خاص نازل التراسونیک که می‌تواند در یک خلأ پیوسته با پراکنده کردن محلول به طور یکنواخت در محفظه خشک‌کن خلأ عمل کند سرعت تغذیه محلول در ۱-۰/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه حفظ شد. این نوع خشک‌کن شامل یک محفظه استوانه‌ای خلأ (با قطر ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر) و یک گرم‌کن الکتریکی که دمای محفظه خشک‌کن را کنترل می‌کند است. گرم‌کن سیم‌پیچی در اطراف محفظه استوانه پیچیده شده و به منظور گرم کردن محفظه خلأ استفاده شده است. شرایط خلأ نیز توسط پمپ خلأ مهیا شد. قطرات اتمیزه شده توسط شیلنگ سیلیکونی از نازل التراسونیک به درون محفظه خلأ هدایت شد. در نهایت، یک سیستم کنترل محصول (سیکلون) و کاغذ فیلتر قبل از پمپ خلأ استفاده شده است. در نهایت

پودر خشک شده نیز از فیلتر جمع‌آوری شد. متغیرهای مورد مطالعه: دمای ورودی در ۵۵، ۶۵ و ۷۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ در ۲۰، ۳۰ و ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت محلول عصاره ۲، ۲/۵ و ۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب بودند. از مجموع شرایط فوق، چهار شرایط بهینه (A₄)، نامطلوب (A₁) و دو شرایط A₂ و A₃ مطابق جدول ۱ به منظور بررسی اثر تغییرات بافت با توجه به تغییر دما، فشار و غلظت محلول انتخاب شد. تعیین و شناسایی بافت پودرهای به دست آمده با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) مشخص شد. این ویژگی با تجزیه و تحلیل تصاویر میکروسکوپی به دست آمده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) انجام شد، پردازش و تجزیه و تحلیل از طریق جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار MATLAB صورت گرفت (Meraz-Torres et al., 2011; Quintanilla-Carvajal et al., 2011).

استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به منظور مطالعه ویژگی‌های بافتی پودر

میکروسکوپ الکترونی به طور گسترده‌ای برای ارزیابی ریزساختار مواد غذایی و محصولات بیولوژیکی استفاده می‌شود. در این تحقیق، به منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شده است. از این رو، چند میلی‌گرم از نمونه پودر عصاره برگ کنگر فرنگی روی یک نگه‌دارنده آلومینیومی SEM، که متکی به نوار کرین رسانا بود، قرار داده شد. بدین طریق تصاویر مربوط به نمونه‌ها در بزرگنمایی‌های مختلف به دست آمد.

بافت تصویر و تجزیه و تحلیل آماری بافت با استفاده از

روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM)

برخی از محصولات پودری از لحاظ مورفولوژی مشابه هستند اما بافت متفاوتی را نشان می‌دهند. در این بخش، از ویژگی‌های بافتی تصاویر توده‌ای و تک ذره پودر عصاره برای ارزیابی شرایط کاری خشک‌کن خلأیی پاششی استفاده شد. استخراج ویژگی‌ها، با استفاده از ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری انجام گرفت. به طور کلی، یک تصویر میکروسکوپی، ماتریسی با ابعاد N_y ستون، N_x سطر و درایه‌های آن N_g که می‌تواند سطح خاکستری متفاوت داشته باشد. با این فرض، اطلاعات بافتی تصویر را می‌توان به وسیله یک ماتریس فراوانی نسبی P(i, j) نشان داد. در این ماتریس مقدار درایه (i, j) بیانگر تعداد همسایگی‌های اتفاق افتاده در جهت‌های چهارگانه (صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) در تصویر بین سطوح خاکستری (i, j) است (Golpour et al., 2015). زاویه‌ها، جهت ارتباط بین دو پیکسل با سطح خاکستری یکسان که می‌تواند افقی، عمودی یا مورب باشد را

$$p(i, j) = \frac{P(i, j)}{C} \quad (1)$$

تعیین می‌کند. به‌منظور نرمال کردن ماتریس هم وقوعی باید درایه‌های آن را مطابق رابطه (۱) بر یک عدد ثابت (C) تقسیم نمود.

جدول ۱- چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی

Table 1- Four process conditions of vacuum spray drying

شرایط کاری خشک‌کن پاششی خلأیی Process condition of vacuum spray drying	دمای داخلی Inlet temperature (°C)	فشار خلأ Vacuum pressure (kPa)	غلظت محلول عصاره با افزودنی Concentration of extract solution with excipient (g.100ml ⁻¹)
A ₁	55	40	2
A ₂	65	30	2.5
A ₃	65	30	2
A ₄	75	20	3

جدول، شاخص‌های i و j عدد ردیف و ستون در ماتریس GLCM هستند، $p(i, j)$ مقدار نرمال‌شده عنصر (i, j) ماتریس و μ و σ به‌ترتیب میانگین و انحراف استاندارد روی i و j است.

مقدار C برای یک تصویر با ابعاد مستطیلی N_x و N_y نیز از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

$$C = \left\{ 2N_x(N_y - 1) + 2N_y(N_x - 1) + 4(N_x - 1)(N_y - 1) \right\} \quad (2)$$

جدول ۲ روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی را نشان می‌دهد. در این

جدول ۲- روابط ریاضی ویژگی‌های بافتی

Table 2- Mathematical equation of textural features (Albregtsen, 2008)

ویژگی‌های بافت Textural features	فرمول Formula
آنترپی Entropy	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} p(i, j) \ln p(i, j)$
انرژی Energy	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} \{p(i, j)\}^2$
کنتراست Contrast	$\sum_{ i-j =0}^{N_g-1} (i-j)^2 \sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
همگنی Homogeneity	$\sum_{i=1}^{N_g-1} \sum_{j=1}^{N_g-1} \frac{1}{1+(i-j)^2} p(i, j)$
میانگین Mean (μ_i)	$\sum_{i=0}^{N_g-1} i \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
واریانس Variance (σ_i^2)	$\sum_{i=0}^{N_g-1} (i - \mu_i)^2 \sum_{j=0}^{N_g-1} p(i, j)$
همبستگی Correlation	$\frac{\sum_{i=0}^{N_g-1} \sum_{j=0}^{N_g-1} ij p(i, j) - (\mu_i \mu_j)}{\sigma_i \sigma_j}$

بودن تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی که تصویر، دارای یکنواختی خوب و پیکسل‌های مشابه باشد، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم بالا است. به‌طور کلی تصویر با سطح صاف (به‌عنوان مثال چند انتقال خاکستری) مقدار بالاتری از ASM را نسبت به تصویر نمونه با زبری (تصویر ناهمگن) خواهد داشت (Singh et al., 2010; Williams et al.,)

به‌منظور مطالعه بافت نمونه عصاره خشک به‌دست‌آمده، از ماتریس هم وقوعی سطح خاکستری GLCM، پنج ویژگی مختلف استخراج می‌شود. نخست، گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (ASM)، که به‌عنوان یکنواختی یا انرژی شناخته شده است. این ویژگی، مجموع مربعات ورودی در GLCM است. گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم، همگن

تحلیل آماری

تجزیه داده‌ها با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 با استفاده از رویه GLM صورت گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن با سطح احتمال خطای آلفا برابر با ۰/۰۵ انجام شد. برای ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت از مدل آماری طرح کاملاً تصادفی استفاده گردید. ویژگی‌های بافتی جهت‌دار مربوط به کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی در چارچوب طرح کاملاً تصادفی به صورت فاکتوریل تجزیه آماری شد که در آن چهار شرایط عملی خشک‌کن به‌عنوان یک فاکتور و زاویه در جهت‌های چهارگانه به‌عنوان فاکتور دیگر در نظر گرفته شد. مدل آماری مورد استفاده به شرح زیر بود:

$$y_{ij} = \mu + A_i + B_j + AB_{ij} + e_{ij} \quad (3)$$

اجزای مدل عبارتند از: μ میانگین برای ویژگی مورد نظر، A اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی، B اثر زاویه، AB برهمکنش اثر شرایط خشک‌کن و زاویه و e اثر خطای باقی‌مانده.

فاکتورهای مستقل برای متغیرهای وابسته ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت، چهار شرایط عملی خشک‌کن بود درحالی‌که برای ویژگی‌های بافتی جهت‌دار فاکتورهای مستقل، زاویه و شرایط خشک‌کن و اثر برهمکنش زاویه و شرایط خشک‌کن بوده است.

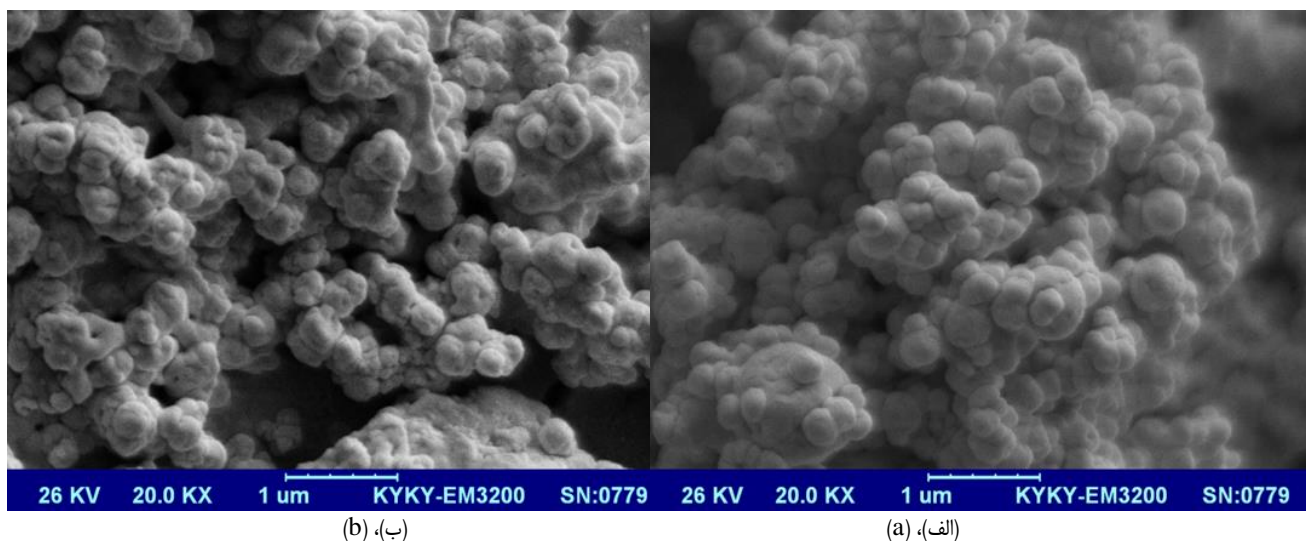
نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل بافت تصویر: ویژگی‌های بافتی پودر

شکل ۱ الف و ب دو نمونه از تصاویر SEM را در شرایط A_4 و A_1 به تصویر کشیده است، به طوری که در شرایط بهینه A_4 ، نمونه ذرات با سطح صاف و زبری کمتر و شرایط نامطلوب A_1 سطح بسیار ناهموار و زبر را نشان می‌دهد. به منظور تأیید این تفاوت‌های عینی، تجزیه و تحلیل بافت روی ذرات پودر عصاره تولیدشده از خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش GLCM انجام شد. پس از آنالیز تصاویر SEM نمونه‌های تک ذره و ذرات توده‌ای پودر عصاره، تفاوت بافت آشکاری برای ذرات متعلق به شرایط گوناگون به دست آمد.

جدول ۳ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و جهت اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، پارامتر کنتراست (CT) بافت تک ذره در شرایط عملی A_1 (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خلأ ۴۰ کیلو پاسکال و غلظت ۲ درصد) بالاترین مقدار را دارا بود ($P < 0.0001$). درحالی‌که مقدار CT بزرگ‌تر، نشان‌دهنده زبری و ناصافی بیشتر سطوح است (Rodríguez et al., 2013).

(1997). دوم، پارامتر کنتراست و تمایز (CT)، که نشان‌دهنده میزان تغییرات محلی داده شده توسط تفاوت در مقدار خاکستری در تصویر است. مقدار CT سطوح صاف، کمتر از سطوح ناهموار خواهد بود. سوم، مقدار همبستگی (CR) است، که مقیاسی از وابستگی خطی شدت رنگ خاکستری در تصویر، بسته به جهت اندازه‌گیری (زاویه‌های مختلف) است. یک تصویر ممکن است مقدار CR کم در یک جهت و مقدار CR بالاتر در جهت دیگر داشته باشد. چهارم، مقدار گشتاور معکوس (IDM) مشابه ASM، اما با استفاده از معادله‌ای متفاوت، کمیت همگنی تصویر را تعیین می‌کند، به طوری که مقدار وزنی IDM معکوس وزن کنتراست است. در واقع گشتاور معکوس (IDM) همگنی محلی است. بنابراین زمانی که سطح خاکستری محلی یکنواخت و گشتاور معکوس بالا است، مقدار آن زیاد است (Singh et al., 2010). در نهایت، پارامتر آنتروپی (ET)، مقیاسی است که به طور معکوس به مرتبه شدت رنگ خاکستری در تصویر مربوط می‌شود: یک سطح صاف مقدار ET کمتری نسبت به سطح زبر نشان می‌دهد (Arzate-Vázquez et al., 2012; Zheng et al., 2006). آنتروپی اطلاعات تصویر را اندازه‌گیری می‌کند و نشان‌دهنده پیچیدگی توزیع بافت است (Parker and Terzidis, 2011). چندین تابع آنالیز بافت نیز در جعبه‌ابزار پردازش تصویر نرم‌افزار متلب موجود است که تصویر را با استفاده از روش‌های آماری استاندارد فیلتر می‌کند. توابع rangefilt و stdfilt به ترتیب طیف محلی و انحراف استاندارد یک تصویر را محاسبه می‌کنند. تابع entropyfilt نیز یک اندازه‌گیری آماری تصادفی است که آنتروپی محلی یک تصویر سیاه و سفید را محاسبه می‌کند. همه توابع به یک روش مشابه عمل می‌کنند، به طوری که ابتدا یک همسایگی در اطراف پیکسل مورد نظر تعریف کرده، سپس ویژگی‌های آماری آن ناحیه را محاسبه می‌کنند و از آن مقدار به‌عنوان ارزش پیکسل در تصویر خروجی استفاده می‌کنند. تابع stdfilt انحراف استاندارد تمام مقادیر موجود در همسایگی و تابع entropyfilt آنتروپی همسایگی را محاسبه می‌کند و آن مقدار را به پیکسل خروجی اختصاص می‌دهند. این روش‌های آماری می‌توانند با توجه به اطلاعاتی در مورد تنوع محلی مقدار شدت پیکسل‌ها در یک تصویر، بافت تصویر را مشخص کنند. به‌عنوان مثال، در مناطقی با بافت صاف، بازه مقدار پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل، مقدار کوچکی دارد و در نواحی با بافت زبر و خشن، محدوده بازه بزرگ‌تر خواهد بود. به طور مشابه، محاسبه انحراف استاندارد پیکسل‌ها در یک همسایگی می‌تواند درجه تنوع مقادیر پیکسل در آن منطقه را نشان دهد (Kumar et al., 2008). بنابراین ویژگی‌های بافتی جهت‌دار و مستقل از جهت اندازه‌گیری پودر عصاره در چهار شرایط عملی انتخابی خشک‌کن خلأیی پاششی با استفاده از روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری مقایسه شدند.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در شرایط (الف) A₄ و (ب) A₁ خشک‌کن پاششی خلأیی

Fig.1. SEM images of artichoke leaf extract powders in condition of (a) A₄ and (b) A₁ of vacuum spray drying

معنی‌داری را نشان داد. مطابق جدول ۳ در شرایط خشک‌کن A₄ و A₃ مقدار همبستگی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به نتایج تحقیق گزارش شده توسط Rodríguez و همکاران (۲۰۱۳)، مقدار CR بزرگ‌تر، زبری کمتر و کرویت بیشتری را نشان می‌دهد. از آنجاکه در شرایط A₄، فرآیند خشک‌کردن در دمای بالا و فشار خلأ پایین اتفاق می‌افتد، گردابان حرارتی و فشار بیشتری بین محلول اتمیزه و داخل محفظه خشک‌کن ایجاد می‌شود که منجر به تبخیر سریع‌تر و در نتیجه مهاجرت اجزای محلول درون پوسته تشکیل شده به سطح قطرات اتمیزه می‌گردد، از این رو، تشکیل سریع یک لایه سخت خشک روی سطح قطرات در این شرایط، مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذرات با زبری کمتر و همبستگی بیشتر بین سطوح خاکستری پیکسل را تولید می‌کند. مطابق با نتایج این تحقیق، (Alamilla *et al.*, 2005) رابطه‌ای خطی و مستقیم بین نرخ تبخیر و خشک‌کردن ذرات با خشک‌کن پاششی و صافی سطوح ذرات گزارش کردند. شرایط A₃ نیز با داشتن غلظت پایین‌تر و سطوح دما و فشار متوسط، زبری کمتر و مقدار CR بزرگ‌تری داشته است. با نظر به این که، در غلظت پایین محلول با ثابت بودن میزان ماده (حامل) افزودنی، مقدار ماده افزودنی در نسبت عصاره به افزودنی (لاکتوز) افزایش یافته است، در نتیجه با کاهش غلظت محلول میزان لاکتوز در محلول بیشتر شده و سبب زبری کمتر در سطح پودر تولیدشده توسط دستگاه خشک‌کن خلأیی پاششی شده است. از آنجایی که ماده افزودنی به‌عنوان یک ماده تشکیل‌دهنده پوسته در فرآیند خشک‌کردن ذرات است، بنابراین، ذرات تولیدشده با انواع حامل، شکلی کروی و سطوحی صاف را نشان دادند (Tonon *et al.*,

با توجه به این ویژگی، زمانی که قطرات در دمای پایین (۵۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ بالا (۴۰ کیلو پاسکال) خشک می‌شوند نسبت به قطرات خشک‌شده در دمای بالاتر (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین‌تر (۲۰ کیلو پاسکال) چروکیدگی بیشتری دارند. این رفتار می‌تواند با مکانیسم‌های چروکیدگی و تغییر شکل شدیدتر تحت این شرایط فرآیند در ارتباط باشد. دمای پایین‌تر و فشار خلأ بالاتر در فرآیند خشک‌کردن سبب انتشار و پخش آهسته‌تر آب در مواد و فرآیند تغییر شکل چشمگیر در ذرات شد. بنابراین تحت این شرایط، ذرات کوچک‌تر با زبری بیشتر و کرویت کمتری نسبت به دمای بالا و فشار خلأ پایین مشاهده شد. همسان با نتایج این تحقیق (Chanona- Pérez *et al.*, 2008) گزارش کردند که دمای خشک‌کردن پایین، ذرات کوچک‌تری تولید می‌کند که دارای سطحی زبرتر و کرویتی کمتر نسبت به ذرات خشک‌شده در دمای بالا می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی کنتراست بافت تک ذره پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به طوری که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه نسبت به زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه بزرگ‌تر بودند. این پدیده نشان‌دهنده میزان بالاتری از تغییرات محلی در پیکسل‌های مربوط به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه با توجه به بافت تک ذره تصویر می‌باشد. در پژوهشی (Rodríguez *et al.*, 2013) با تحلیل بافت عصاره وانیل میکروکپسوله شده نتایج مشابهی برای ویژگی‌های بافتی در جهت صفر و ۹۰ درجه حاصل شد که با نتایج این تحقیق همسو هست. تحلیل ویژگی بافتی همبستگی (CR) تصویر تک ذره پودر عصاره تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری در جهت‌های چهارگانه در سطح ($P < 0.0001$) اختلاف

است انرژی بافت پودر عصاره در زاویه‌های مختلف همسان نباشد. مقادیر بالاتر انرژی نشان‌دهنده توزیع یکنواخت سطوح خاکستری پیکسل‌ها است، لذا در این شرایط، فرآیند تبخیر تسریع یافته و تصاویری با پیکسل‌های همگن و مشابهی از بافت ذرات مشاهده شد. پارامتر همگنی بافت تک ذره پودر عصاره نیز تحت تأثیر چهار شرایط مختلف کاری اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P < 0.001$). ویژگی همگنی (IDM) با همگنی محلی پیکسل‌ها در تصویر مرتبط است. مقادیر کم همگنی نشان‌دهنده توزیع نامنظم و ناهمگونی محلی پیکسل‌ها بر روی تصویر است و منجر به زبری و ناصافی بیشتر در سطح ذرات می‌شود. مطابق جدول ۳ پارامتر همگنی در شرایط A₁، به دلیل تبخیر آهسته‌تر و تشکیل ذرات چروکیده و زبر در دمای پایین و فشار خالص بالا، دارای کمترین مقدار است. مشابه نتایج تحقیق حاضر، همگنی بافت میکروساختار با استفاده از تحلیل تصاویر میکروسکوپی نتایج مشابهی دارند.

نتایج مشابهی توسط Tonon و همکاران (۲۰۰۸) در مورد پودرهای میوه توت آسایی یا Acai با افزودنی مالتودکسترین و Gavini و همکاران (۲۰۰۵) در مورد پودرهای عصاره هیدروآلکلی برگ کنگر فرنگی تولیدشده از خشک‌کن پاششی با افزودنی‌های لاکتوز و هیپروملوز گزارش شده است. CR با توجه به جهت اندازه‌گیری در زاویه صفر و ۹۰ درجه به دلیل وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر، مقادیر بزرگ‌تری نسبت به زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه نشان داد. نتایج مشابهی برای اثر زاویه روی ویژگی‌های بافتی GLCM توسط (Alsadegh and Joan, 2012) گزارش شد به طوری که در زاویه صفر درجه بهترین نتایج برای ویژگی‌های بافتی به دست آمد و در سایر جهتها با توجه به نوع بافت متفاوت بود. با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳، در شرایط A₄ پارامتر انرژی (ASM) نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.001$). اثر زاویه بر این پارامتر نیز نزدیک به معنی‌دار شدن بود ($P < 0.1$) که نشان‌دهنده این است که ممکن

جدول ۳- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار تک ذره تصاویر پودر عصاره

Table 3-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the single-particle directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
	کنتراست Contrast	همبستگی Correlation	انرژی Energy	همگنی Homogeneity
شرایط خشک‌کن Condition of drying				
A ₁ (40kPa, 55°C, 2%)	2.87 ^a	0.73 ^c	0.12 ^d	0.72 ^b
A ₂ (30kPa, 65°C, 2.5%)	1.65 ^b	0.85 ^b	0.21 ^c	0.87 ^a
A ₃ (30kPa, 65°C, 2%)	1.37 ^b	0.89 ^a	0.29 ^b	0.89 ^a
A ₄ (20kPa, 75°C, 3%)	1.05 ^b	0.91 ^a	0.46 ^a	0.88 ^a
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
زاویه Angle				
Angle 0°	1.37 ^b	0.88 ^a	0.32 ^a	0.86 ^a
Angle 45°	2.14 ^a	0.81 ^b	0.22 ^b	0.83 ^b
Angle 90°	1.41 ^b	0.87 ^a	0.27 ^{ab}	0.85 ^{ab}
Angle 135°	2.03 ^a	0.82 ^b	0.268 ^{ab}	0.836 ^{ab}
خطای استاندارد SE	0.21	0.105	0.24	0.0094
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.022	<0.0001	0.065	0.055
شرایط × زاویه Condition × angle	0.94	0.13	0.82	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different ($P < 0.05$)

عصاره را نشان می‌دهد. مطابق جدول، توابع rangefilt و stdfilt در شرایط A₁ (دمای ۵۵ درجه سلسیوس، فشار خالص ۴۰ کیلو پاسکال و

جدول ۴ تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی را بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری تصویر تک ذره پودر

معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.05$). افزایش مقدار glemstd بیانگر این است که انحراف استاندارد مقادیر ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری در همسایگی پیکسل‌ها در شرایط کاری A_4 که نسبت به شرایط A_1 و A_2 ، سطح دمایی بالاتر و فشار خلاً پایین‌تر و غلظت بیشتری دارد، بالاتر است. نتایج مشابهی توسط (Valipoori Goodarzi *et al.*, 2015) به‌منظور تشخیص تغییرات بافتی سرطان پوست با استفاده از فیلترهای بافت گزارش شد.

غلظت ۲ درصد) نسبت به سایر شرایط به‌طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بودند ($P < 0.05$)، به‌نحوی که در این شرایط به‌ترتیب، بازه مقدار شدت خاکستری و درجه تنوع (انحراف استاندارد) مقادیر پیکسل‌ها در همسایگی اطراف یک پیکسل در تصویر، بالا بوده است. این رویداد می‌تواند به دلیل تشکیل پودری با سطح زیر و ناصاف در فرآیند خشک‌کردن با دمای ورودی پایین و فشار خلاً بالا باشد. مقدار glemstd نیز در شرایط A_4 نسبت به سایر شرایط خشک‌کن به‌طور

جدول ۴- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت تک ذره تصاویر پودر عصاره
Table 4- The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the single-particle independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features					
	شرایط خشک‌کن Condition of drying	آنترپپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std
$A_1(40\text{kPa}, 55^\circ\text{C}, 2\%)$	4.76	3.73 ^a	88.847 ^a	34.603 ^a	83.813	12.33 ^b
$A_2(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2.5\%)$	3.02	2.09 ^b	48.543 ^b	19.087 ^b	84.110	59.05 ^b
$A_3(30\text{kPa}, 65^\circ\text{C}, 2\%)$	3.15	2.03 ^b	38.823 ^b	15.403 ^b	89.910	120.07 ^{ab}
$A_4(20\text{kPa}, 75^\circ\text{C}, 3\%)$	4.49	2.74 ^{ab}	35.223 ^b	13.683 ^b	89.453	206.85 ^a
خطای استاندارد SE	0.543	0.395	6.92	3.087	5.99	32.36
P-Value	0.11	0.053	0.002	0.005	0.82	0.014

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different ($P < 0.05$)

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، اثر زاویه نیز بر روی همبستگی بافت ذرات توده‌ای پودر عصاره در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، به‌طوری که مقادیر این پارامتر در زاویه‌های صفر و ۹۰ درجه نسبت به زاویه‌های ۴۵ و ۱۳۵ درجه بزرگ‌تر بودند. این پدیده نشان‌دهنده وابستگی بیشتر بین شدت رنگ خاکستری پیکسل‌های تصویر در زوایای ۰ و ۹۰ درجه با توجه به ماهیت بافت ذرات توده‌ای تصویر می‌باشد (Alsadegh and Joan, 2012). پارامتر انرژی بافت ذرات توده‌ای در تصاویر یکنواخت و دارای پیکسل‌های خیلی مشابه، مقادیر بالایی دارد. با توجه به جدول ۵، در شرایط A_3 و A_4 مقدار انرژی بافت نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود ($P < 0.0001$). مطابق نتایج گزارش شده توسط (Arzate-Vázquez *et al.*, 2012) مقدار انرژی بزرگ‌تر، همگنی و یکنواختی بیشتر تصویر را نشان می‌دهد. از آنجا که در شرایط A_4 ، فرآیند خشک‌کردن عصاره و تشکیل پودر در دمای بالا و فشار خلاً پایین صورت می‌گیرد، منجر به تبخیر سریع‌تر قطرات و مانع از چروکیدگی ذرات شده و ذراتی با زبری کمتر و همگن‌تر تولید می‌کند.

جدول ۵ اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری را روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره نشان می‌دهد. با توجه به جدول، تغییر شرایط کاری خشک‌کن روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار اختلاف معنی‌داری را نشان داد. تغییر زاویه نیز تنها بر روی پارامتر همبستگی بافت پودر عصاره ذرات توده‌ای معنی‌دار شد. مطابق جدول ۵ در شرایط خشک‌کن A_1 ، مقدار کنتراست (CT) بافت ذرات توده‌ای نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن بزرگ‌تر بود. با توجه به مطالب ذکر شده روی ویژگی‌های بافتی تک ذره، در شرایط دمایی پایین و فشار خلاً بالا منجر به زبری و ناصافی بیشتر سطوح و مقدار بزرگ‌تر کنتراست می‌شود و میزان تغییرات محلی پیکسل‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که این نتایج مشابه نتایج گزارش شده توسط (Chanona-Pérez *et al.*, 2008) بود. همچنین نتایج ارائه شده در جدول ۵ نشان می‌دهد که در شرایط A_4 پارامتر همبستگی نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($P < 0.0001$). افزایش مقدار همبستگی به تشکیل سریع پوسته سخت در سطح ذرات در دمای تبخیر بالا و فشار خلاً پایین نسبت داده می‌شود، به‌طوری که پودری با سطح صاف و نرم را تولید می‌کند (Tonon *et al.*, 2011).

جدول ۵- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی و زاویه اندازه‌گیری روی ویژگی‌های بافتی جهت‌دار ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره

Table 5- The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions and measuring angle on the mass particles directional textural features of powdered extracts images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features			
	کنتراست	همبستگی	انرژی	همگنی
شرایط خشک‌کن Condition of drying	Contrast	Correlation	Energy	Homogeneity
A ₁ (40kPa, 55°C, 2%)	1.028 ^a	0.77 ^c	0.052 ^c	0.69 ^c
A ₂ (30kPa, 65°C, 2.5%)	0.61 ^b	0.87 ^b	0.069 ^b	0.76 ^b
A ₃ (30kPa, 65°C, 2%)	0.46 ^b	0.91 ^{ab}	0.081 ^a	0.80 ^{ab}
A ₄ (20kPa, 75°C, 3%)	0.43 ^b	0.93 ^a	0.089 ^a	0.83 ^a
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
زاویه				
Angle				
Angle 0°	0.60	0.89 ^a	0.069	0.80 ^a
Angle 45°	0.64	0.85 ^b	0.069	0.75 ^b
Angle 90°	0.61	0.89 ^a	0.074	0.76 ^{ab}
Angle 135°	0.68	0.84 ^b	0.079	0.78 ^{ab}
خطای استاندارد SE	0.093	0.014	0.0037	0.017
P-Value				
شرایط خشک‌کن Condition of drying	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001
زاویه Angle	0.93	0.018	0.19	0.149
شرایط × زاویه Condition × angle	0.99	0.63	0.86	0.95

حرف‌های غیرهمسان در هر بخش از هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in each part of columns are significantly different (P<0.05)

پودر عصاره در جدول ۵، تنها ویژگی آنترپپی (ET) با تغییر شرایط کاری خشک‌کن اختلاف معنی‌داری را نشان داد (P<0.05). به طوری که در شرایط A₁ بالاترین مقدار را دارا بود. با توجه به نتایج تحقیق (Arzate-Vázquez et al., 2012) تصویر با بافت پیچیده‌تر و زبری بیشتر مقادیر آنترپپی بالایی دارد. از این‌رو، در شرایط A₁ (دمای پایین و فشار خلأ بالا) فرآیند خشک‌کردن به گونه‌ای است که منجر به تشکیل پودری با بافت زبر و خشن می‌شود.

نتیجه‌گیری

پردازش تصویر می‌تواند ابزار کمکی برای درک و توصیف سیستم‌های پیچیده مانند غذا و مواد بیولوژیکی باشد. در این مطالعه روشی مبتنی بر تصویربرداری به منظور ارزیابی ویژگی‌های بافتی پودر عصاره برگ کنگر فرنگی در چهار شرایط مختلف خشک‌کن پاششی خلأیی توسعه داده شد.

مطابق جدول ۵، در حالت‌های آزمایشی A₂ و A₃ با شرایط دما و فشار یکسان، حالت A₃ با داشتن غلظت پایین‌تر، زبری کمتر و مقدار انرژی و یکنواختی بیشتری نسبت به شرایط A₂ داشته است. در واقع با توجه به نسبت عصاره به افزودنی، با کاهش غلظت محلول، میزان ماده افزودنی (لاکتوز) افزایش یافت، بنابراین افزایش غلظت افزودنی سبب تسریع در فرآیند تشکیل پوسته سخت شد در نتیجه تصویر ذرات تولیدشده در این شرایط بافت یکنواخت‌تری دارند. همچنین شرایط A₃ به دلیل داشتن سطح دمایی بالاتر و فشار خلأ پایین‌تر نسبت به شرایط A₁، فرآیند تشکیل پودر عصاره سریعتر اتفاق افتاده و بافت همگن‌تری حاصل می‌شود. پارامتر همگنی که همگنی محلی را نشان می‌دهد، همانند ویژگی انرژی بافت در شرایط A₄ نسبت به سایر شرایط کاری خشک‌کن به طور معنی‌داری بیشترین مقدار را دارا بود (P<0.0001). این نتایج با نتایج (Fernández et al., 2005; Mendoza et al., 2007) مطابقت داشت.

با توجه به تحلیل اثر شرایط خشک‌کن خلأیی پاششی بر ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت اندازه‌گیری مربوط به ذرات توده‌ای

جدول ۶- تحلیل اثر چهار شرایط عملی خشک‌کن خلأیی پاششی روی ویژگی‌های بافتی مستقل از جهت ذرات توده‌ای تصاویر پودر عصاره
Table 6-The analysis of the effect of vacuum spray drying conditions on the mass particles independent of direction textural features of extract powder images

منبع تغییر Source of variation	ویژگی‌های بافتی Textural features					
	آنتروپی Entropy	Entropy filt	Range filt	Stdfilt	Image-std	GLCMstd
شرایط خشک‌کن Condition of drying						
A ₁ (40kPa, 55°C, 2%)	7.14 ^a	5.16	71.8 ^a	23.29 ^a	61.377	634.3
A ₂ (30kPa, 65°C, 2.5%)	6.72 ^{ab}	4.9	51.71 ^{ab}	16.38 ^{ab}	58.600	1059.1
A ₃ (30kPa, 65°C, 2%)	6.51 ^b	4.75	46.85 ^{ab}	13.89 ^{ab}	61.707	1096.1
A ₄ (20kPa, 75°C, 3%)	6.32 ^b	4.67	39.83 ^b	11.067 ^b	57.673	1250.3
خطای استاندارد SE	0.17	0.172	7.64	3.3	2.39	339.2
P-Value	0.04	0.26	0.08	0.13	0.57	0.63

حرف‌های غیرهمسان در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است.

Means with different letters in columns are significantly different (P<0.05)

معکوس را نشان دادند. کاهش غلظت محلول نیز منجر به وجود اجزای هیدروفیلی (لاکتوز) بیشتر در ترکیب عصاره با افزودنی شده و در نتیجه ویژگی‌های بافتی پودر عصاره بهبود می‌یابد. پارامتر جهت نیز بر ویژگی‌های بافتی GLCM تأثیر گذاشته بود. دو ویژگی بافتی جهت‌دار (کنتراست و همبستگی) نیز با توجه به ماهیت بافت ذرات در جهات مختلف اندازه‌گیری تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. بنابراین سیستم پردازش تصویر یک راه ساده، سریع و راحت برای تشخیص اطلاعات بافتی پودرهای مواد غذایی و بیولوژیکی فراهم می‌کند. اطلاعات استخراج شده از تجزیه و تحلیل بافت تصویر ممکن است اطلاعات مفید و باارزشی را به درک نقش ساختار با توجه به عملکرد محصول ارائه کنند. در نتیجه، این ابزار می‌تواند بهبود فرآیند مواد غذایی را تکمیل کند.

روش ماتریس هم‌وقوعی سطح خاکستری (GLCM) به منظور تحلیل بافت تصاویر میکروسکوپی استفاده شد. پارامترهای بافت مورد مطالعه گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم (انرژی)، کنتراست، همبستگی، آنتروپی، گشتاور معکوس (همگنی) و توابع $stdfilt$ ، $rangefilt$ ، $entropyfilt$ ، $glcmstd$ ، $image_std$ نتایج نشان داد که دمای بالا (۷۵ درجه سلسیوس) و فشار خلأ پایین (۲۰ کیلو پاسکال) در شرایط بهینه به دلیل سرعت تبخیر و خشک شدن بیشتر منجر به تشکیل تعداد بیشتری از ذرات با سطوح صاف شد، در نتیجه در این شرایط، پارامترهای گشتاور زاویه‌ای مرتبه دوم، همبستگی، گشتاور معکوس و $glcmstd$ بیشترین مقدار و مقادیر کنتراست، آنتروپی، $stdfilt$ و $rangefilt$ کمترین مقدار را دارا بودند. بنابراین، پارامترهای کنتراست و آنتروپی در مقایسه با همبستگی، انرژی و همگنی روندی

References

- Aguilera, J. M. 2007. Microstructure and Food Product Engineering. Food Technology 54 (11): 56-65.
- Alamilla-beltran, L., J. J., Chanona-perez, A. R., Jimenez-aporicio, and G. F., Gutierrez-lopez. 2005. Description of morphological changes of particles along spray drying. Journal of Food Engineering 67: 179-184.
- Albregtsen, F. 2008. Statistical Texture Measures Computed from Gray Level Cooccurrence Matrices. <https://pdfs.semanticscholar.org/3253/8c358410ebce7c9ecf688adddd13f45b75b.pdf>.
- Alsadeh Saleh Saied, M., and L. Joan. 2015. Analysis of GLCM Parameters for Textures Classification on UMD Database Images. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Communications and Computation. INFOCOMP (2015). IARIA, Brussels, Belgium, 111-116. ISBN 9781612084169.
- Arzate-Vázquez, I., J. J. Chanona-Pérez, G. Calderón-Domínguez, E. Terres-Rojas, V. Garibay-Febles, A. Martínez-Rivas, and G. F. Gutiérrez-López. 2012. Microstructural characterization of chitosan and alginate films by microscopy techniques and texture image analysis. Carbohydrate Polymers 87 (1): 289-299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.07.044>.
- Chanona-Pérez, J., R. Quevedo, A. R. Jiménez Aparicio, C. Gumeta Chávez, J. A. Mendoza Pérez, G. Calderón Domínguez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2008. Image Processing Methods and Fractal Analysis for Quantitative Evaluation of Size, Shape, Structure and Microstructure in Food

- Materials. pp 277-286 in G. F. Gutiérrez-López., J. Welti-Chanes and E. Parada-Arias eds. Food Engineering: Integrated Approaches. Springer. México.
7. Chindapan, N., S. Devahastin, and N. Chiewchan. 2010. Effect of electro dialysis pretreatment on physicochemical properties and morphology of spray-dried-fish sauce powder. *Journal of Food Engineering* 99 (1): 31-39. doi:10.1016/j.jfoodeng.2010.01.027.
 8. Fernández, L., C. Castellero, and J. M. Aguilera. 2005. An application of image analysis to dehydration of apple discs. *Journal of Food Engineering* 67: 185-193.
 9. Freitas, S., H. P. Merkle, and B. Gander. 2004. Ultrasonic atomization into reduced pressure atmosphere envisaging aseptic spray-drying for microencapsulation. *Journal of Controlled Release* 95 (2): 185-195.
 10. Gavini, E., M. C. Alamanni, M. Cossu, and P. Giunchedi. 2005. Tableted microspheres containing *Cynara scolymus* (var. *Spinoso sardo*) extract for the preparation of controlled release nutraceutical matrices. *Journal of Microencapsulation* 22 (5): 487-99.
 11. Golpour, I., J. Amiri Parian, R. Amiri Chayjan, and J. Khazaei. 2015. Identification of varieties of paddy, brown and white rice based on the texture characteristics and artificial neural network. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 73-81. (In Farsi).
 12. Kamruzzaman, M., G. E. Masry, D. W. Sun, and P. Allen. 2012. Prediction of some quality attributes of lamb meat using near-infrared hyperspectral imaging and multivariate analysis. *Analytica Chimica Acta* 714: 57-67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.037>.
 13. Kumar, V., S. Sood, and Sh. Mishra. 2008. Introducing Effects in an Image: A MATLAB Approach. Available at: <https://hal.inria.fr/inria-00321624>.
 14. Lattanzio, V., P. A. Kroon, V. Linsalata, and A. Cardinali. 2009. Globe artichoke: A functional food and source of nutraceutical ingredients. *Journal of Functional Foods* 1: 131-144.
 15. Marzi, V., V. Lattanzio, and S. Vanadia. 1975. *Il Carciofo Pianta Medicinale*. Palo, Bari: Ed. Liantonio.
 16. Mendoza, F., P. Dejmek, and J. M. Aguilera. 2007. Colour and image texture analysis in classification of commercial potato chips. *Food Research International* 40: 1146-1154.
 17. Meraz-Torres, L. S., M. X. Quintanilla-Carvajal, D. I. Téllez-Medina, H. Hernández-Sánchez, L. Alamilla-Beltrán, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Water droplet spreading and recoiling upon contact with thick-compact maltodextrin agglomerates. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 2594-2600. Doi: 10.1002/jsfa.4631.
 18. Mirarab Razi, S., M. Mohebbi, and A. Alghoone. 2015. Investigation of application image processing in assessing the microstructure of ice cream. *Innovative food technologies* 8: 49-61
 19. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, and M. R. Golzarian. 2015. Computer vision algorithms designed to detect sweet pepper for robotic harvesting in natural light conditions. *Journal of Agricultural Machinery* 5 (1): 82-91. (In Farsi).
 20. Mohammadi Moghaddam, T., M. BahramParvar, and S. M. A. Razavi. 2015. Effect of frying temperature and time on image characterizations of pellet snacks. *Journal of Food Science and Technology* 52 (5): 2958-2965. doi: 10.1007/s13197-014-1326-6.
 21. Mohanaiah, P., P. Sathyanarayana, and L. GuruKumar. 2013. Image texture feature extraction using GLCM approach. *International Journal of Scientific and Research Publications* 3 (5): ISSN 2250-3153.
 22. Nikolova, Y., J. Petit, A. Gianfrancesco, C. F. W. Sanders, J. Scher, and C. Gaiani. 2015: Impact of Spray-Drying Process Parameters on Dairy Powder Surface Composition and Properties. *Drying Technology: An International Journal*, DOI: 10.1080/07373937.2015.1060494.
 23. Parker, J. R., and K. Terzidis. 2011. *Algorithms for image processing and computer vision*, Second Edition, Wiley Publishing, Indianapolis.
 24. Quintanilla-Carvajal, M. X., L. S. Meraz-Torres, L. Alamilla-Beltrán, J. J. Chanona-Pérez, E. Terres-Rojas, H. Hernández-Sánchez, A. R. Jimenez-Aparicio, and G. F. Gutiérrez-López. 2011. Morphometric Characterization of Spray-Dried Microcapsules before and After -Tocopherol Extraction. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 10 (2): 301-312.
 25. Rodríguez, S. D., T. F. Wilderjans, N. Sosa, and D. L. Bernik. 2013. Image Texture Analysis and Gas Sensor Array Studies Applied to Vanilla Encapsulation by Octenyl Succinic Anhydride Starches *Journal of Food Research* 2: 1-13.
 26. Sadykhov, A., and S. Kish. 1997. Unique ultrasonic vacuum spray dryer e a new spray drying concept for high quality powder. The second Israel Conference for Conveying and Handling of Particulate Solids, Jerusalem, Isreal.

27. Semyonov, D., O. Ramon, and E. Shimoni. 2011. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. *Journal of Food Science and Technology* 44: 1844-1852.
28. Singh, V., T. N. Singh, and V. Singh. 2010. Image processing applications for customized mining and ore classification. *Arabian Journal of Geosciences* 4: 1163-1171.
29. Sonnante, G., A. De Paolis, V. Lattanzio, and P. Perrino. 2002. Genetic variation in wild and cultivated artichoke revealed by RAPD markers. *Genetic Resources and Crop Evolution* 49: 247-252.
30. Tonon, R. V., C. Brabet, and M. D. Hubinger. 2008. Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering* 88: 411-418.
31. Tonon, R. V., C. R. F. Grosso, and M. D. Hubinger. 2011. Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying, *Food Research International* 44 (1): 282-289.
32. Tournier, C., M. Grass, D. Zope, C. Salles, and D. Bertrand. 2012. Characterization of bread breakdown during mastication by image texture analysis. *Journal of Food Engineering* 113 (4): 615-622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.07.015>.
33. Valipoori Goodarzi, F., J. Haddadnia, and M. Hashemiyan. 2015. Diagnosis of malignant melanoma based on tissue changes in spatial thermography images. *Dermatology and Cosmetic* 6 (4): 221-226.
34. Williams, A. T., R. J. Wiltshire, and C. M. Thomas. 1998. Sand Grain Analysis, Image Processing, Textural Algorithms and Neural Nets. *Computers & Geosciences* 24: 111-118.
35. Woo, M. W., A. S. Mujumdar, and W. R. W. Daud. 2010. Spray Drying Technology, pp. 113-156 in W.P. Oliveira, C.R.F. Souza, L.E. Kurozawa, K.L Park eds. *Spray Drying of Food and Herbal Products*. Published in Singapore.
36. Yu, X., K. Liu, D. Wu, and Y. He. 2012. Raisin quality classification using least squares support vector machine (LSSVM) based on combined color and texture features. *Food and Bioprocess Technology* 5 (5): 1552-1563. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-011-0531-9>.
37. Zheng, C., D. W. Sun, and L. Zheng. 2006. Recent applications of image texture for evaluation of food qualities – a review. *Trends in Food Science & Technology* 17 (3): 113-128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2005.11.006>.

Analysis of Microscopic Image Textural Features of Artichoke Leaf Extract Powder Produced from Vacuum Spray Drying

S. Sadeghzade Namavar¹- J. Amiri Parian^{2*}- R. Amiri Chayjan³

Received: 16-03-2017

Accepted: 15-10-2017

Introduction

The artichoke is part of the foods from the vegetable group that provide important nutrients like vitamin A and C, potassium and fiber which used as a food and medicine. In the pharmaceutical sector, dried extracts are used in the preparation of pills and capsules. Dried extracts can be prepared from the dehydration of a concentrated extractive solution from herbal materials (leaves, roots, seeds, etc.), resulting in a dried powder. The spray drying is widely used in the preparation of dried powders from extracts of medicinal plants, fruit pulps. One of the newly developed spray drying techniques is an ultrasonic vacuum method, which strengths of spray drying by incorporation of ultrasonic atomizer and vacuum chamber. Nowadays, image processing has been applied to food images, as acquired by different microscopic systems, to obtain numerical data about the morphology and microstructure of the analyzed foods. For this purpose, microscopy and image processing techniques could be considered as proper tools to evaluate qualitatively and quantitatively the food microstructure, making possible to carry out numerical correlations between microstructure data, as obtained from the images, and the textural properties of food powders. The textural characteristics of the obtained dried powders are determined by means of a perfect detection by scanning electron microscopy (SEM) pictures, and analyzed with a statistical approach for image texture studies, which calls the gray level co-occurrence matrix (GLCM) technique. The object of this study was to illustrate the application of image processing to the study of texture properties from extract powder using GLCM texture analysis and some vacuum spray dryer conditions effect on the texture features of mass particles and single particle SEM images.

Materials and Methods

After preparing water extract solution from artichoke leaves, extracts were dried under four conditions of vacuum spray drying (according to Table 1). To study the texture of the obtained dried extract powders, different representative features are extracted from the GLCM matrix. The angular second moment (ASM), which is defined as a measure of the homogeneity of the image, the contrast parameter (CT), which represents the amount of local variations given by differences in the gray values in the image. The correlation value (CR), which is a measure of gray tone linear dependencies in the image depending on the direction of the measure (different θ s). The inverse difference moment value (IDM), which, similar to ASM, quantifies the homogeneity of the image, however, using a different equation, the entropy parameter (ET), which is a measure that is inversely related to the order given by the gray tones in the image. Rangefilt and stdfilt calculates the local range and local standard deviation of an image respectively. Entropyfilt calculates the local entropy of a grayscale image also. Parameters (ASM, CT, CR and IDM were analyzed in four directions (0° , 45° , 90° , and 135°)).

Results and Discussion

The results of analysis of variance showed that, the difference between the textural features of a single particle and mass particles in four different conditions vacuum spray dryer was significant statistically. Texture analysis was demonstrated that larger ASM, CR, and IDM values indicate less roughness, whereas larger CT and ET values indicate more roughness. At lower inlet temperature and higher vacuum pressure, water diffusion in the material to be slower and allowing the deformation process in the particles to be more pronounced. Consequently, it was possible to observe that generated smaller particles are rougher and less spherical. When the concentration is increased, due to the constant concentration of the additive, the ratio of excipient (lactose) to extraction decreased, as a result were formed a greater number of particles with rougher surfaces. According to these conditions, the values of CT, ET, rangefilt and stdfilt were larger while ASM, CR, and IDM values were

1, 2, 3- PhD Student, Assistant Professor and Associate Professor, respectively, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(*- Corresponding Author Email: Amiriparian@gmail.com)

smaller. By analyzing the effect of the angle on the oriented textural characteristics, the contrast and correlation parameter were maximum at the angles of 45 and 135 degrees and 0 and 90 degrees respectively.

Conclusions

Image processing could be auxiliary tools for understanding and characterizing complex systems such as food and biological materials. In this study imaging-based technique was developed to evaluate the texture properties of artichoke leaf extract powder at different conditions of vacuum spray drying. The use of higher temperatures and lower vacuum pressures contributed to faster evaporation rate and production of smoother and larger particles, thereby increasing ASM, CR, and IDM values and reducing CT, ET, Rangefilt and stdfilt. Furthermore, the contrast and entropy parameters showed inverse trends in comparison with correlation, energy and homogeneity. Decrease of solution concentration resulted in the more presence of lactose in the composition of extract/excipient improves the textural properties of powders. The direction parameter had also affected on GLCM textural features. Two oriented textural characteristics (contrast and correlation) also showed significant differences with respect to the nature of particle texture in different directions of measurement. The obtained data extracted from image analysis may provide valuable information to understand the role of structure with respect to product functionality.

Keywords: Artichoke leaves, Extract powder, Grey level co-occurrence matrix, Textural features, Vacuum spray drying