

## بررسی میزان برشته کردن بر برخی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، عملکردی، جریان پذیری، آنتی اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته شده به عنوان جایگزین کاکائو

الهام زابزاده<sup>۱</sup>، مصطفی مظاهری طهرانی<sup>۲\*</sup>، سمیرا یگانه زاد<sup>۳</sup>، محبت محبی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

\* نویسنده مسئول (mmtehrani@um.ac.ir)

۳- استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۰۹

### واژه های کلیدی

ارزیابی حسی

آرد سویا

برشته کردن

جایگزین کاکائو

خواص فیزیکی

### چکیده

باتوجه به اهمیت یافتن جایگزین های مناسب برای پودر کاکائو، ترکیب شیمیایی، ویژگی های فیزیکوشیمیایی و عملکردی، خصوصیات فیزیکی و جریان پذیری (زاویه ریپوز، ضریب هاسنر و اندیس تراکم پذیری کار)، همچنین ویژگی های حرارتی، آنتی اکسیدانی و حسی آرد سویای برشته شده در فرایند حرارتی دانه های سویا در دمای ۱۶۵ درجه سانتی گراد، در زمان های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه بررسی شد. مقادیر عناصر کلسیم، سدیم، آهن، روی، منگنز، مس و منیزیم با اعمال فرایند برشته کردن در نمونه ها افزایش نشان داد. با افزایش زمان برشته کردن، زاویه ریپوز در نمونه ها کاهش نشان داد. ضریب هاسنر و اندیس تراکم پذیری کار به ترتیب در نمونه آرد خام سویا ۱/۵۱ و ۳۳/۳۳ بود و پس از برشته کردن به ۱/۴۰ و ۲۸/۷۳ کاهش یافت. پژوهش نشان داد آرد سویا دارای جریان پذیری نسبتاً ضعیفی است و در محدوده پودرهای روان قرار نمی گیرد. پارامتر رنگی \*L که به عنوان شاخص دما - زمان در فرایند برشته کردن مواد غذایی (نظیر قهوه و کاکائو) مورد استفاده قرار می گیرد، با افزایش زمان کاهش یافت. نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی نشان داد که با افزایش زمان، فعالیت ضد رادیکالی و مقدار فنول کل در نمونه ها افزایش یافت و همبستگی معنی داری بین میزان فنول و فعالیت ضد رادیکالی مشاهده گردید ( $P < 0.05$ ). تجزیه و تحلیل حرارتی نمونه نشان دهنده پایداری حرارتی بالای آرد سویای برشته می باشد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد نمونه آرد برشته شده برای ۸ دقیقه را به لحاظ پذیرش کلی، قابل مقایسه با پودر کاکائو می باشد.

### مقدمه

تغییرات الگوهای جوی در سال های اخیر باعث عدم ثبات در تولید محصول کاکائو گردیده و پیش بینی می شود تا سال ۲۰۲۰ تقاضا بر عرضه پیشی گرفته و

طبق گزارش های منتشر شده از سوی سازمان جهانی کاکائو<sup>۱</sup> و مؤسسه بین المللی کاکائو<sup>۲</sup> در سال ۲۰۱۴،

<sup>2</sup> International Cocoa Organization (ICCO)

<sup>1</sup> World Cocoa Foundation

بحرانی در عرضه این محصول و صنایع تولیدی وابسته و در رأس آن تولید شکلات به وقوع بیانجامد ( ICCO, 2014; WCF, 2014). بدیهی است در این شرایط، یکی از راه‌های مقابله با این بحران، معرفی و کاربرد محصولات جایگزین می‌باشد. پودر برشته‌شده لوبیای خرنوب<sup>۱</sup>، ظاهر و عطروطعمی نزدیک به کاکائو و شکلات داشته و در حال حاضر در فروشگاه‌های آمریکا و کشورهای غربی به‌عنوان ترکیب جایگزین یا حجم‌دهنده کاکائو به فروش می‌رسد. Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰)، شرایط فرایند و خصوصیات حسی این پودر را مورد مطالعه قرار دادند ( Yousif & Alghzawi, 2000). همچنین Sahin و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی اثر فرایند برشته‌کردن بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، فنولی و قهوه‌ای شدن پودر خرنوب را بررسی نمود (Sahin et al., 2009). در بسیاری از کشورهای عربی از پودر خرنوب برای تهیه نوشیدنی مخصوص ماه رمضان و انواع شیرینی‌های سنتی عربی استفاده می‌کنند (Mhaisen, 1991). در ترکیه از این پودر برای تهیه نوشیدنی داغ استفاده می‌شود، شرایط آماده‌سازی مشابه قهوه است ( Sahin et al., 2009). از دیگر محصولات قابل جایگزین می‌توان به آرد سویای برشته‌شده اشاره کرد که از قدیم در کشورهایی نظیر اسپانیا و ایتالیا به‌صورت‌های مختلف مورد استفاده بوده است (Kim et al., 2011). کاربرد این ترکیبات جایگزین، امکان تولید محصولات فاقد کافئین<sup>۲</sup> و تئوبرومین<sup>۳</sup> را میسر می‌سازد ( Macleod & Forcen, 1992; Petit & Pinilla, 1995; Kumazawa et al., 2002; Yousif & Alghzawi, 2000).

بحرانی در عرضه این محصول و صنایع تولیدی وابسته و در رأس آن تولید شکلات به وقوع بیانجامد ( ICCO, 2014; WCF, 2014). بدیهی است در این شرایط، یکی از راه‌های مقابله با این بحران، معرفی و کاربرد محصولات جایگزین می‌باشد. پودر برشته‌شده لوبیای خرنوب<sup>۱</sup>، ظاهر و عطروطعمی نزدیک به کاکائو و شکلات داشته و در حال حاضر در فروشگاه‌های آمریکا و کشورهای غربی به‌عنوان ترکیب جایگزین یا حجم‌دهنده کاکائو به فروش می‌رسد. Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰)، شرایط فرایند و خصوصیات حسی این پودر را مورد مطالعه قرار دادند ( Yousif & Alghzawi, 2000). همچنین Sahin و همکاران (۲۰۰۹)، در پژوهشی اثر فرایند برشته‌کردن بر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی، فنولی و قهوه‌ای شدن پودر خرنوب را بررسی نمود (Sahin et al., 2009). در بسیاری از کشورهای عربی از پودر خرنوب برای تهیه نوشیدنی مخصوص ماه رمضان و انواع شیرینی‌های سنتی عربی استفاده می‌کنند (Mhaisen, 1991). در ترکیه از این پودر برای تهیه نوشیدنی داغ استفاده می‌شود، شرایط آماده‌سازی مشابه قهوه است ( Sahin et al., 2009). از دیگر محصولات قابل جایگزین می‌توان به آرد سویای برشته‌شده اشاره کرد که از قدیم در کشورهایی نظیر اسپانیا و ایتالیا به‌صورت‌های مختلف مورد استفاده بوده است (Kim et al., 2011). کاربرد این ترکیبات جایگزین، امکان تولید محصولات فاقد کافئین<sup>۲</sup> و تئوبرومین<sup>۳</sup> را میسر می‌سازد ( Macleod & Forcen, 1992; Petit & Pinilla, 1995; Kumazawa et al., 2002; Yousif & Alghzawi, 2000).

سویا با نام علمی گلاسیسینماکس<sup>۴</sup> به‌عنوان یک منبع غذایی با اهمیت، در دنیا در سطح وسیعی کشت شده و به‌صورت‌های مختلفی از جمله استفاده مستقیم از دانه یا به‌صورت محصولات فراوری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. دانه سویا منبع غنی از پروتئین و چربی عمدتاً غیراشباع است ( Kim et al., 2011).

اعمال فرایندهای حرارتی نظیر برشته‌کردن بر مواد غذایی از جمله دانه‌ها، مغزها، میوه‌ها و سبزی‌ها منجر به ایجاد تغییرات فیزیکیوشیمیایی، تغییر در ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای همچون بهبود رنگ، طعم و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در نتیجه تولید ترکیبات حاصل از واکنش میلارد در این محصولات می‌گردد ( Nicoli et al., 1999; Lee & Lee, 2009; Borrelli et al., 2002; del Castillo et al., 2002). علاوه بر این، در طب سنتی چین از فرایند برشته‌کردن به‌منظور بهبود عملکرد درمانی و یا کاهش اثرات جانبی نامطلوب استفاده می‌کنند ( Chen et al., 2004). بررسی تأثیر فرایندهایی از جمله برشته‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی، عملکردی و تغذیه‌ای مواد غذایی از نظر مشخص کردن شرایط بهینه فرایند حائز اهمیت است. تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد بررسی اثر فرایندهای حرارتی مختلف از جمله برشته‌کردن بر ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی و آنتی‌اکسیدانی دانه‌های مختلف نظیر لوبیای سویای سیاه کوچک<sup>۵</sup>، مغز فندق<sup>۶</sup>، دانه قهوه، دانه ذرت و غیره انجام شده است ( Jaramillo-Flores et al., 2003; Kim et al., 2011; Nicoli et al., 1997; Dewanto et al., 2002; Turan et al., 2015; Lemos et al., 2010; Lima et al., 2012). درباره لوبیای سویای کره‌ای<sup>۷</sup>، Lee و همکاران (۲۰۰۹، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵)، پژوهش‌های متعددی را روی خواص آنتی‌اکسیدانی و خواص حسی طی برشته‌کردن به انجام رسانده‌اند (Lee et al., 2009; 2013; 2015).

براساس منابع موجود، امروزه بالغ بر ۵۰ درصد مواد اولیه خام مورد استفاده در صنایع و کارخانه‌ها به

<sup>5</sup> Isoflavone

<sup>6</sup> Phytate

<sup>7</sup> Saponin

<sup>8</sup> Small Black Soybean

<sup>9</sup> Korean Soybean

<sup>1</sup> Carob

<sup>2</sup> Caffeine

<sup>3</sup> Theobromine

<sup>4</sup> Glycinemax

استان گلستان می‌باشد. مواد شیمیایی مورد استفاده در آزمون‌ها از شرکت سیگما آلد ریچ تهیه شد.

#### فرایند برشته کردن

به منظور برشته کردن نمونه‌ها از دستگاه برشته‌کن<sup>۱</sup> الکتریکی آزمایشگاهی (مدل پروبات PRE 1Z، ساخت آلمان) موجود در واحد تحقیق و توسعه کارخانه قهوه مولتی مشهد استفاده گردید. ۱۰۰ گرم نمونه وارد محفظه چرخان دستگاه شدند که از قبل به دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد رسیده بود. زمان‌های ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه برای برشته‌شدن اعمال گردید. پس از طی زمان مشخص، نمونه‌ها به دمای محیط (۲۰±۲ درجه سانتی‌گراد) رسید و توسط آسیاب آزمایشگاهی (IKA-A11، ساخت آلمان) پودر شد و از الک با مش ۴۰ (۴۲۰ میلی‌متر) عبور داده شد. پس از آن نمونه‌های آرد برشته‌شده در ظروف شیشه‌ای کاملاً دربسته آزمایشگاهی در دمای یخچال نگهداری شدند.

#### خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های عملکردی

##### اندازه‌گیری فعالیت آب و pH

فعالیت آبی کلیه نمونه‌ها در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از دستگاه Novasina Labmaster (ساخت سوئیس) انجام گرفت. به منظور اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر آزمایشگاهی (Metrohm 827، ساخت سوئیس) استفاده گردید.

##### ظرفیت جذب روغن<sup>۳</sup> (OHC)

ظرفیت جذب روغن براساس روش Yu و همکاران (۲۰۰۷) انجام شد. ۱ گرم از نمونه با ۱۰ میلی‌لیتر روغن زیتون در فالكون به مدت ۳۰ دقیقه روی همزن مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و سپس به مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ گردید (۵۰۰×g). ظرفیت جذب روغن مطابق رابطه (۱) محاسبه شد:

شکل پودر است. با افزایش تنوع و حجم مصرفی پودرهای مورد استفاده در صنایع مختلف، شناخت ویژگی‌های مورد نیاز آنها طی فرایند، حمل و نقل و جابجایی خصوصاً در صنعت غذا به عنوان یک ضرورت مطرح می‌گردد. بررسی خصوصیات فیزیکی پودرها منجر به شناخت رفتار آنها در مراحل مختلف فراوری، ذخیره، بسته‌بندی و حمل و نقل می‌شود (Teunou *et al.*, 1999)؛ که در نتیجه، این شناخت به ما توانایی کاهش هزینه‌ها، پیشنهاد فرمولاسیون بهتر، بهینه‌یابی شرایط ذخیره، بسته‌بندی، جابجایی و حمل و نقل محصول را خواهد بخشید (De Freitas Eduardo & da Silva Lannes, 2007). هر چقدر دانش ما پیرامون ویژگی‌های فیزیکی پودرها افزایش یابد، به همان میزان در کنترل فرایند و کیفیت نهایی محصول موفق‌تر عمل خواهیم کرد (Alvarado & Aguilera, 2001).

در میان پژوهش‌های صورت پذیرفته تاکنون، پژوهش جامعی در مورد ارزیابی اثر زمان فرایند برشته کردن دانه سویا بر ویژگی‌های آرد آن به منظور بررسی قابلیت جایگزینی با پودر کاکائو و شناخت رفتار جریان در طی فراوری حرارتی وجود ندارد. بنابراین، در این پژوهش به بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی (فعالیت آبی، pH،  $a_w$ ، پارامترهای رنگی، ظرفیت جذب آب و روغن)، ویژگی‌های فیزیکی و جریان‌پذیری (زاویه ریپوز، دانسیته توده و متراکم، اندازه ذرات، ضریب هاسنر و اندیس کار)، حرارتی (کالری متری افتراقی)، آنتی‌اکسیدانی و حسی آرد سویا در زمان‌های مختلف برشته کردن پرداخته شده است، تا بر پایه اطلاعات به دست آمده و با توجه به پتانسیل بالای تغذیه‌ای و عملکردی دانه سویا، بتوان شرایط مطلوب برای معرفی این محصول به عنوان ترکیب جایگزین برای پودر کاکائو در تهیه انواع مختلف محصولات غذایی، خصوصاً شکلات را بررسی نمود.

#### مواد و روش‌ها

نمونه دانه کامل سویای مورد استفاده از کارخانه پروتئین توس سویا مشهد تأمین گردید که از واریته جی تی ایکس به عنوان واریته غالب کشت در منطقه

<sup>1</sup> Electrical Lab Roaster

<sup>2</sup> Probat

<sup>3</sup> Oil Holding Capacity

رابطه (۱)

$$OHC = \frac{O_2 - O_1}{O_0}$$

در رابطه (۱)،  $O_0$  وزن پودر خشک (گرم)،  $O_1$  وزن فالكون به علاوه پودر خشک (گرم) و  $O_2$  وزن فالكون به علاوه رسوب پودر حاوی روغن (گرم) است.

ظرفیت جذب آب<sup>۱</sup> (WHC)

به منظور اندازه گیری ظرفیت جذب آب، ۱ گرم از نمونه ها با ۱۰ میلی لیتر آب دیونیزه در فالكون به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر مخلوط شدند. سپس مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد و پس از سانتریفیوژ کردن نمونه (۲۰ دقیقه با سرعت  $3000 \times g$ )، ظرفیت جذب آب مطابق رابطه (۲) محاسبه گردید (Yu et al., 2007):

رابطه (۲)

$$WHC = \frac{W_2 - W_1}{W_0}$$

در رابطه (۲)،  $W_0$  وزن پودر خشک (گرم)،  $W_1$  وزن فالكون به علاوه پودر خشک (گرم) و  $W_2$  وزن فالكون به علاوه رسوب پودر حاوی آب (گرم) است.

ارزیابی ویژگی های رنگی

ویژگی های رنگی نمونه مورد بررسی با استفاده از دستگاه رنگ سنج (مدل C4-410، شرکت اوساکا، ساخت ژاپن) و براساس پارامترهای  $a^*$ ،  $b^*$  و  $L^*$  اندازه گیری شد.

آنالیز شیمیایی

رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین

میزان رطوبت، چربی و خاکستر نمونه ها مطابق روش AOAC (۲۰۰۳) برای آرد سویا به ترتیب با شماره های (۹۴۲/۰۵، ۹۴۵/۳۹ و ۹۲۵/۱۰) اندازه گیری شد. میزان پروتئین نمونه ها نیز با روش کلدال به شماره ۹۲۰/۸۷ و اعمال ضریب تبدیل نیتروژن به پروتئین سویا معادل ۵/۷۱ تعیین مقدار شد (AOAC, 2003).

عناصر معدنی

به منظور اندازه گیری کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه های مورد بررسی از پلاسما ی جفت شده القایی (ICP-OES) (SPECTRO ARCOS, Ametek، ساخت آلمان) استفاده گردید. در ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه مورد بررسی با استفاده از هیدروژن پراکسید و نیتریک اسید با نسبت حجمی ۱:۲ تجزیه شد و سپس به منظور تکمیل فرایند تجزیه نمونه ها درون ظرف پرفلوروالکوکسی<sup>۲</sup> قرار داده شده و به مدت ۱۵ دقیقه با توان ۴۰۰ وات حرارت دیدند. در پایان، نمونه ها تا دمای ۲۵ درجه سانتی گراد سرد شده و به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شدند (Anderson, 1996). مقادیر عناصر معدنی کلسیم، آهن، سدیم، منیزیم، منگنز، روی و مس در نمونه آرد سویای خام و برشته شده پس از طی زمان ۱۲ دقیقه، تعیین مقدار گردید.

بررسی پارامترهای فیزیکی، جریان پذیری و حرارتی

زاویه ریپوز

زاویه ریپوز پرکردن نمونه ها با استفاده از روش Aulton و همکاران (۲۰۱۳) اندازه گیری شد.

دانسیته توده و متراکم، نسبت هاسنر و اندیس

تراکم پذیری کار<sup>۳</sup>

به منظور تعیین دانسیته توده، نمونه ها درون ظرف استوانه ای شیشه ای ریخته شدند و مقادیر دانسیته با محاسبه نسبت جرم به حجم محاسبه گردید. علاوه بر این، دانسیته متراکم با وارد کردن ۱۲۵۰ ضربه و کاهش ارتفاع نمونه ها درون ظرف شیشه ای تا رسیدن به حجم ثابت توسط دستگاه سنجش دانسیته متراکم (مدل PT-TD200، ساخت آلمان) اندازه گیری شد (Narayana & Rao, 1984). نسبت هاسنر و اندیس تراکم پذیری کار با استفاده از رابطه های (۳) و (۴) محاسبه گردید:

رابطه (۳)

$$\text{نسبت هاسنر} = \frac{\text{دانسیته متراکم}}{\text{دانسیته توده}}$$

<sup>۲</sup> Perfluoroalkoxy (PFA)

<sup>۳</sup> Carr Compression Index

<sup>۱</sup> Water Holding Capacity

رابطه (۴)

$$= \text{اندیس پذیرش تراکم کار} \\ \left( \frac{\text{دانسیته متراکم} - \text{دانسیته توده}}{\text{دانسیته متراکم}} \right) \times 100$$

اندازه ذرات

سپس مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری شد. جذب نمونه‌های حاصل در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط اسپکتروفوتومتر قرائت شد. از کوئرستین<sup>۳</sup> به‌عنوان استاندارد استفاده گردید و نتایج به‌صورت میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد (Vissotto *et al.*, 2010).

#### توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH

۰/۵ میلی‌لیتر از محلول ۱ و ۱- دی فنیل ۲- پیکریل هیدرازیل<sup>۴</sup> (DPPH) در متانول (۰/۱ میلی‌مولار) به ۳ میلی‌لیتر از محلول هر نمونه با غلظت‌های از پیش تعیین‌شده اضافه گردید. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد گرم‌خانه‌گذاری گردید و سپس میزان جذب محلول در طول موج ۵۱۷ نانومتر اندازه‌گیری شد. آسکوربیک اسید به‌عنوان نمونه کنترل به‌منظور مقایسه فعالیت ضدرادیکالی نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Blois, 1958). درصد مهارکنندگی رادیکال آزاد DPPH با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید:

رابطه (۵)

$$\text{جذب نمونه کنترل} - \text{جذب نمونه} \\ \text{جذب نمونه} \times 100 = \text{درصد مهارکنندگی}$$

#### ارزیابی حسی آردهای سویای برشته‌شده

آزمون حسی هدونیک ۹ نقطه‌ای با حضور ۱۰ ارزیاب از گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد که آموزش‌های اولیه را دیده بودند، انجام شد. آماده‌سازی نمونه‌ها مطابق آزمون انجام‌شده توسط Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰) برای ارزیابی حسی پودرهای برشته خرنوب بود. امتیاز ۹ برای بیشترین مطلوبیت و امتیاز ۱ برای عدم مطلوبیت در نظر گرفته شد، امتیاز ۵ برای شرایط بینابین لحاظ گردید. پارامترهای موردبررسی شامل رنگ، طعم، بو و پذیرش کلی بود.

#### اندازه‌گیری فلاونوئید کل

۱ میلی‌گرم از محلول با غلظت ۶۰۰۰ پی‌پی‌ام به ۷۵ میکرولیتر محلول سدیم نیترات ۵ درصد اضافه شد و

نمونه‌های آرد در محلول آبی با غلظت ۲۰ پی‌پی‌ام برای مدت ۵ دقیقه تحت اولتراسوند با فرکانس ۳۵ هرتز قرار گرفتند. اندازه ذرات با استفاده از دستگاه سنجش اندازه ذرات (Mastersizer micro Malvern، ساخت انگلستان) به روش تفرق نور دینامیک<sup>۱</sup> مورد ارزیابی قرار گرفت.

#### ارزیابی ویژگی‌های حرارتی

ویژگی‌های حرارتی نمونه‌ها با استفاده از گرماسنج افتراقی (Pyris 6 DSC, Perkin-Elmer، ساخت ژاپن) انجام گرفت. ۵ گرم از نمونه‌ها درون ظروف آلومینیومی وزن شدند و بین صفر تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه حرارت داده شدند.

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی

##### اندازه‌گیری فنول کل

اندازه‌گیری ترکیبات فنولی با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری و براساس روش سینگلتن انجام گرفت (Singleton & Rossi, 1965). ۱ میلی‌لیتر از محلول ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام از نمونه با ۵ میلی‌لیتر معرف فولین سیوکالچوی<sup>۲</sup> مخلوط شد و به مدت ۳ دقیقه در دمای محیط ماند. سپس ۴ میلی‌لیتر از محلول سدیم کربنات به مخلوط حاصل اضافه گردید و به مدت ۱ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. در انتها جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۲۵ نانومتر اندازه‌گیری شد و نتایج به‌صورت میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم نمونه گزارش شد.

<sup>۳</sup> Quercetin<sup>۴</sup> 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl<sup>۱</sup> Dynamic Light Scattering<sup>۲</sup> Folin-Ciocalteu Reagent

## آنالیز آماری

آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

## نتایج و بحث

## خصوصیات فیزیکوشیمیایی و شاخص‌های عملکردی

 $a_w$  و pH

بررسی فعالیت آبی مواد غذایی به دلیل تأثیر بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و میکروبیولوژیکی فرآورده‌های غذایی حائز اهمیت است. علاوه بر این، در مورد پودرهای غذایی، این شاخص مستقیماً بر رفتار جریان، کلوخه شدن و میزان فشردگی اثر می‌گذارد.

براساس جدول (۱)، فعالیت آبی آرد سویا ۰/۳۳۷ بود. فرایند حرارت‌دهی تا ۴ دقیقه سبب کاهش این مقدار تا ۰/۵۵ گردید ( $P < 0/05$ ). اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های ۸-۴ دقیقه و همچنین ۱۰ تا ۱۲ دقیقه مشاهده نشد ( $P > 0/05$ ). Meursing (۱۹۸۳) مقدار فعالیت آبی متوسط را برای پودر کاکائو  $0/118 \pm 0/03$  گزارش نمود (Meursing, 1983)، که کمتر از نتایج به دست آمده برای آرد سویای خام و بیشتر از نتایج حاصل برای آرد سویای برشته شده در زمان‌های مورد آزمون در این پژوهش بود. پایین بودن فعالیت آبی در نمونه تازه و نمونه‌های برشته شده در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که این محصول در مقابل بسیاری از فسادهای میکروبی و آنزیمی مقاوم است.

جدول ۱ - اثر زمان فرایند برشته کردن بر  $a_w$ ، pH، ظرفیت نگهداری آب (WHC) و روغن (OHC) آردهای سویای برشته شده

زمان برشته کردن (دقیقه)	$a_w$	pH	ظرفیت نگهداری آب	ظرفیت نگهداری روغن
۰	$0/337 \pm 0/01^a$	$6/43 \pm 0/07^a$	$2/06 \pm 0/06^c$	$3/21 \pm 0/03^b$
۴	$0/55 \pm 0/01^b$	$6/33 \pm 0/04^b$	$2/22 \pm 0/06^a$	$2/15 \pm 0/03^f$
۶	$0/52 \pm 0/02^c$	$6/30 \pm 0/04^b$	$2/14 \pm 0/05^b$	$3/02 \pm 0/03^d$
۸	$0/27 \pm 0/01^d$	$6/25 \pm 0/03^c$	$1/91 \pm 0/05^d$	$3/11 \pm 0/03^c$
۱۰	$0/23 \pm 0/04^{de}$	$6/25 \pm 0/05^c$	$1/88 \pm 0/04^d$	$3/52 \pm 0/03^a$
۱۲	$0/21 \pm 0/01^e$	$6/26 \pm 0/06^c$	$1/79 \pm 0/06^e$	$2/86 \pm 0/03^e$

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

باتوجه به نتایج جدول (۱)، زمان برشته کردن اختلاف معنی‌داری را بین pH نمونه‌ها ایجاد کرد ( $P < 0/05$ ). به طور کلی pH با افزایش زمان برشته کردن تا ۸ دقیقه از ۶/۴۳ به ۶/۲۵ کاهش یافت و تغییرات روندی نزولی داشت؛ اما در زمان ۱۲ دقیقه، pH کمی افزایش نشان داد. با افزایش زمان در طی حرارت‌دهی، واکنش قهوه‌ای شدن میلارد ادامه پیدا می‌کند و درگیر شدن ساختارهای آمینی در واکنش‌ها شدت می‌یابد. در نتیجه pH نمونه با افزایش زمان حرارت‌دهی به سمت اسیدی شدن می‌رود (Fallico *et al.*, 2003). Yousif و Alghzawi (۲۰۰۰) نقش محصولات فرعی و حد واسط واکنش کاراملیزاسیون اسیدی، نظیر اسید پیروویک<sup>۱</sup> را نیز در این کاهش

مؤثر می‌دانند (Yousif & Alghzawi, 2000). از زمان ۸ دقیقه به بعد تغییرات pH تقریباً متوقف می‌شود که احتمال می‌رود به دلیل گندشدن روند واکنش میلارد باشد. Meursing (۱۹۸۳) مقدار متوسط pH را برای پودر کاکائوی هلندی با فرایند تولید مخصوص به خود معادل  $7/1 \pm 0/05$  گزارش نمود (Meursing, 1983).

## ظرفیت نگهداری آب و روغن

میزان ظرفیت نگهداری روغن و آب در آرد سویا به عنوان تابعی از مدت زمان فرایند برشته کردن در جدول (۱) آورده شده است. ظرفیت نگهداری روغن برای آرد سویا (گرم/گرم) ۳/۲۳ به دست آمد. براساس جدول (۱) می‌توان مشاهده کرد که با افزایش زمان برشته کردن، مقادیر شاخص OHC کاهش یافت. مقدار به دست آمده برای ظرفیت جذب روغن در آرد سویای

<sup>۱</sup> Pyruvic Acid

افزایش در سطح قرارگرفتن گروه‌های آب‌گریز ظرفیت جذب آب نیز کاهش یافته است. همچنین درگیرشدن برخی ساختارهای پروتئینی در واکنش میلارد نیز می‌تواند در این کاهش مؤثر باشد. بنابراین، اگر خصوصیات عملکردی این محصول از نظر قابلیت نگهداری آب مدنظر باشد؛ باید حداقل فرایند حرارتی مورد استفاده قرار گیرد.

#### پارامترهای رنگ

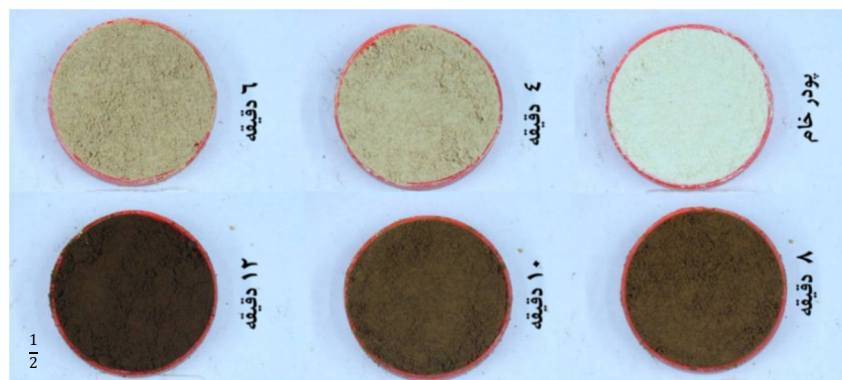
ویژگی‌های ظاهری و حسی مواد غذایی تأثیر قابل توجهی بر پذیرش مصرف‌کننده دارند. طی فرایند برشته کردن سویا، واکنش میلارد بین گروه‌های آمین آزاد و قندهای ساده اتفاق می‌افتد که در نتیجه آن ترکیبات مولد عطر و طعم شامل انواع فوران، تiazول، تیوفن، پیرول، اکسازول، پیویدین و پیرازین تولید می‌شوند (Hwang *et al.*, 1995). پیرازین‌ها فراوان‌ترین ترکیبات هتروسیکلیک تولیدشده طی فرایند برشته کردن بوده و مسئول عطر و طعم برشته‌گی و همچنین رنگ زرد تشکیل شده در مواد غذایی پخته هستند (Lee & Shibamoto, 2002). تأثیر فرایند برشته کردن بر رنگ طی زمان‌های مختلف در جدول (۲) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان فرایند برشته کردن، مقادیر پارامتر  $L^*$  کاهش یافته است. پایین‌تر بودن این پارامتر - که شاخصی از میزان روشنی است - نشان می‌دهد که با افزایش مدت زمان برشته کردن درجه روشنی نمونه‌ها کاهش می‌یابد. این تغییر رنگ به دلیل انجام واکنش قهوه‌ای شدن میلارد و تولید هیدروکسی‌متیل فورفورال می‌باشد (Fallico *et al.*, 2003). علاوه بر این، با افزایش زمان برشته کردن دانۀ سویا مقادیر پارامتر  $b^*$  کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش درجه رنگ آبی در نمونه‌هاست. روند تغییرات پارامتر  $a^*$  از  $-0/48$  در نمونه خام تا  $8/32$  در اولین زمان برشته کردن نشان‌دهنده تغییر طیف رنگی نمونه از محدوده سبز به قرمز می‌باشد که در ادامه تا انتهای فرایند، بر شدت آن افزوده می‌شود. این تغییرات رنگی طی فرایند حرارتی پودرهای خوراکی می‌تواند در تولید محصولاتی که رنگ تیره قهوه‌ای در آنها مطلوب است همراه با ارزش تغذیه‌ای بالا استفاده گردد. پارامتر

خام بیشتر از مقادیر گزارش شده برای آردهای فندق ( $1/11 \pm 1$  گرم/گرم) و بادام ( $1/081$  گرم/گرم) است (Olatidoye *et al.*, 2011; Turan *et al.*, 2015). میزان روغن جذب شده در نمونه، شاخص مهمی در فرمولاسیون مواد غذایی می‌باشد چرا که بر خصوصیات نظیر احساس دهانی و طعم محصول تأثیر مستقیم دارد (Odoemelam, 2005). بالابودن ظرفیت نگهداری روغن در آرد سویا آن را به پودری با پتانسیل نسبتاً بالا برای نگهداری طعم در سیستم‌های غذایی که به ظرفیت جذب روغن بالا نیاز دارند، تبدیل می‌کند (Turan *et al.*, 2015). مهم‌ترین ترکیب شیمیایی و تأثیرگذار بر ظرفیت نگهداری روغن، پروتئین‌ها هستند که هر دو خاصیت آب‌دوست و آب‌گریز را دارا می‌باشند (Jitngarmkusol *et al.*, 2008). بالابودن ظرفیت جذب روغن در آرد سویا می‌تواند به بالابودن درصد پروتئین ( $40/55$  درصد در آرد خام) در ترکیب شیمیایی این محصول مربوط گردد.

ظرفیت نگهداری آب برای آرد سویای خام (گرم/گرم)  $2/06$  بود. این پارامتر برای آرد فندق خام صفر گزارش شد. در حالی که برشته نمودن این دانه در دمای  $150$  درجه سانتی‌گراد برای  $40$  دقیقه تا  $200$  درصد باعث افزایش این ویژگی گردید (Turan *et al.*, 2015). باتوجه به اینکه ظرفیت نگهداری آب نقشی اساسی در تولید محصولات غذایی مختلف نظیر انواع سوپ، خمیر و محصولات پخت دارد، اضافه نمودن آرد سویا به فرمولاسیون محصولات غذایی مختلف می‌تواند سبب ارتقاء خصوصیات تغذیه‌ای و عملکردی آنها گردد. با افزایش زمان برشته کردن سویا، ظرفیت نگهداری آب طی فرایند برشته کردن ابتدا کمی افزایش و سپس با ادامه برشته کردن نمونه‌ها کاهش یافت. باتوجه به اینکه خاصیت جذب آب عمدتاً تحت تأثیر حضور گروه‌های آب‌دوست موجود در پروتئین‌ها، فیبر، کربوهیدرات‌ها و غیره می‌باشد (Muzaffar *et al.*, 2016)، و در مورد سویا پروتئین‌ها به‌طور واضح نقش برجسته‌تری دارند، همچنین با در نظر گرفتن حساسیت حرارتی ساختار پروتئین‌ها، طی برشته کردن، مشاهده می‌شود که در زمان‌های  $6$  دقیقه به بعد در فرایند، با دناتور شدن پروتئین‌ها و

محدوده تعیین شده برای پودر کاکائوی برشته شده در دمای ۱۳۵ درجه سانتی گراد (سیستم حرارتی هوای داغ) و زمان ۳۰ تا ۴۰ دقیقه بودند (Zyzelewicz *et al.*, 2014). تغییرات رنگی نمونه‌ها طی فرایند برشته کردن در شکل (۱) قابل مشاهده است.

رنگی L\* به عنوان شاخص میزان برشته شدن در مواد غذایی (نظیر قهوه و کاکائو) مورداستفاده قرار می‌گیرد و به عنوان شاخص دما - زمان در رابطه با تأثیر فرایند نهایی برشته کردن در آزمون‌ها کاربرد دارد (Sacchetti *et al.*, 2009). پارامترهای L\* و a\* نمونه‌های برشته شده در زمان‌های ۸، ۱۰ و ۱۲ دقیقه معادل



شکل ۱ - تغییرات رنگی آرد سویا در زمان‌های مختلف برشته شدن

جدول ۲ - پارامترهای رنگی آرد سویای برشته شده در زمان‌های متفاوت فرایند برشته کردن

b*	a*	L*	زمان برشته شدن (دقیقه)
۳۰/۲۸±۰/۶۳ <sup>a</sup>	-۰/۴۸±۰/۰۵ <sup>d</sup>	۸۵/۱۹±۰/۰۹ <sup>a</sup>	۰
۲۹/۵۱±۰/۲۵ <sup>ab</sup>	۸/۳۲±۰/۲۳ <sup>c</sup>	۶۶/۷۷±۰/۹۹ <sup>b</sup>	۴
۲۸/۲۷±۰/۱۹ <sup>b</sup>	۸/۹۳±۰/۰۵ <sup>b</sup>	۶۰/۴۵±۰/۶۲ <sup>c</sup>	۶
۲۳/۳۲±۰/۳۴ <sup>c</sup>	۱۰/۸۹±۰/۱۰ <sup>a</sup>	۴۰/۴۷±۰/۵۲ <sup>d</sup>	۸
۲۱/۶۸±۰/۱۰ <sup>d</sup>	۱۰/۸۸±۰/۲۶ <sup>a</sup>	۳۷/۸۸±۰/۲۶ <sup>e</sup>	۱۰
۱۵/۷۵±۰/۲۶ <sup>e</sup>	۱۰/۵۰±۰/۱۶ <sup>a</sup>	۳۰/۱۱±۰/۱۳ <sup>f</sup>	۱۲

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

انتظار می‌رود که فرایند برشته کردن موجب بهبود طعم و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی این محصول گردد. با افزایش زمان برشته کردن مقدار پروتئین نمونه‌ها کاهش یافت که پژوهشگران متعددی این روند را طی برشته کردن گزارش کرده‌اند (Turan *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2011).

محصولات طبیعی به طور معمول دارای رطوبت مناسب جهت رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیم‌ها بوده و کیفیت این محصولات تحت تأثیر فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی کاهش می‌یابد. مقدار رطوبت موجود در آرد سویا کمتر از مقادیر بحرانی رطوبتی است که کیفیت محصولات غذایی را کاهش می‌دهد. با افزایش زمان برشته کردن از صفر تا ۱۲ دقیقه، مقدار رطوبت نمونه‌ها از ۵/۹۵ تا ۱/۶۰ درصد کاهش یافت.

#### ترکیب شیمیایی

##### رطوبت، چربی، خاکستر و پروتئین

نتایج حاصل از فرایند برشته کردن بر ترکیب شیمیایی آرد سویا در جدول (۳) آورده شده است. دانه سویا به طور میانگین شامل ۵/۹۵ درصد رطوبت، ۴۰/۵۵ درصد پروتئین، ۱۷/۹۵ درصد چربی و ۵ درصد خاکستر می‌باشد. حضور مقادیر بالای پروتئین در ترکیب شیمیایی آرد سویا زمینه را فراهم می‌آورد تا فرایند حرارتی منجر به ایجاد واکنش بین گروه آمین آزاد آمینواسیدها و گروه‌های آلدهیدی قندهای احیاکننده شود و ترکیبات پلیمری قهوه‌ای رنگ نامحلول در آب به نام ملانوییدین تولید کند. این ترکیب پلیمری منجر به ایجاد تغییرات در ویژگی‌های رنگی و بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌گردد. از این رو،



Meursing (۱۹۸۳)، مقادیر متوسط ترکیبات شیمیایی پودر کاکائو را برای درصد رطوبت، پروتئین، چربی و خاکستر به ترتیب معادل  $۲/۵۱ \pm ۰/۳۴$ ،  $۲۲/۹ \pm ۰/۳۸$ ،  $۲۲/۸۸ \pm ۰/۶۳$  و  $۶/۴۰ \pm ۰/۶۳$  گزارش نمود (Meursing, 1983). همان طور که در جدول (۳) مشاهده می شود؛ از بین نمونه ها، آرد سویای برشته شده برای مدت زمان ۸ دقیقه، بیشترین شباهت را به مقادیر متوسط گزارش شده برای پودر کاکائو دارد.

مقادیر چربی موجود در آرد سویا ۱۷/۹۵ درصد می باشد که بالاتر از مقادیر به دست آمده برای بسیاری از دانه ها و غلات است، که این محصول را به عنوان منبع غنی از اسیدهای چرب معرفی نموده است. با افزایش زمان برشته کردن، درصد چربی نمونه ها افزایش یافت که می تواند به دلیل شکست حرارتی پیوندهای بین ماتریکس نمونه ها و چربی باشد که منجر به آزاد شدن چربی می گردد (Oboh et al., 2010).

جدول ۳ - تأثیر زمان فرایند برشته کردن بر ترکیب شیمیایی آرد سویای برشته شده

زمان برشته کردن (دقیقه)	پروتئین	چربی	خاکستر	رطوبت
۰	$۴۰/۵۷ \pm ۰/۳۰^a$	$۱۷/۹۵ \pm ۰/۲۸^d$	$۵/۰۰ \pm ۰/۱۵^c$	$۵/۹۵ \pm ۰/۰۲^a$
۴	$۲۸/۱۴ \pm ۰/۲۲^b$	$۱۷/۸۷ \pm ۰/۶۵^{cd}$	$۵/۰۸ \pm ۰/۰۹^c$	$۳/۱۸ \pm ۰/۰۳^b$
۶	$۲۳/۹۶ \pm ۰/۱۸^c$	$۱۸/۵۸ \pm ۰/۳۸^c$	$۵/۱۱ \pm ۰/۰۷^c$	$۳/۰۴ \pm ۰/۰۲^c$
۸	$۲۲/۶۰ \pm ۰/۲۶^d$	$۲۱/۸۶ \pm ۰/۳۷^b$	$۵/۱۳ \pm ۰/۰۵^c$	$۲/۴۸ \pm ۰/۰۲^d$
۱۰	$۲۲/۳۱ \pm ۰/۲۷^d$	$۲۳/۵۱ \pm ۰/۲۹^a$	$۵/۳۰ \pm ۰/۰۵^b$	$۲/۰۰ \pm ۰/۰۳^e$
۱۲	$۲۰/۹۶ \pm ۰/۱۱^e$	$۲۳/۵۰ \pm ۰/۱۹^a$	$۵/۶۱ \pm ۰/۱۲^a$	$۱/۶۰ \pm ۰/۰۲^f$

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

#### آنالیز عناصر معدنی

دانه سویا دارای ۵ درصد خاکستر است. به دلیل مقادیر نسبت بالای خاکستر در دانه سویا، آنالیز عنصری این محصول قبل و پس از برشته شدن برای مدت ۱۲ دقیقه انجام گردید. براساس جدول (۴)، دانه سویا دارای مقادیر بالایی از عناصر مغذی بخصوص کلسیم، آهن و منیزیم می باشد. از این رو، این محصول قابلیت استفاده به عنوان یک محصول تغذیه ای را داراست. همان طور که در جدول (۴) دیده می شود، مقدار عناصر مغذی موجود در نمونه ها از قبیل کلسیم، روی، آهن، منیزیم و منگنز پس از فرایند برشته کردن (پس از ۱۲ دقیقه) افزایش معنی داری نشان می دهد. بنابراین می توان نتیجه گرفت محصول برشته شده نسبت به محصول خام از لحاظ درصد عناصر مغذی برتر است و

فرایند برشته کردن می تواند به عنوان فرایندی مفید در جهت افزایش ارزش تغذیه ای این محصول پیشنهاد گردد. نتایج مشابهی در مورد اثر فرایند برشته کردن بر عناصر تغذیه ای دانه لوبیای یام آفریقایی گزارش شد (Ndidi et al., 2014). آنها نشان دادند که نمونه های برشته شده از نظر مقدار عناصر مغذی از قبیل کلسیم، آهن، منیزیم، منگنز و روی غنی تر هستند. با افزایش زمان برشته کردن نمونه ها، درصد خاکستر اندازه گیری شده از  $۵/۰۸$  به  $۵/۶۱$  افزایش یافت. مقدار افزایش جزئی مشاهده شده در مقدار خاکستر نمونه ها با افزایش مدت زمان برشته کردن می تواند به دلیل کاهش میزان رطوبت و آفت نسبت مواد ارگانیک به نفع مواد معدنی طی فرایند حرارتی باشد (Rakić et al., 2006).

جدول ۴ - تأثیر فرایند برشته کردن بر پروفایل عناصر معدنی آرد سویای برشته شده

زمان (دقیقه)	عناصر (پی بی ام)					
	کلسیم	آهن	سدیم	منیزیم	منگنز	روی
۰	$۵۹۴/۵۸ \pm ۲/۲۳^b$	$۲۶/۰۴ \pm ۱/۲۳^b$	$۶۹/۳۴ \pm ۱/۱۲^a$	$۸۶۶/۳۰ \pm ۱/۱۷^b$	$۳/۲۷ \pm ۱/۰۳^b$	$۱۱/۰۳ \pm ۰/۱۶^b$
۱۲	$۶۶۹/۶۱ \pm ۵/۴۴^a$	$۲۸/۰۸ \pm ۰/۳۶^a$	$۴۸/۳۱ \pm ۳/۹۵^b$	$۹۵۲/۱۴ \pm ۲/۰۹^a$	$۷/۶۴ \pm ۰/۴۳^a$	$۱۲/۳۹ \pm ۰/۱۱^a$

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

بررسی پارامترهای فیزیکی، جریان‌پذیری و حرارتی زاویهٔ ریپوز، دانسیتهٔ توده و متراکم، اندازهٔ ذرات، نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار دانسیتهٔ تودهٔ آرد خام سویا ۰/۳۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب بود که مشابه مقادیر گزارش‌شده برای آرد فندق و کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده برای آرد بادام هندی است (Turan *et al.*, 2015). در طی فرایند برشته‌کردن، کاهش جزئی در روند دانسیته مشاهده شد که می‌تواند به تأثیر دما بر ساختار فیبر نمونه مربوط شود (Yağcı & Göğüş, 2008). نتایج مشابهی توسط Turan و همکاران (۲۰۱۵) مشاهده شد. آنها گزارش کردند که حرارت‌دهی پودر فندق بدون روغن منجر به کاهش ۸ (دمای ۱۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه) تا ۳۵ درصدی (دمای ۱۳۰ درجهٔ سانتی‌گراد به مدت ۴۰ دقیقه) دانسیتهٔ توده گردید (Turan *et al.*, 2015). دانسیتهٔ توده از دیدگاه کنترل کیفیت مواد غذایی، درخصوص اضافه‌شدن ترکیب پودر خام به محصول و بخصوص در پرکن‌ها حائز اهمیت می‌باشد (Barbosa-Cánovas *et al.*, 2005). از آنجایی که آرد سویای برشته‌شده دانسیتهٔ تودهٔ پایینی دارد می‌توان انتظار داشت که این محصول از قابلیت مناسبی برای تهیهٔ مخلوط‌های ترکیبی برخوردار می‌باشد. نسبت هاسنر - شاخصی از نیروی اصطکاک بین ذرات و اندیس تراکم‌پذیری کار - شاخصی از شدت و ثبات اتصالات بین ذرات پودر - به‌صورت گسترده‌ای به‌منظور ارزیابی رفتار جریان پودرها مورد استفاده قرار می‌گیرند (Kumar *et al.*, 2001; De Freitas Eduardo & da Silva Lannes, 2007; Oliveira *et al.*, 2013; Shah *et al.*, 2008). رفتار جریان را براساس این پارامترها می‌توان درجه‌بندی نمود (Hausner, 1967; Carr, 1965). مقادیر کمتر این دو پارامتر، بر جریان‌پذیری بهتر ماده دلالت دارد. در صورتی که نسبت هاسنر کمتر از ۱/۱۱ و اندیس تراکم‌پذیری کار کمتر از ۱۰ باشد، جریان‌پذیری پودر در درجهٔ «عالی» قرار می‌گیرد و اگر نسبت هاسنر بیشتر از ۱/۶۰ و اندیس تراکم‌پذیری کار بیشتر از ۳۸ باشد، نشان‌دهندهٔ جریان «بسیار بسیار ضعیف» خواهد بود. مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار به‌ترتیب در محدودهٔ ۱/۱۲ تا

۱/۱۸ و ۱۱ تا ۱۵ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خوب»، در محدودهٔ ۱/۱۹ تا ۱/۲۵ و ۱۶ تا ۲۰ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «نسبتاً خوب»، ۱/۲۶ تا ۱/۳۴ و ۲۱ تا ۲۶ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «قابل رد شدن»، ۱/۳۵ تا ۱/۴۵ و ۲۶ تا ۳۱ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «ضعیف» و در محدودهٔ ۱/۴۶ تا ۱/۵۱ و ۳۲ تا ۳۷ در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خیلی ضعیف» قرار می‌گیرند (Shal *et al.*, 2008). نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار به‌ترتیب در نمونهٔ آرد خام سویا ۱/۵۱ و ۳۳/۳۳ بوده و تا انتهای فرایند برشته‌کردن به ۱/۴۰ و ۲۸/۷۳ کاهش می‌یابد. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود، مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار برای آرد خام سویا در دسته‌بندی جریان‌پذیری «خیلی ضعیف» قرار می‌گیرد که اعمال فرایند حرارتی باعث بهبود خصوصیت جریان‌پذیری گردید و در محدودهٔ با جریان‌پذیری ضعیف قرار گرفتند. دلیل این موضوع نیز می‌تواند وجود مقادیر بالایی از چربی در سطح ذرات باشد که سبب ایجاد پل‌های مایع<sup>۱</sup> و نهایتاً آگلومریزاسیون می‌گردد (Kim *et al.*, 2005). با افزایش زمان برشته‌کردن مقادیر نسبت هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ بهبود خاصیت جریان‌پذیری آرد سویای برشته‌شده می‌باشد، البته این روند کاهش تا زمان ۶ دقیقه معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). Oliveira و همکاران (۲۰۱۳)، ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار را برای پودر ایزوفلاون سویا با درصد رطوبت ۴/۴، به‌ترتیب معادل ۱/۷۵ و ۴۲/۸۶ گزارش نمودند (Oliveira *et al.*, 2013). با افزایش زمان برشته‌کردن مقادیر زاویهٔ ریپوز کاهش یافت که نشان‌دهندهٔ کاهش نسبی پیوستگی پودرها با افزایش زمان برشته‌کردن می‌باشد که با نتایج ضریب هاسنر و اندیس تراکم‌پذیری کار تراکم‌پذیری مطابقت دارد. Liu و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که جریان‌پذیری پودرها به شدت به اندازهٔ ذرات آنها وابسته است و با افزایش اندازهٔ ذرات پودرها، جریان‌پذیری آنها بهبود می‌یابد (Liu *et al.*, 2008). Meursing (۱۹۸۳) اندازهٔ متوسط ذرات پودر کاکائو را

<sup>1</sup> Liquid Bridging

«خیلی ضعیف»، محدوده ۳۱-۳۵ درجه، جریان پذیری «خوب»، محدوده ۳۶-۴۰ درجه، جریان پذیری «تسبناً خوب»، محدوده ۴۱-۴۵ درجه، جریان پذیری «قابل رد شدن» با احتمال گیرکردن درون قیف، محدوده ۴۶-۵۰ درجه، جریان پذیری «ضعیف» که پودر همراه با لرزش یا همزدن از قیف خارج می‌شود (Shah et al., 2008). زاویه ریپوز آرد خام ۴۸/۶ درجه به دست آمد که پس از اولین زمان برشته شدن به ۴۱/۱ درجه کاهش یافت که با نتایج ضریب هاسنر و اندیس تراکم پذیری کار مطابقت دارد. کاهش زاویه ریپوز در ارتباط مستقیم با کاهش میزان رطوبت در نمونه پودری می‌باشد (Wang et al., 1995). زاویه ریپوز نقش مهمی در جابجایی پودر و طراحی مخازن دارد (Teunou et al., 1999).

۷۰ میکرومتر گزارش نمود (Meursing, 1983)، با افزایش مدت زمان برشته کردن، اندازه ذرات نمونه‌ها کاهش یافت. این روند با نتایج به دست آمده از نسبت هاسنر و اندیس تراکم پذیری کار مغایرت دارد. نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی، شکل ذرات و خصوصیات سطحی ذرات پودرهای غذایی، نقش بسیار قوی تری نسبت به اندازه ذرات آنها در جریان پذیری پودر ایفا می‌کنند (Amagliani et al., 2016)، نتایج پژوهش‌های Fitzpatrick و همکاران (۲۰۰۴a) روی دامنه وسیعی از پودرهای مواد غذایی نیز صحت این مطالب را تأیید می‌کند (Fitzpatrick et al., 2004a). درجه بندی جریان پذیری پودرها براساس زاویه ریپوز به این صورت است؛ زاویه کمتر از ۳۰ درجه «عالی»، بیشتر از ۵۶ درجه، جریان پذیری

جدول ۵ - بررسی اثر زمان برشته کردن بر پارامترهای فیزیکی و جریان پذیری آرد سویای برشته شده

اندازه ذرات (میکرومتر)	زاویه ریپوز (درجه)	اندیس Carr	نسبت هاسنر	دانسیته متراکم	دانسیته توده	زمان برشته کردن (دقیقه)
۳۱/۹۴±۰/۶۵ <sup>a</sup>	۴۸/۶±۱/۶ <sup>a</sup>	۳۳/۳۳ <sup>a</sup>	۱/۵۱ <sup>a</sup>	۰/۵۴±۰/۰۰۲ <sup>a</sup>	۰/۳۶±۰/۰۱ <sup>a</sup>	۰
۲۵/۵۲±۱/۲۳ <sup>b</sup>	۴۴/۶±۰/۴ <sup>b</sup>	۳۰/۴۳ <sup>b</sup>	۱/۴۵ <sup>b</sup>	۰/۴۶±۰/۰۰ <sup>b</sup>	۰/۳۲±۰/۰۱ <sup>b</sup>	۴
۱۹/۸۳±۰/۷۸ <sup>c</sup>	۴۴/۳±۱/۱ <sup>b</sup>	۲۸/۸۹ <sup>c</sup>	۱/۴۱ <sup>c</sup>	۰/۴۵±۰/۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۲±۰/۰۲ <sup>b</sup>	۶
۱۸/۸۲±۰/۶۵ <sup>cd</sup>	۴۳/۰±۱/۳ <sup>c</sup>	۲۸/۸۹ <sup>c</sup>	۱/۴۱ <sup>c</sup>	۰/۴۵±۰/۰۰ <sup>c</sup>	۰/۳۲±۰/۰۱ <sup>b</sup>	۸
۱۸/۷۷±۱/۱۱ <sup>d</sup>	۴۲/۹±۲/۱ <sup>c</sup>	۲۸/۷۳ <sup>c</sup>	۱/۴۰ <sup>c</sup>	۰/۴۳±۰/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۳۱±۰/۰۱ <sup>b</sup>	۱۰
۱۸/۶۳±۱/۳۵ <sup>e</sup>	۴۱/۱±۳/۱ <sup>d</sup>	۲۸/۷۳ <sup>c</sup>	۱/۴۰ <sup>c</sup>	۰/۴۳±۰/۰۰ <sup>d</sup>	۰/۳۱±۰/۰۲ <sup>b</sup>	۱۲

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

از پایداری حرارتی این نمونه‌ها می‌باشد. بالا بودن پایداری حرارتی نمونه‌ها در سیستم‌های دارویی و غذایی دارای اهمیت می‌باشد. از این رو، بالا بودن پایداری حرارتی آرد دانه سویا نشان دهنده پتانسیل بالقوه این محصول در صنایع غذایی و دارویی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه برشته شده دارای دمای تجزیه حرارتی بالاتر و در نتیجه پایداری حرارتی بالاتری در مقایسه با نمونه اولیه می‌باشد. بین نمونه خام و نمونه‌های برشته شده در زمان‌های ۴، ۶، ۸ و ۱۰ دقیقه اختلاف معنی داری وجود نداشت.

#### ارزیابی ویژگی‌های حرارتی

روش گرماسنجی افتراقی به طور معمول برای ارزیابی ویژگی‌های حرارتی مواد غذایی از قبیل نقطه ذوب، آنتالپی ذوب و پایداری حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. پارامترهای حرارتی نمونه‌های آرد سویا در جدول (۶) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود پیک مربوط به تبخیر آب نمونه در دمای ۲۲/۱۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پیک‌های مشاهده شده در دماهای ۳۳۶/۴۶ و ۵۳۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد مربوط به تخریب حرارتی نمونه‌ها می‌باشد. بالا بودن دمای تخریب ساختار نمونه‌های سویا حاکی

جدول ۶ - اثر زمان فرایند برشته کردن سویا بر ویژگی‌های حرارتی آرد سویای برشته شده

زمان برشته شدن (دقیقه)	پیک اول	پیک دوم	پیک سوم
۰	۲۲/۱۱±۲/۱۱ <sup>a</sup>	۳۳۶/۴۶±۵/۵۴ <sup>a</sup>	۵۳۰/۹۱±۲/۲۱ <sup>a</sup>
۱۲	۲۲/۴۲±۳/۳۱ <sup>a</sup>	۳۵۲/۳۵±۶/۶۸ <sup>b</sup>	۵۳۶/۶۶±۲/۳۳ <sup>b</sup>

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی دار ندارند.

مطابقت دارد. همچنین، فرایند حرارت دهی و برشته کردن، سبب تخریب غشاء و دیواره سلولی گشته و ترکیبات فنولی را از حالت استری خارج کرده و به صورت محلول در می‌آورد؛ این پدیده در کنار تشکیل محصولات واکنش قهوه‌ای شدن میلارد، مسئول افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آرد سویای برشته شده می‌باشد (Kim *et al.*, 2011; Sahin *et al.*, 2009). نتایج حاصل از تحقیق‌های گذشته نشان می‌دهد که بین مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی یک همبستگی مثبت وجود دارد (Jayaprakasha *et al.*, 2008; Kornsteiner *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2012; Martinez *et al.*, 2006). در این پژوهش، فعالیت آنتی‌اکسیدانی دانه سویا در زمان‌های برشته کردن مختلف توسط روش DPPH مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون پیرسون نشان داد که بین فعالیت آنتی‌اکسیدانی ( $1/IC_{50}$ ) و مقدار فنول کل یک همبستگی معنی دار وجود دارد ( $R=0/88$ ,  $P=0/02$ ). از این رو، می‌توان نقش اصلی در فعالیت ضد رادیکالی را به ترکیبات فنولی حاضر در دانه سویا نسبت داد.

**ارزیابی میزان فلاونوئیدها در فرایند برشته کردن**  
ترکیبات فلاونوئیدی به دلیل اثر محافظت کنندگی خود در برابر فرایندهای اکسایشی و ویژگی ضد رادیکالی دارای اهمیت فراوانی می‌باشند (Xu & Chang, 2007). همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌گردد، نمونه آرد سویا دارای  $3/51$  میلی‌گرم بر میلی‌لیتر فلاونوئید می‌باشد. با افزایش زمان برشته کردن نمونه‌ها، میزان فلاونوئید کل افزایش یافت که با نتایج به دست آمده از فعالیت ضد رادیکالی طی زمان‌های مختلف برشته کردن مطابقت دارد. نتایج حاصل از آزمون همبستگی پیرسون نشان داد که بین میزان فعالیت ضد رادیکالی نمونه‌ها ( $1/IC_{50}$ ) و مقدار

## ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مهار رادیکال DPPH

### ارزیابی میزان ترکیبات فنولی

ترکیبات فنولی به دلیل توانایی هیدروژن‌دهندگی و تولید رادیکال‌های حد واسط پایدار که از اکسیداسیون مواد غذایی جلوگیری می‌کنند؛ می‌توانند به عنوان عامل آنتی‌اکسیدانی عمل نمایند (Cuvelier *et al.*, 1996; Maillard *et al.*, 1992). این ترکیبات دارای اثرات زیستی چندگانه بوده و می‌توانند خطر بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش دهند (Rice-Evans *et al.*, 1996). همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود، فرایند برشته کردن منجر به افزایش مقدار ترکیبات فنولی گردید که این نتایج با گزارش‌های ارائه شده توسط برخی پژوهشگران مغایر است (Baba *et al.*, 2016; Lemos *et al.*, 2012; Oboh *et al.*, 2010; Lima *et al.*, 2010; Sharma & Gujral, 2011). با این حال، پژوهشگران دیگری نظیر Turkmen و همکاران (۲۰۰۵) برای نمونه فندق، Sahin و همکاران (۲۰۰۹) برای نمونه خرنوب و Bekedam و همکاران (۲۰۰۸) برای دانه قهوه روند کاملاً مشابهی را گزارش نموده‌اند (Turkmen *et al.*, 2005). فنول‌ها ترکیبات بسیار حساس به حرارت هستند و در دمای بالای ۸۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند. بنابراین، انتظار می‌رود که تجزیه حرارتی ترکیبات فنولی منجر به کاهش این ترکیبات طی فرایند برشته کردن شود (Randhir *et al.*, 2008). با این وجود، دلیل افزایش مشاهده شده در میزان فنول کل طی فرایند برشته کردن، در ارتباط با تبخیر آب درون سلولی و در نتیجه تحریک واکنش‌های شیمیایی که می‌تواند منجر به تولید ترکیبات جدید آنتی‌اکسیدانی گردد، است. علاوه بر این، دنا توره شدن پروتئین‌ها طی فرایند حرارتی موجب افزایش دسترسی ترکیبات فنولی می‌شود (Turkmen *et al.*, 2005) که با نتایج حاصل از آنالیز ترکیب شیمیایی

۵۷۱/۱۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش فعالیت ضدرادیکالی این محصول می‌باشد. فرایند برشته کردن موجب تولید ترکیبات مختلفی از قبیل ملانوییدین می‌شود که این ترکیب به دلیل ساختار ردوکتانی و کتچولی موجب القای خاصیت ضدرادیکالی می‌شود (Baba et al., 2016). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش فعالیت ضدرادیکالی می‌تواند به دلیل تولید آنتی‌اکسیدان‌های حاصل از واکنش میلارد باشد.

Lee و همکاران (۲۰۱۳؛ ۲۰۱۵) نیز بالاترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی، بیشترین میزان ترکیبات فنولی و ترکیبات فلاونوئیدی را منطبق بر بیشترین میزان ترکیبات حاصل از واکنش میلارد در برشته کردن سویا در دمای ۲۰۰ درجه و زمان ۱۵ دقیقه گزارش نمودند (Lee et al., 2013; Lee et al., 2015). پژوهشگران توصیه نمودند در صورتی که هدف استفاده از آرد سویای برشته در محصول نهایی، صرفاً در نظر گرفتن فعالیت آنتی‌اکسیدانی باشد، بیشترین دما و زمان برشته کردن مورد استفاده قرار گیرد (Sahin et al., 2009; Lee et al., 2013; 2015).

فلاونوئید آنها همبستگی معنی‌داری وجود دارد ( $P=0/01$ ,  $R=0/91$ ).

### فعالیت ضدرادیکالی DPPH

به منظور ارزیابی اثر فرایند برشته کردن بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی دانه سویا از آزمون‌های مختلفی از قبیل آزمون فعالیت ضدرادیکالی و اندازه‌گیری ترکیبات فنولی استفاده شد. آزمون ارزیابی فعالیت ضدرادیکالی DPPH به صورت گسترده‌ای در فراورده‌های غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمون به صورت مقادیر  $IC_{50}$  (غلظتی که در آن ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH مهار می‌شود) گزارش شد. مقادیر کمتر این شاخص نشان‌دهنده فعالیت ضدرادیکالی بالاتر می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری غلظت مورد نیاز برای مهار ۵۰ درصد از رادیکال‌های آزاد DPPH، درصد مهارکنندگی در برابر غلظت عصاره رسم شد. نتایج حاصل از آزمون DPPH در جدول (۷) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، با افزایش زمان برشته کردن دانه‌های سویا از صفر تا ۱۲ دقیقه، مقادیر  $IC_{50}$  از ۷۶۳/۱۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به

جدول ۷ - اثر زمان فرایند برشته کردن بر فعالیت ضدرادیکالی و مقدار فنول در آرد سویای برشته شده

فلاونوئید کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	فنول کل (میلی‌گرم بر میلی‌لیتر)	DPPH ( $IC_{50}$ ) (میکروگرم بر میلی‌لیتر)	زمان برشته کردن (دقیقه)
۳/۵۱±۰/۱۷ <sup>d</sup>	۳۰/۰۸±۱/۳۹ <sup>d</sup>	۷۶۳/۱۱±۲۳ <sup>a</sup>	۰
۳/۶۹±۰/۳۱ <sup>d</sup>	۳۰/۶۳±۱/۱۱ <sup>cd</sup>	۷۱۹/۱۴±۲۳ <sup>a</sup>	۴
۴/۰۷±۰/۲۰ <sup>c</sup>	۳۳/۱۱±۱/۱۳ <sup>c</sup>	۶۶۷/۰۹±۱۹ <sup>b</sup>	۶
۴/۶۳±۰/۱۷ <sup>b</sup>	۳۶/۷۴±۰/۹۸ <sup>b</sup>	۶۵۴/۸۷±۴۷ <sup>b</sup>	۸
۵/۱۵±۰/۱۳ <sup>a</sup>	۳۹/۶۵±۱/۸۶ <sup>a</sup>	۶۳۹/۷۷±۳۹ <sup>b</sup>	۱۰
۵/۲۴±۰/۳۱ <sup>a</sup>	۳۹/۳۶±۲/۲۴ <sup>a</sup>	۵۷۱/۱۱±۱۳ <sup>c</sup>	۱۲

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

بررسی پارامتر بو مشخص گردید که نمونه آرد سویای برشته شده برای ۶ و ۸ دقیقه اختلاف معنی‌داری با هم نداشته ( $P>0/05$ ) و در میان نمونه‌های آرد سویای برشته شده نزدیک‌ترین نتایج را نسبت به پودر کاکائو به خود اختصاص دادند. هر دو سطح بالا و پایین زمان برشته کردن با اثرات منفی بر کیفیت حسی ارزیابی شده توسط گروه ارزیاب همراه بود؛ به طوری که آردهای سویای برشته شده برای ۴ و ۶ دقیقه به خاطر بوی آجیلی سویا در زمان‌های کوتاه برشته کردن و

### ارزیابی حسی آردهای برشته

نتایج آزمون ارزیابی حسی نمونه‌ها (جدول ۸) نشان داد که زمان برشته کردن به طور معنی‌داری بر کیفیت آردهای سویای برشته شده تأثیرگذار است ( $P<0/05$ ). در مقایسه پارامتر رنگ، بالاترین امتیاز به نمونه شاهد تعلق گرفت و بیشترین شباهت به نمونه شاهد مربوط به آرد سویای برشته شده برای مدت زمان ۱۰ دقیقه بود، پس از آن نمونه آرد سویای برشته شده برای ۸ دقیقه، با اختلاف جزئی در رتبه بعدی قرار گرفت. در

با عدد ۷، شبیه‌ترین نمونه به پودر کاکائو و مطلوب‌ترین نمونه در میان موارد موردآزمون می‌باشد ( $P < 0.05$ ). Yousif و Alghzawi (۲۰۰۱) مطلوب‌ترین و شبیه‌ترین نمونه به پودر کاکائو را پودر خرنوب برشته‌شده در دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۶۰ دقیقه معرفی کردند (Yousif & Alghzawi, 2000).

پس از آن نمونه برشته‌شده برای ۱۲ دقیقه به علت برشته‌شدن زیاد و توسعه بوی سوختگی کمترین امتیاز را گرفتند. در بررسی طعم نمونه‌ها، آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه با امتیاز ۷/۱ نزدیک‌ترین نمونه به پودر کاکائو با امتیاز ۶/۹ بود. در مجموع، امتیاز ثبت‌شده برای پذیرش کلی نمونه‌ها نشان داد آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه

جدول ۸ - نتایج ارزیابی حسی آردهای سویای برشته‌شده در مقایسه با شاهد

زمان برشته‌کردن (دقیقه)	رنگ	بو	طعم	پذیرش کلی
شاهد (کاکائو)	۶/۵±۱/۴ <sup>a</sup>	۷/۱±۱/۴ <sup>a</sup>	۶/۹±۱/۳ <sup>a</sup>	۶/۸±۱/۰ <sup>a</sup>
۴	۳/۳±۲/۰ <sup>c</sup>	۴/۵±۱/۸ <sup>c</sup>	۵/۴±۲/۰ <sup>c</sup>	۵/۰±۱/۵ <sup>c</sup>
۶	۳/۴±۱/۷ <sup>c</sup>	۵/۱±۱/۶ <sup>d</sup>	۵/۵±۱/۶ <sup>c</sup>	۵/۲±۱/۵ <sup>c</sup>
۸	۵/۸±۱/۸ <sup>b</sup>	۶/۶±۱/۰ <sup>b</sup>	۷/۱±۰/۷ <sup>a</sup>	۷/۰±۰/۹ <sup>a</sup>
۱۰	۶/۳±۱/۳ <sup>a</sup>	۶/۴±۱/۳ <sup>c</sup>	۶/۱±۱/۷ <sup>b</sup>	۶/۱±۱/۷ <sup>b</sup>
۱۲	۵/۸±۱/۸ <sup>b</sup>	۵/۵±۱/۴ <sup>c</sup>	۴/۵±۲/۵ <sup>cd</sup>	۴/۴±۲/۳ <sup>d</sup>

\* تیمارهای دارای حروف مشترک در هر ستون در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش زمان برشته‌کردن سویا تا زمان ۸ دقیقه و انجام واکنش قهوه‌ای شدن میلارد که همراه با تغییر در رنگ و پروفایل عطر و طعم می‌باشد، می‌توان از این ترکیب در سیستم‌های غذایی که موارد فوق مطلوب است، به‌عنوان جایگزین‌های کاکائو و قهوه استفاده نمود. آرد سویای برشته‌شده به دلیل دارا بودن خواص آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای مطلوب، خواص عملکردی مناسب و ویژگی‌های حسی قابل‌قبول، پتانسیل استفاده به‌عنوان پودر جایگزین یا حجم‌دهنده کاکائو را در محصولات مختلف با عملکردهای متفاوت نظیر حفظ عطر و طعم، جذب آب، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تهیه انواع محصولات نظیر شکلات و فراورده‌های شکلاتی را داراست. پایین بودن فعالیت آبی در نمونه تازه و نمونه‌های برشته‌شده در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که این محصول در مقابل بسیاری از فسادهای میکروبی و آنزیمی مقاوم است. بالا بودن ظرفیت نگهداری روغن در آرد سویای برشته آن را به پودری با پتانسیل تغذیه‌ای نسبتاً بالا برای نگهداری طعم در سیستم‌های غذایی که به ظرفیت جذب روغن بالا نیاز دارند، تبدیل می‌کند. به دلیل افزایش فعالیت ضد‌رادیکالی و مقدار فنول کل در

نمونه‌های سویا طی زمان برشته‌کردن، حداکثر زمان برشته‌کردن از نظر افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی توصیه می‌گردد. مقادیر به‌دست‌آمده برای پارامترهای جریان‌پذیری زاویه ریپوز، نسبت هاسنر اندیس تراکم‌پذیری کار نشان داد که آرد سویای برشته دارای جریان‌پذیری مناسبی نیست و بنابراین در استفاده‌های صنعتی می‌توان از ترکیبات اصلاح‌کننده جریان کمک گرفت. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی نشان داد که آرد سویای برشته‌شده دارای پایداری حرارتی بالایی می‌باشد و از این رو، انتظار می‌رود که آرد سویای برشته را بتوان در فرمولاسیون مواد غذایی که در فرایند تولید آنها به دماهای بالایی نیاز است، استفاده نمود. نتایج ارزیابی حسی پارامترهای رنگ، بو و طعم، آرد سویای برشته‌شده برای مدت ۸ دقیقه در دمای ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد را جایگزین مناسبی برای پودر کاکائو نشان دادند.

### قدردانی

برخود لازم می‌دانیم مراتب قدردانی خود را از همکاری صمیمانه آقای مهندس رئیسی و آقای دکتر مهدویان مهر در شرکت قهوه پارت‌سازان (مولتی کافه)، در انجام برخی از بخش‌های این پژوهش اعلام نماییم.

## منابع

- 1- Alvarado, J.D., & Aguilera, J.M. 2001. Methods for measuring physical properties in food industries. Edited by Acirbia. S.A.
- 2- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A.L., & O'Mahony, J.A. 2016. Physical and flow properties of rice protein powders. *Journal of Food Engineering*, 190:1-9.
- 3- Anderson, J.W., & Major, A.W. 2002. Pulses and lipaemia, short-and long-term effect: potential in the prevention of cardiovascular disease. *British Journal of Nutrition*, 88(S3):263-271.
- 4- Anderson, K.A. 1996. Micro-digestion and icp-aes analysis for the determination of macro and micro elements in plant tissues. *Atomic Spectroscopy*, 17(1):30-33.
- 5- AOAC. 2003. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> Edition, The Association of official analytical chemists, 2<sup>nd</sup> revision. Gaithersburg, MD, USA. Methods 925.10, 945.39, 942.05 and 920.87.
- 6- Arjmandi, B.H., & Smith, B.J. 2002. Soy isoflavones' osteoprotective role in postmenopausal women: mechanism of action. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 13(3):130-137.
- 7- Aulton, M.E., & Taylor, K.M. 2013. *Aulton's pharmaceuticals: the design and manufacture of medicines*. Elsevier Health Sciences.
- 8- Baba, W.N., Rashid, I., Shah, A., Ahmad, M., Gani, A., Masoodi, F., Wani, I.A., & Wani, S. 2016. Effect of microwave roasting on antioxidant and anticancerous activities of barley flour. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 15(1):12-19.
- 9- Barbosa-Cánovas, G.V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. 2005. Bulk properties. *Food Powders: Physical Properties, Processing and Functionality*. P. 55-90. Food Engineering Series. Springer.
- 10- Bekedam, E.K., Schols, H.A., Caemmerer, B., Kroh, L. W., van Boekel, M.A.J.S., & Smit, G. 2008. Low molecular weight melanoidins in coffee brew. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 56(11):4060-4067.
- 11- Bhathena, S.J., & Velasquez, M.T. 2002. Beneficial role of dietary phytoestrogens in obesity and diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(6):1191-1201.
- 12- Blois, M. 1958. Antioxidant determination by use of free radical stable. *Nature*, 181:1191-1201.
- 13- Borrelli, R.C., Visconti, A., Mennella, C., Anese, M., & Fogliano, V. 2002. Chemical characterization and antioxidant properties of coffee melanoidins. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50(22):6527-6533.
- 14- Carr, R. L., 1965. Evaluating flow properties of solids. *Chemical Engineering*, 18:163-168.
- 15- Chen, J.K., Chen, T.T., & Crampton, L. 2004. *Chinese medical herbology and pharmacology*. Art of Medicine Press City of Industry, CA, 1267.
- 16- Cuvelier, M. E., Richard, H., & Berset, C. 1992. Comparison of the antioxidative activity of some acid-phenols: structure-activity relationship. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 56(2):324-325.
- 17- Del Castillo, M.D., Ames, J.M., & Gordon, M.H. 2002. Effect of roasting on the antioxidant activity of coffee brews. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50(13):3698-3703.
- 18- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., & Liu, R.H., 2002. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 50(10):3010-3014.

- 19-Díaz-Batalla, L., Widholm, J.M., Fahey, G.C., Castaño-Tostado, E., & Paredes-López, O. 2006. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 54(6):2045-2052.
- 20-Hausner, H.H. 1967. Friction conditions in a mass of metal powder. *International Journal of Powder Metall*, 3(4):7-13.
- 21-Fallico, B., Arena, E., & Zappala, M. 2003. Roasting of hazelnuts. Role of oil in colour development and hydroxymethylfurfural formation. *Food Chemistry*, 81(4):569-573.
- 22-Fitzpatrick, J.J., Barringer, S.A., & Iqbal, T. 2004a. 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.
- 23-De Freitas Eduardo, M., & da Silva Lannes, S.C. 2007. Use of texture analysis to determine compaction force of powders. *Journal of Food Engineering*, 80(2):568-572.
- 24-Hwang, H., Hartman, T.G., & Ho, C. 1995. Relative reactivities of amino acids in pyrazine formation. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 43(1):179-184.
- 25-Jaramillo-Flores, M.E., González-Cruz, L., Cornejo-Mazon, M., Dorantes-Alvarez, L., Gutierrez-Lopez, G.F., & Hernandez-Sanchez, H. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*opuntia ficus-indica*). *Food Science and Technology International*, 9(4):271-278.
- 26-Jayaprakasha, G.K., Girenavar, B., & Patil, B.S. 2008. Radical scavenging activities of Rio Red grapefruits and sour orange fruit extracts in different *in vitro* model systems. *Bioresource Technology*, 99(10):4484-4494.
- 27-Jitngarmkusol, S., Hongsuwankul, J., & Tananuwong, K. 2008. Chemical compositions, functional properties, and microstructure of defatted macadamia flours. *Food Chemistry*, 110(1):23-30.
- 28-Kim, H.G., Kim, G.W., Oh, H., Yoo, S.Y., Kim, Y.O., & Oh, M.S., 2011. Influence of roasting on the antioxidant activity of small black soybean (*glycine max* l. merrill). *LWT-Food Science and Technology*, 44(4):992-998.
- 29-Kim, E.H.J., Chen, X.D., & Pearce, D. 2005. Effect of surface composition on the flowability of industrial spray-dried dairy powders. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 46(3):182-187.
- 30-Kim, M.-J., & Kim, K.-S. 2005. Functional and chemical composition of Hwanggumkong, yakong and huktae. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, 21(6):844-849.
- 31-Kornsteiner, M., Wagner, K.H., & Elmadfa, I. 2006. Tocopherols and total phenolics in 10 different nut types. *Food Chemistry*, 98(2):381-387.
- 32-Kumar, V., Kothari, S.H., & Banker, G.S. 2001. Compression, compaction, and disintegration properties of low crystallinity celluloses produced using different agitation rates during their regeneration from phosphoric acid solutions. *AAPS Pharmaceutical Science and Technology*, 2(2):22-28.
- 33-Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M.S., & Nakayama, T. 2002. Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2):373-377.
- 34-Lee, J.H., Hwang, C.E., Lee, B.W., Kim, H.T., Ko, J.M., Baek, I.Y., Ahh, M.J., Lee, H.Y., & Cho, K.M. 2015. Effects of roasting on the phytochemical contents and antioxidant activities of korean soybean (*glycine max* l. merrill) cultivars. *Food Science and Biotechnology*, 24(5):1573-1582.



- 35-Lee, J.H., Lee, B.W., Kim, B., Kim, H.T., Ko, J.M., Baek, I.Y., Seo, W.T., Kang, Y.M., & Cho, K.M. 2013. Changes in phenolic compounds (isoflavones and phenolic acids) and antioxidant properties in high- protein soybean (*glycine max* l., cv. saedanbaek) for different roasting conditions. *Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 56(5):605-612.
- 36-Lee, S., & Lee, J. 2009. Effects of oven-drying, roasting, and explosive puffing process on isoflavone distributions in soybeans. *Food Chemistry*, 112(2):316-320.
- 37-Lee, K.G., & Shibamoto, T. 2002. Toxicology and antioxidant activities of non-enzymatic browning reactions products. *Food Review International*, 18(2-3):151-175.
- 38-Lemos, M.R.B., de Almeida-Siqueira, E.M., Arruda, S.F., & Zambiasi, R.C. 2012. The effect of roasting on the phenolic compounds and antioxidant potential of baru nuts [*dipteryx alata* vog.]. *Food Research International*, 48(2):592-597.
- 39-Li, H., Wang, X., Li, Y., Li, P., & Wang, H. 2009. Polyphenolic compounds and antioxidant properties of selected china wines. *Food Chemistry*, 112(2):454-460.
- 40-Lima, A.R., Pereira, R.G.F.A., Abrahão, S.A., Duarte, S.M.D.S., & Paula, F.B.D.A. 2010. Coffee bioactive compounds: *in vitro* antioxidant activity of green and roasted coffees before and after decaffeination. *Química Nova*, 33(1):20-24.
- 41-Liu, L.X., Marziano, I., Bentham, A.C., Litster, J.D., White, E.T., & Howes, T. 2008. Effect of particle properties on the flowability of ibuprofen powders. *International Journal of Pharmaceutics*, 36(1-2):109-117.
- 42-Mcleod, G., & Forcen, M., 1992. Analysis of volatile components derived from the carob bean *ceratonia siliqua*. *Phytochemistry*, 31(9):3113-3119.
- 43-Maillard, M.N., Soum, M.H., Boivin, P., & Berset, C. 1996. Antioxidant activity of barley and malt: relationship with phenolic content. *LWT-Food science and Technology*, 29(3):238-244.
- 44-Martínez, R., Torres, P., Meneses, M.A., Figueroa, J.G., Pérez-Álvarez, J.A., & Viuda-Martos, M., 2012. Chemical, technological and *in vitro* antioxidant properties of mango, guava, pineapple and passion fruit dietary fibre concentrate. *Food Chemistry*, 135(3):1520-1526.
- 45-Meursing, E.H. 1983. Cocoa powder for industrial processing 3<sup>rd</sup> ed. P. 126. Dezaen B.V: The Netherlands Cocoa Fabriek.
- 46-Mhaisen, A. 1991. Carob tree. *Agricultural Engineer*, 43:90-91.
- 47-Muzaffar, Kh., & Kumar, P. 2016 .Moisture sorption isotherms and storage study of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 291:322-327.
- 48-Narayana, K., & Rao, M.N. 1984. Effect of partial proteolysis on the functional properties of winged bean (*psophocarpus tetragonolobus*) flour. *Journal of Food Science*, 49(3):944-947.
- 49-Ndidi, U.S., Ndidi, C.U., Olagunju, A., Muhammad, A., Billy, F.G., & Okpe, O. 2014. Proximate, antinutrients and mineral composition of raw and processed (boiled and roasted) *Sphenostylis stenocarpa* seeds from southern kaduna, northwest nigeria. *ISRN Nutrition*, 2014: 1-9.
- 50-Nicoli, M.C., Anese, M., & Parpinel, M. 1999. Influence of processing on the antioxidant properties of fruit and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 10(3):94-100.
- 51-Nicoli, M.C., Anese, M., Manzocco, L., & Lericci, C.R. 1997. Antioxidant properties of coffee brews in relation to the roasting degree. *LWT-Food Science and Technology*, 30(3):292-297.

- 52-Oboh, G., Ademiluyi, A.O., & Akindahunsi, A.A. 2010. The effect of roasting on the nutritional and antioxidant properties of yellow and white maize varieties. *International Journal of Food Science & Technology*, 45(6):1236-1242.
- 53-Odoemelam, S.A. 2005. Functional properties of raw and heat processed jackfruit (*artocarpus heterophyllus*) flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(6):366-370.
- 54-Olatidoye, O.P., Sobowale, S.S., Akinlotan, J.V., & Olorode, O.O. 2011. Chemical composition and physicochemical characteristics of tropical Almond nuts (*Terminalia Catappia* L) cultivated in South West Nigeria. *Journal of Medical and Applied Biosciences*, 1(1):1-10.
- 55-Oliveira, S.R., Taveira, S.F., Marreto, R.N., Valadares, M.C., Diniz, D.G.A., & Lima, E.M. 2013. Preparation and characterization of solid oral dosage forms containing soy isoflavones. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(1):175-182
- 56-Petit, M.D., & Pinilla, J.M. 1995. Production and purification of a sugar syrup from carob pods. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1):145-152.
- 57-Rakić, S., Povrenović, D., Tešević, V., Simić, M., & Maletić, R. 2006. Oak acorn, polyphenols and antioxidant activity in functional food. *Journal of Food Engineering*, 74(3):416-423.
- 58-Randhir, R., Kwon, Y-I., & Shetty, K. 2008. Effect of thermal processing on phenolics, antioxidant activity and health-relevant functionality of select grain sprouts and seedlings. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3):355-364.
- 59-Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., & Paganga, G. 1996. Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(7):933-956.
- 60-Sacchetti, G., Di Mattia, C., Pittia, P., & Mastrocola, D. 2009. Effect of roasting degree, equivalent thermal effect and coffee type on the radical scavenging activity of coffee brews and their phenolic fraction. *Journal of Food Engineering*, 90(1):74-80.
- 61-Sahin, H., Topuz, A., Pischetsrieder, M., & Ozdemir, F. 2009. Effect of roasting process on phenolic, antioxidant and browning properties of carob powder. *European Food Research and Technology*, 230(1):155.
- 62-Shah, R.B., Tawakkul, M.A., & Khan, M.A. 2008. Comparative Evaluation of flow for pharmaceutical powders and granules. *AAPS Pharmaceutical Science and Technology*, 9(1):250-258.
- 63-Sharma, P., & Gujral, H.S. 2011. Effect of sand roasting and microwave cooking on antioxidant activity of barley. *Food Research International*, 44(1):235-240.
- 64-Singleton, V.L., & Rossi, J.A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3):144-158.
- 65-Teunou, E., Fitzpatrick, J.J., & Synnott, E.C. 1999. Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39(1):31-37.
- 66-The International Cocoa Organization (ICCO). Visited in October 17, 2017. Production, Grindings, Supply & Demand Statistics 2014. Available online at: <http://www.icco.org/statistics/production-and-grindings/production.html>.
- 67-Turan, D., Capanoglu, E., & Altay, F. 2015. Investigating the effect of roasting on functional properties of defatted hazelnut flour by response surface methodology (RSM). *LWT-Food Science and Technology*, 63(1):758-765.
- 68-Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y.S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4):713-718.

- 69-Vissotto, F.Z., Jorge, L.C., Makita, G.T., Rodrigues, M.I., & Menegalli, F.C. 2010. Influence of the process parameters and sugar granulometry on cocoa beverage powder steam agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 97(3):283-291.
- 70-Wang, Y., Chung, D.S., & Spillman, C.K. 1995. Physical Properties of Soybean Meal. *Cereal Chemistry*, 72(6):523-526.
- 71-World Cocoa Foundation (WCF). Visited in October 17, 2017. Cocoa Market Update. Available online at: <http://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/Cocoa-Market-Update-as-of-4-1-2014.pdf>
- 72-Xu, B.J., & Chang, S.K.C. 2007. A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *Journal of Food Science*, 72(2):159-166.
- 73-Yağcı, S., & Göğüş, F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86(1):122-132.
- 74-Yousif, A.K., & Alghzawi, H.M. 2000. Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry*, 69(3):283-287.
- 75-Yu, J., Ahmedna, M., & Goektepe, I. 2007. Peanut protein concentrate: production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, 103(1):121-129.
- 76-Zyzelewicz, D., Krysiak, W., Nebesny, E., & Budryn, G. 2014. Application of various methods for determination of the color of cocoa beans roasted under variable process parameters. *European Food Research and Technology*, 238(4):549-563.

Archive of SID

## Investigating the Effect of Roasting Time on Some Physicochemical, Technological, Flowability, Antioxidant and Sensory Properties of Roasted Soybean Flours as Cocoa Substitute

Elham Zayerzadeh<sup>1</sup>, Mostafa Mazaheri Tehrani<sup>2\*</sup>, Samira Yeganehzad<sup>3</sup>,  
Mohebbat Mohebbi<sup>2</sup>

- 1- Ph.D Candidate, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
- 2- Professor, Food Science and Technology Department, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
- \* Corresponding author (mmtehrani@um.ac.ir)
- 3- Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran

### Abstract

Considering the importance of finding suitable substitute for cocoa powder, the effect of roasting process on physicochemical characteristics (pH,  $a_w$ , WHC, OHC and colour parameters), compositional properties, some physical and thermal features (particle size, bulk & tapped densities, porosity, Hausner ratio, Carr index, repose angle and DSC); antioxidant characteristics and sensory properties of roasted soybean were investigated. The soybean samples roasted at 165 °C for 4, 6, 8, 10 and 12 min, then milled and sieved (No.40). Nutritional elements, Mg, Na, Ca, Zn, Cu and Fe increased during roasting. Repose angle,  $a_w$  and moisture content decreased by increasing roasting time. Hausner ratio and Carr index of raw soybean flour were 33.3 and 1.51 respectively, they decreased to 28.73 and 1.40 after roasting for 12min. Study showed that raw soybean flour had a weak flowability.  $L^*$  as a time-temperature index at roasting process of foods (like coffee and cocoa) decreased by increasing time. Antioxidant activity results suggested that antiradical activity and total phenol content of roasted soybean flours increased by roasting time and a significant correlation between these two items were observed ( $P<0.05$ ). DSC analysis showed that flours had a high thermal resistance. Sensory properties evaluation showed that soybean flour roasted for 8 min, had a comparable total acceptance to cocoa powder.

**Keywords:** Cocoa Substitute, Physical Properties, Roasting, Sensory Properties, Soy Flour