مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

ارزیابی ویژگی های کیفی پودر فوری حریره بادام- جودوسر تولید شده توسط فناوری اکستروژن

الناز میلانی[1*]، ندا هاشمی [2]، مجید هاشمی قوژدی[3]

۱- دانشیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۲-مدرس علمی کاربردی چشمه جوشان.

۳- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی ، جهاددانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱ /۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۴

کلمات کلیدی:

حریره،

تخلخل،

پودر فوری،

بادام.

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7

* مسئول مکاتبات:

e.milani@jdm.ac.ir

چکیده

احیاء غذای بومی، ورود آن به چرخه صنعتی متناسب با سبک زندگی مدرن کنونی و تمایل به مصرف غذاهای آماده، نقش موثری در حفظ الگوی غذایی صحیح، افزایش سلامت عمومی و معرفی آن در سطح بین المللی خواهد داشت. از میان غذاهای بومی، حریره غلات به همراه دانه بادام به عنوان غذای سنتی فراسودمند دارای ارزش غذایی بالا برای اکثر رده‌های سنی جامعه توصیه می شود. تولید این فراورده با محدودیت هایی نظیر عدم اماده سازی سریع، بافت غیریکنواخت و ماندگاری کوتاه همراه است. از این رو اصلاح فرمولاسیون و روش فرایند برای عرضه غذای بومی به بازار امری مهم به شمار می آید. در این پژوهش از فناوری اکستروژن به منظور تولید گرانول فوری حریره حاصل از آرد مرکب بادام- جودوسر استفاده شد. بدین منظور بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر اثر تیمارهای رطوبت (۱۲ تا ۱۶ درصد) و نسبت اختلاط آرد کامل جودو سر: بادام (۹۰:۱۰تا۷۰:۳۰)، بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و عملگرای فراورده ارزیابی گردید. نتایج نشان داد، افزایش همزمان رطوبت و سطح آرد کامل بادام بدلیل افزایش بخش های فیبری و چربی سبب افزایش دانسیته گردید. همچنین شاخص تخلخل در سطوح بیشینه بادام و رطوبت بیشترین بود. در سطح ۳۰ درصد پودر بادام میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در حداکثر میزان ۲۹/۳ درصد بود. مطابق نتایج بهینه سازی؛ برای داشتن فراورده ای با بیشترین تخلخل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و جذب آب همراه کمترین دانسیته تیمار بهینه شامل رطوبت خوراک ۱۳ درصد، سرعت چرخش ۱۵۰ دور بر دقیقه و آرد بادام کامل ۲۲/۳ درصد تعیین گردید. این فراورده تولیدی، ضمن داشتن ویژگی‌های میکروساختار مناسب دارای ویژگی عملگرای مطلوبی نیز می‌باشد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]

[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

۱- مقدمه

مطالعه غذاهای بومی، به عنوان یکی از حلقه های اطلاعاتی مهم در تبیین الگوهای غذایی می باشد. غذاهای بومی، بستر مناسبی از تنوع را در نظام غذایی کشورهای در حال توسعه فراهم می آورند . این تنوع غذایی به عنوان روشی پایدار برای بهبود سوءتغذیه و امنیت غذایی پذیرفته شده است. احیاء غذای بومی برای ارتقای سلامت تغذیه ای جوامع، پیش نیاز محسوب شده و می تواند فرصتی برای کارآفرینی و درآمدزایی باشد.

بر اساس آخرین توصیه های سازمان جهانی بهداشت یونیسف، در زمینه تغذیه تکمیلی کودکان، غلات به همراه مغزدانه ها (بادام) به عنوان اولین ماده غذایی به شیرخوار توصیه شده است که به شکل فرنی مصرف می شود[۱]. آماده‌سازی سریع حریره به صورت نرم وکاملا پخته، دغدغه مادران می باشد. فراورده های غذایی فوری به ترکیبات پودری اطلاق شده که در ترکیب با آب یا شیر سریعا آماده مصرف می شوند[۲]. تنوع پودرهای فوری در بازار کشور محدود است. اکثر این فراورده های غذایی وارداتی بوده و با توجه به آماده سازی سریع، درکنار قیمت بالا مصرف بالایی نیز دارد. اغلب کارشناسان تغذیه استفاده از دانه های کامل را به دلیل فیبر در آنها و جلوگیری از سرطان، بیماری های قلبی و دیابت توصیه می کنند [۳].

آرد کامل جودوسر (یولاف) غنی از فیبر رژیمی محلول بویژه بتا گلوکان، پروتئین، ویتامین، مواد معدنی، آنتی اکسیدان بوده و نقش موثری در تنظیم عملکرد روده، کاهش کلسترول و میزان گلوکز خون و کنترل وزن بدن دارد [٤]. بادام شیرین حاوی کلسیم، فسفر، آهن و منیزیم، پروتئین، فیبر، منگنز، ریبوفلاوین، روی، سلنیوم، فسفر، اسیدهای چرب ضروری، فتوکمیکال ها و آنتی اکسیدان ها است. حضور چربی بالا در بادام سبب کاهش زمان ماندگاری آن می گردد؛ از این رو فراوری آرد بادام سبب ماندگاری فراورده نیز می گردد [۵]. متاسفانه در سطح پژوهش و بازار داخلی توجه به چنین فراورده هایی محدود و مغفول مانده است. در تولید فراورده های غذایی پودری آماده مصرف (آرد نیمه آماده، غذای کودک، سوپ و پوره فوری) استفاده از فرآیند اکسترودر بدلیل ظرفیت وتوان بالای تولید؛ جایگاه خاصی دارد. ایجاد سریع ویسکوزیته بالا و تمایل اندک به کلوخه‌ای شدن، ویژگی پودرهای فوری تولیدی از اکستروژن می باشد[٦]. نفوذ بخار در طول فرآیند پخت اکستروژن، باعث ایجاد پیوندهای هیدروژنی آب با شاخه‌های باز شده مولکول‌های نشاسته می‌گردد، در نتیجه ترکیب تولیدی حلالیت مطلوب، قابلیت پخش شدن بالا در مایع سرد(آب یا شیر) و ویسکوزیته بالایی دارد[۷]. به علت تنش برشی، فشار و حرارت در طی پخت اکستروژن ژلاتینه شدن و دپلیمریزه شدن ملکولهای نشاسته و شکستن شاخه های جانبی در پروتئین و فیبرها حادث گردیده از این رو؛ قابلیت هضم پروتئین و نشاسته و سهم بخش های فیبر محلول فراورده، افزایش چشمگیری می یابد [۵ و۷]. ساندرین و همکاران (۲۰۱۸)، جهت تولید غذای کودک از مخلوط آرد کامل جودوسر و آرد برنج، تاثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن شامل سرعت چرخش مارپیچ و دما را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و چسبندگی فراورده نهایی بررسی نمودند. نتایج نشان داد؛ با بهینه سازی شرایط اکسترودر می توان از مخلوط حاوی سطوح بالاتر جودوسر در تهیه فراورده های غذایی با ارزش غذایی بیشتر استفاده نمود[۸].

هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر متغیرهای فرمولاسیون شامل نسبت دو نمونه آرد و رطوبت خوراک ورودی اکسترودر بر ویژگی حریره فوری حاصل از آرد کاپوزیت جودوسر –بادام بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

آرد کامل جو دوسر از شرکت زرین و بادام از فروشگاه محلی خریداری شد. به منظور دستیابی به دانه بندی یکنواخت کلیه مواد پس از تمیز کردن اولیه آسیاب گردید (آسیاب چکشی طوس شکن خراسان) و از مش ۳۰ عبور داده شدند.

۲-۲- فرمولاسیون خوراک ورودی و پخت اکستروژن

آرد جودوسر و آرد بادام با نسبت معین تهیه شده و سپس جهت تعیین آب مورد نیاز برای رسیدن به رطوبت ۱۲، ١٤ و ١٦ درصد از رابطه مربع پیرسون استفاده شد. پس از ۲۰ دقیقه اختلاط در پلاستیک پلی اتیلنی به مدت ٢٤ساعت در یخچال نگهداری

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

شدند[۸].

به منظور تهیه فراورده از دستگاه اکسترود جفت مارپیچی با چرخش هم جهت Jinan Saxin (مدل DS56 ،ساخت چین) موجود در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی استفاده شد. میزان رطوبت خوراک ورودی ۱۲، ۱۴ و ۱۶ درصد و نسبت اختلاط آرد بادام: جودوسر ۹۰:۱۰، ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰ متغیر های فرمولاسیون بودند. بر اساس پیش تیمارهای انجام شده شرایط ثابت بهینه فرایند اکستروژن شامل نسبت طول به قطر(L/D) ۱۵، قطر روزنه خروجی ۳ میلی‌متر، دبی ۱۵۰ کیلوگرم در ساعت، دمای مرحله سوم پخت ۱۵۰ درجه سانتی گراد و سرعت چرخش ماردون ۱۵۰ دور بر دقیقه منظور گردید. نمونه های خروجی از دستگاه اکستروژن جهت خشک کردن و رسیدن به رطوبت یکسان بر روی نوار نقاله خشک کن تونلی با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. نمونه های خروجی تا هنگام آزمایش فاز اول در پلاستیک های کدگذاری شده نگهداری شدند[۵].

۲-۳- اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی، میزان رطوبت

میزان رطوبت از روش استاندارد (AACC) به شماره ۱۵-۱۴، به دست آمد. برای اندازه‌گیری چربی از روش سوکسله طبق روش استاندارد AACC به شماره ۲۵-۳۰ و اندازه‌گیری میزان خاکستر (طبق روش استاندارد ۰۱- ۰۸، AACC) با استفاده از روش کوره الکتریکی انجام شد. میزان پروتئین با استفاده از دستگاه کلدالاتومات Gerhardt (مدل VAP20، ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد[۹]. اندازه‌گیری میزان فیبر رژیمی محلول، نامحلول و کل به روش آنزیمی بر اساس استاندارد AOAC انجام گرفت[۳].

۲-۴- دانسیته توده

باروش جابجایی دانه های ارزن بر اساس استاندارد AACC (2000) محاسبه شد[۱۰].

۲-۵- تخلخل

برای اندازه گیری تخلخل اسنک های اکسترود شده از روش پردازش تصویر استفاده شد. تصویر برداری از نمونه ها با استفاده از دوربین دیجیتال مدل Canon EOS 1000D در محفظه ای تاریک که بازتاب نور وجود نداشت انجام پذیرفت. تعداد ۱۰لامپ فلورسنت درون محفظه روشن بود. تصویر برداری با نرم افزار EOS utility انجام گرفت. سطح رویی نمونه با استفاده از نرم افزار فتوشاپ از پشت زمینه جدا شد و سپس با نرم افزارJ image میزان تخلخل نمونه ها اندازه گیری شد [۱۱].

۲-۶- شاخص جذب آب

۲گرم از فراورده پودر شده، درون لوله فالکون ۱۵ میلی لیتری با وزن مشخص، ریخته و توزین گردید. پس از افزودن ۵ میلی لیتر آب مقطر به آن، به مدت ۲ دقیقه با ورتکس همزده شد و در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت rpm700 سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ، مایع رویی به درون پتری دیش انتقال یافته و ژل باقی مانده توزین شد. در نهایت میزان شاخص جذب به وسیله فرمول تعیین شد[۱۰].

$$WAI=mg/ms$$

mg و ms به ترتیب وزن ژل باقی مانده و نمونه اولیه است.

۲-۷- میکروساختار

میکروسکوپ الکترونی روبشی یکی از بهترین روش های آنالیزی است که امکان بررسی و آنالیز شیمیایی، ترکیب، سطح و ریزساختار داخلی را در ابعاد میکرونی و نانومتری فراهم آورده است. جهت تصویر برداری از سطح مقطع نمونه بافت داده شده از میکروسکوپ الکترون روبشی مدل LEO1450 VP (LEO Electron Microscopy Ltd., Cambridge, UK) استفاده شد. اساس عملکرد به صورت برهمکنش پرتوی الکترونی با ماده است که نشر الکترون‌ها و فوتون‌ها از ماده را به همراه دارد [۵].

۲-۸- ترکیبات فنلی کل

اندازه‌گیری مقدار میزان کل ترکیبات فنولی با روش فولین سیوکالتو و کمی اصلاحات اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا غلظت های ۱۰۰۰، ۱۰۰۰۰، ۱۲۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ از نمونه با کمک الکل ۹۶٪ تهیه شد. ۱ میلی لیتر از هر کدام از غلظت های گفته شده به ۲/۵ میلی لیتر معرف فولین ۱۰٪ افزوده و پس از گذشت ۲/۵ دقیقه، ۲ میلی لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵ ٪ به نمونه ها

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

افزوده شد و مواد با هم ترکیب شدند. میزان جذب نمونه ها پس از سپری شدن ۱ساعت با دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت انگلستانPG instrument، در طول موج ۷۲۵ نانومتر قرائت گردید. [۱۲].

۲-۹- فعالیت آنتی اکسیدانی (روش مهار رادیکال آزاد DPPH)

در این روش قابلیت احیا کردن ترکیبات اکسید کننده به وسیله ارزیابی میزان بی رنگ شدن محلول بنفش معرف ۲،۲- دی فنیل- ۱- پیکریل هیدرازیل اندازه گیری شد. در ابتدا ۱ میلی لیتر عصاره استخراج شده با ۳ میلی لیتر معرف DPPH مخلوط و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای محیط قرار داده شد. سپس جذب نمونه در طو ل موج ۵۱۷ نانومتر ثبت گردید. از فرمول زیر جهت محاسبه فعالیت مهارکنندگی رادیکال DPPH نمونه ها استفاده شد. نتایج این آزمون بر حسب IC50 غلظتی از عصاره استخراج شده که سبب مهار ۵۰ درصد از رادیکال می شود، گزارش گردید.

= فعالیت مهارکنندگی (DPPHدرصد)

۱۰۰ * (A شاهد /Aنمونه – Aشاهد)

۲-۱۰-طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر به منظور بررسی اثر تیمارهای رطوبت و نسبت اختلاط آرد کامل جودو سر: بادام، بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و عملگرای فراورده اکسترود استفاده شد. با کمک این طرح آماری، تعداد تیمار نهایی ۲۰عدد بوده و کلیه ضرایب مدل رگرسیون و درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها، قابل برآورد بودند. شرایط عملیاتی بهینه نیز با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی جستجو شد [۱۳].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه

ترکیبات شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده در فرمولاسیون پوره فوری بر اساس وزن خشک در جدول(۱) آورده شده است.

Table 1 Nutritional composition of ingredient

Almond	Whole oat meal	
20.29 ±1	14.7 ±0.21	Protein
0.74 ±0.5	2.07±0.3	Ash
49.25±0.25	8.57 ±0.59	Fat
11.05±0.31	6.07 ±0.14	Total fiber
0.65 ±0.44	7.25±1.2	Soluble fiber
1.62 ±0.26	5.72 ±0.36	Insoluble fiber
6.69 ±0.11	7.41 ±0.68	Moisture

* Data are reported in two replications in terms of (Mean ± SD value).

۳-۲- اثر متغیرهای فرمولاسیون بر میزان دانسیته توده

دانسیته توده بیانگر افزایش حجم در تمامی ابعاد فراورده اکسترود شده می‌باشد، دانسیته پایین از ویژگی‌های مطلوب و مورد انتظار در اسنک‌های اکسترود هستند[۷]. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، مدل درجه دوم برای متغیرفرمولاسیون، معنی‌دار و عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر بادام، میزان رطوبت خوراک اولیه بودند ($P<۰/۰۵$). مطابق شکل ۱- اثر متقابل میزان پودر بادام و رطوبت نمایش داده شده است. بر این اساس کاهش میزان پودر بادام و رطوبت اثر قابل توجهی برکاهش دانسیته فراورده حجیم داشت. بادام منبع غنی از روغن و فیبر است. فیبرهای نامحلول به دلیل اینکه خاصیت هیدروفیلی دارند آب زیادی جذب می‌کنند باعث کاهش الاستیسیته و کاهش ویسکوزیته خمیر می‌شوند، حضور چربی نیز بدلیل ساختار هیدروفوبی همچون عایقی مانع تحرک آب جذب شده توسط فیبر در ماتریس کربوهیدراتی می گردد[۱٤]. در ضمن فیبرها باعث پاره شدن دیواره‌های سلولی حباب‌ها شده، در سیستم شکل‌گیری حباب‌ها تیز اختلال ایجاد می‌کنند [۱۵]. در نتیجه ساختار فراورده متراکم‌تر شده و دانسیته بالاتری داشت. نتایج سایر محققین در زمینه سایر مغزهای آجیلی نیز منطبق بر این یافته‌ها است. به عنوان مثال با افزودن سطوح آرد بادام زمینی چربی‌گیری شده شاهد افزایش دانسیته فراورده های غذایی اکسترود شده بودند [۱٦]. گزارش دیگر در تولید اسنک رژیمی ویژه کودکان با پودر میوه خشک شده موید این قضیه است [۱۷].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

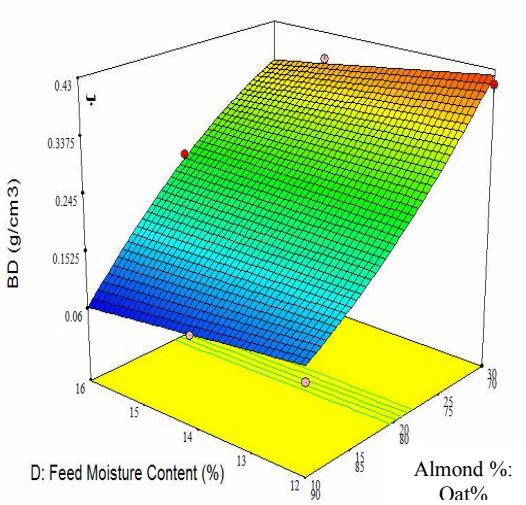

Fig 1 Interaction of Almond: Oat meal ratio, feed moisture on the final bulk density of the extruded product at 150 RPM screw speed

۳-۳- تاثیر متغیرهای فرمولاسیون بر شاخص تخلخل

یکی از روش‌های پایش ساختار اسفنجی فراورده‌های حجیم، اندازه‌گیری تخلخل این فراورده‌ها می‌باشد [۸]. تخلخل در واقع ساختار اسفنجی شکل جامد در فراورده را تشریح می‌نماید، زمانیکه گدازه در حال حجیم شدن است و دما به یکباره شروع به پایین آمدن می‌کند بافت فراورده تحت تاثیر حجم گاز موجود قرار می‌گیرد . سلول‌های هوایی تشکیل شده در طی فرآیند اکستروژن باعث تولید خلل و فرج با اندازه و تعداد متفاوت در فرآورده حجیم می‌گردد. تشکیل بافت اسفنجی و متخلخل در فراورده حجیم شده در نتیجه تولید حبابچه‌های ریز بخار به علت خروج سریع بخار و کاهش ناگهانی فشار در هنگام خروج از دای می‌باشد [۱۶].

بر اساس نتایج آنالیز واریانس، عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان بادام ، رطوبت و همچنین اثر متقابل میزان بادام – رطوبت بودند ($p< ۰/۰۵$).محدوده تغییرات تخلخل فراورده در این پژوهش بر اساس داده آماری ۰/۰۶۰۶و۰/۹۱۲می‌باشد. شکل۲، اثر مستقل و همزمان متغیرهای رطوبت خوراک ورودی و میزان پودر بادام را بر میزان تخلخل فراورده بافت داده نشان داده شده است.

با توجه به شکل افزایش رطوبت از میزان۱۴تا ۱۶٪ تاثیر معنا داری مثبتی بر تخلخل فراورده اکسترود دارد. افزایش میزان تخلخل نمونه‌های اکسترود شده با افزایش میزان رطوبت به بالای ۱۴٪ به علت حضور آب در دسترس بیشتر می‌باشد که منجربه تولید مراکز هسته زایی بیشتری می‌گردد؛ در این حالت حباب‌های کوچکتر و بیشتری شکل می‌گیرند و بافت فراورده اسفنجی می‌گردد [۱۸ و۱۹]. افزایش تخلخل با افزایش میزان رطوبت توسط محققین دیگری نیز گزارش شده است[۱۵، ۱۸ و۱۹].

همانگونه که در شکل ۲، مشاهده می‌گردد، افزایش میزان بادام بر تخلخل نمونه‌های اکسترود شده اثر منفی دارد. طوری که در سطوح بالای میزان پودر بادام (۳۰٪) شاهد کمترین میزان تخلخل بودیم. دلایل مشاهده این پدیده عبارتست از:۱) اینکه چون نشاسته مسئول ایجاد بافت با ساختار اسفنجی است با کاهش غلظت آن ساختار بافت با تخلخل کمتری تولید می‌گردد [۱۵]. همچنین افزایش میزان فیبر که با داشتن خاصیت هیدروفوبی قوی مانعی جهت ژلاتینه شدن نشاسته و همچنین تشکیل دیواره مناسب برای سلول‌های هوایی و گسترش سلول‌های هوایی می‌باشد[۵و ۲۰]. این یافته‌ها منطبق بر نتایج نمونه‌های اکسترود شده محتوی پودر بادام زمینی و پوره سیب می‌باشد [۱۵ ، ۱۶ و ۲۱].

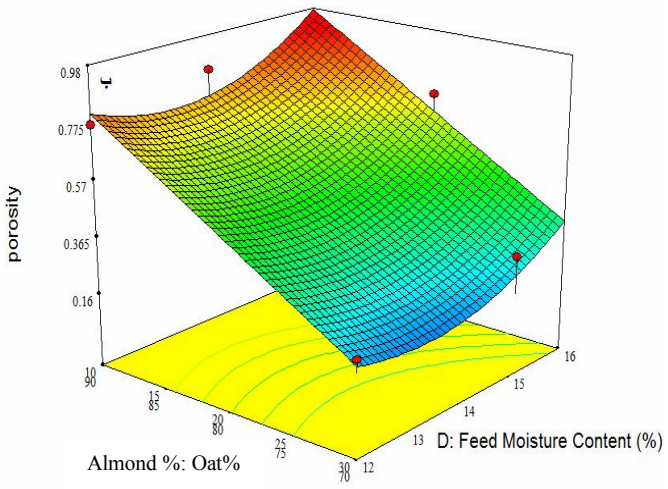

Fig 2 Interaction of Almond: Oat meal ratio, feed moisture on the porosity of the extruded product

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

۳-٤- اثر متغیرهای فرمولاسیون بر میزان شاخص جذب آب

شاخص جذب آب نشان دهنده میزان آب جذب شده توسط نشاسته بعد از متورم شدن در حضور آب زیاد می‌باشد که برابر با وزن ژل تشکیل شده است [٦]. این فاکتور شاخصی از ژلاتیناسیون نشاسته بوده و نشان دهنده نسبت مولکول‌های دست نخورده است که در طی اکستروژن قابلیت جذب آب را حفظ نموده‌اند[۸]. میزان شاخص جذب آب WAI بستگی به گروه‌های هیدروفیل در دسترس و ظرفیت تشکیل ژل توسط ماکرومولکول‌ها دارد [٤]. بر اساس نتایج آنالیز واریانس عبارات-های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر بادام، رطوبت خوراک اولیه بودند ($p<۰/۰۵$). محدوده شاخص جذب آب برای نمونه‌های تولید شده بین۵/٤۹ تا۷/۸۹بوده است.

ژلاتیناسیون یکی از مهمترین تغییرات ایجاد شده طی فرآیند اکستروژن بر اجزای نشاسته‌ای می‌باشد[۲۲]. به دلیل اینکه میزان رطوبت وسرعت چرخش ماردون بر میزان ژلاتینه شدن نشاسته اثرگذار است لذا این دو متغیر روی میزان شاخص جذب آب نیز موثر می‌باشند. هرچه زنجیره پلیمرهای نشاسته سالم‌تر، گروه های هیدروفیل در دسترس بیشتر، امکان ایجاد اتصالات با آب بیشترو در نتیجه مقادیر شاخص جذب آب بالاتر می‌گردد [۲۳و ۲۲] . فرایند اکستروژن با سرعت چرخش مارپیچ بالاضمن ایجاد شکاف و تخریب در زنجیره نشاسته که تولید دکسترین را به دنبال دارد. ممکن است باعث ایجاد اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی بشود که انحلال پذیری و به دنبال آن شاخص جذب آب را کاهش دهد[۱۷ و ۲۲]. همانگونه که در این شکل ملاحظه می‌گردد افزایش رطوبت تا میزان ١٤٪ باعث افزایش شاخص جذب آب و پس از آن احتمالا به دلیل سرد شدن و کاهش دمای خمیر مذاب سبب کاهش شاخص جذب آب می‌شود. میزان آب در طول فرایند اکستروژن اثر مهمی بر روی تبدیل نشاسته (دکسترینه شدن) دارد. بیشترین تبدیلات نشاسته در میزان آب پایین و دمای بالا رخ می‌دهد[۸].

در شکل۳، اثر همزمان دو متغیر میزان پودر بادام و میزان رطوبت در سطح میزان چرخش ثابت ۱۵۰ rpm در شاخص جذب آب نمایش داده شده است. با افزایش رطوبت شاهد افزایش میزان ژلاتینه شدن نشاسته و افزایش میزان جذب آب می‌باشیم. زمانیکه نشاسته در میزان رطوبت بالاتر فرایند می‌شود آسیب کمتری دیده و امکان دناتوره شدن پروتئین نیز کاهش می‌یابد [۲۲]. چون آب به عنوان پلاستیسایزر عمل کرده از تجزیه نشاسته جلوگیری کرده، به حفظ توانایی ظرفیت جذب آب نشاسته کمک می‌کند [۲۳و ۲۲]. این نتایج مطابق با گزارشات فراورده های غذایی اکسترودی چون فراورده جایگزین گوشت بر پایه پروتیئن سویا [٢٤]، فراورده اکسترود بر پایه سیب زمینی [۲۲] می‌باشد.

اندیس جذب آب با افزایش میزان پودر بادام در رطوبت بالا(١٦٪) کاهش می‌یابد، طوری که شاهد کمینه میزان این شاخص در نمونه های محتوی ۳۰٪ پودر بادام و رطوبت ۱۲٪ مشاهده شد. این پدیده به دلیل پایین بودن میزان نشاسته در نمونه ۳۰٪ و در نتیجه کاهش غلظت نشاسته می‌باشد، هرچند که پروتئین‌ها حاوی گروه‌های هیدروفیلی مانند- –OH, -NH2, –SH , COOH هستند ولیکن نسبت به گروه های آمیلوز و آمیلوپکتین نشاسته تمایل به جذب آب کمتری دارند[۵]. اندیس جذب آب به رفتار ماده به کار رفته در فرمولاسیون و هدف به کارگیری این ماده (امولسیفایر، استابلایزر و منبع پروتئینی) و همچنین تغییرات مواد مانند دناتوره شدن پروتئین های در طی اکستروژن بستگی دارد[۱۰]. در نمونه‌های اسنک با سطوح پایین پودر بادام چربی‌گیری شده به دلیل پوشیده نشدن زیاد گروههای هیدروفیل و در دسترس بودن این گروهها امکان نفوذ آب و همچنین جذب آب افزایش می‌یابد [۵]

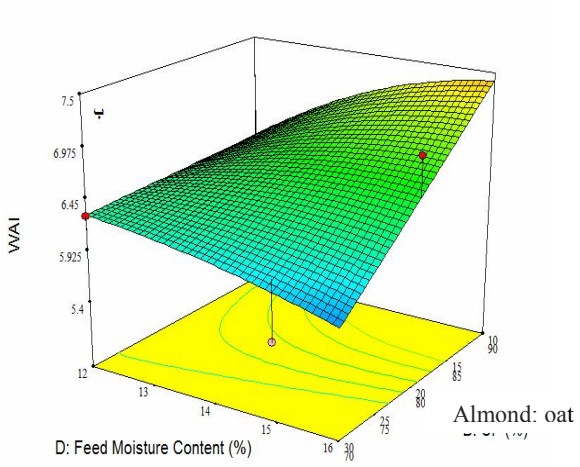

Fig 3 Interaction of Almond: Oat meal ratio, feed moisture on the WAI of the extruded product.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

در تحقیقی با افزایش میزان پودر بادام زمینی چربی‌گیری شده به دلیل کاهش محتوای نشاسته اندیس، جذب آب کاهش یافته است [۱۵]. در در پژوهش Fernández و همکاران (۲۰۱۹)، علت کاهش اندیس جذب آب در نمونه محتوی کازئین- نشاسته را دناتوره شدن پروتئین در طی اکستروژن دانستند.

۳-۵- اثر متغیرهای فرمولاسیون بر فعالیت آنتی اکسیدانی

واژه آنتی اکسیدان، به گیرنده‌های رادیکال آزاد، ممانعت کننده‌های پراکسیداسیون لیپیدها و عوامل چلات[1] نسبت داده می‌شود. به دلیل خاصیت آنتی اکسیدان‌ها در ممانعت از اثرات رادیکال آزاد در ایجاد بیماری‌ها (مانند سرطان، بیماری های قلبی) و فساد مواد غذایی مطالعات ارزیابی ظرفیت آنتی اکسیدانی یکی از متداولترین موضوعات مورد بررسی در فراورده های غذایی می‌باشد [۱۲] .گزارشاتی متفاوت از افزایش و یا کاهش میزان ترکیبات فنلی کل و در نتیجه میزان فعالیت آنتی اکسیدان‌ها در طی پخت اکستروژن ارایه شده است. علاوه بر اندازه گیری ترکیبات فنولی کل قدرت آنتی اکسیدانی عصاره استخراج شده از فراورده حجیم به وسیله روش‌های قدرت آنتی‌اکسیدانی- احیاءکنندگی DPPH مورد ارزیابی قرار گرفت[۱۸]. نتایج حاصل از میزان تغییرات ترکیبات فنولی کل قدرت آنتی اکسیدانی برای مواد خام اولیه و فراورده اکسترود شده در جدول ۲به اختصار برای سه سطح نسبت پودر بادام به آرد جو دوسر (۹۰:۱۰، ۸۰:۲۰ و ۷۰:۳۰) آورده شده است، بر اساس این تنایج کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان ترکیبات فنلی کل و میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده می‌گردد.

به طور خلاصه تفاوت میزان فعالیت آنتی اکسیدانی مواد اولیه و فراورده های اکسترود شده شامل پلیمریزه شدن فنول ها و کاهش فعالیت گیرندگی رادیکال های آزاد توسط آن‌ها، واکنش بین فنول‌ها و پروتئین‌ها تحت شرایط گرمایی و تشکیل فراورده های حاصل از واکنش‌های مایلارد و یا شرکت در واکنش های مایلارد بوده که سبب کاستن میزان فعالیت آنتی اکسیدانی آنها می‌شود [۱۸و ۱۲] از طرف دیگر گزارشاتی در زمینه افزایش میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در فراورده های اکسترود نیز منتشر شده است که علت این پدیده را با شکستن دیواره سلولی و آزاد سازی ترکیبات فنلی و همچنین شکسته شدن ترکیبات پلی فنلی در اثر فشار بالا و تشکیل ملکول‌های فنل با وزن کمتر مرتبط دانسته‌اند [۲۶]. از لحاظ بیوشیمی افزایش فعالیت آنتی اکسیدانی را می‌توان به خاطر القاء تولید آنزیم‌های مسئول افزایش میزان فنل‌ها تحت شرایط فشار و دمای بالا و استرس ناشی از بخار آب دانست. محدوده تغییرات میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در این نمونه فراورده ۱۲/۱ تا ۲۹/۳٪ اندازه گیری گردید. در بررسی خصوصیات عملگرای مواد غذایی بر پایه غلات تنها اندازه گیری میزان ترکیبات فنلی کل کفایت نمی‌کند زیرا قابلیت در دسترس بودن زیستی ترکیبات فنلی در مواد غذایی باعث محدود شدن میزان فعالیت آنتی اکسیدانی آن‌ها می‌گردد[۱۲]. بر طبق شکل٤، اثر منفی میزان رطوبت خوراک اولیه بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی فراورده مانند میزان ترکیبات فنلی کل مشاهده می‌گردد. با توجه به پلیمریزه شدن ترکیبات فنلی کل در اثر افزایش رطوبت، کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی انتظار می‌رفت[۲۶]. در سطوح بالای پودر بادام میزان فعالیت آنتی اکسیدانی در حداکثر میزان است. این یافته منطبق بر نتایج میزان بالای ترکیبات فنلی می‌باشد و علت آن بالا بودن میزان ترکیبات فنلی است. در پژوهش دیگری نیز با اضافه نمودن مقدار پودر بادام زمینی افزایش میزان ترکیبات فنلی و فعالیت بالای آنتی اکسیدانی را به علت حضور فنلهای گیرنده DPPH بیان نموده است [۲۱]. در طی فرایندهای اکستروژن به علت هیدرولیز شدن دیواره سلولی و آزاد شدن فیبرهای نامحلول و پروتئین امکان تشکیل پیوند بین ترکیبات فنلی و فیبرهای نامحلول و یا پروتئین‌ها تشدید می‌شود و در نتیجه کمپلکس بین این ترکیبات ایجاد می‌شود که این پدیده باعث کاهش قابلیت زیستی فنول‌ها به علت عدم اثر گذاری آنزیم‌های گوارشی روی کمپلکس فنول-فیبر نامحلول یا فنول-پروتئین می‌شود [۵ و۱٦].

1 Chelating agent

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

Table 2 The total phenolic content and antioxidant activity in unprocessed and extruded products

Almond: Oat meal ratio	Total phenolic content (mg/100g)		Antioxidant activity (%)	
	unprocessed	extruded products	unprocessed	extruded products
90:10	252	198-238	16.2	12.5-14.9
80:20	289	241-269	25.1	15.2-19.8
70:30	356	282-327	32.9	25.3-29.3

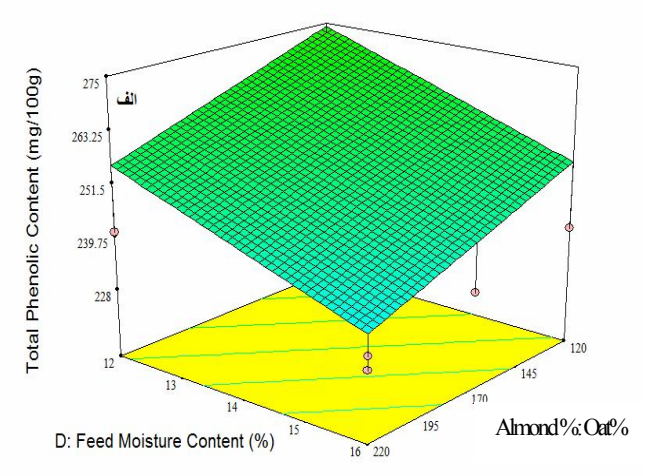

Fig 5 Interaction of Almond: Oat meal ratio, feed moisture on the Total phenolic content (mg/100g) of the extruded product.

۳-٦- تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده رابطه معناداری بین پارامترهای بررسی شده در اندازه‌گیری میکروسکوپی' بافت فراورده حجیم شده مانند اندازه، تعداد و ضخامت دیواره سلول‌های هوایی با خصوصیات فیزیکی بافت (تخلخل و دانسیته) وجود دارد. همچنین رابطه‌ای بین مدل‌های ارائه شده جهت تغییر شکل بافت با اندازه سلول‌های هوایی، ضخامت دیواره آن‌ها نیز وجود دارد [۱۱].

شکل٦ اثر نسبت پودر بادام به آرد جو دوسر و شکل۷- اثر میزان رطوبت خوراک اولیه را نشان می‌دهد. در شکل‌های مذکور، تصاویر سطح مقطع فراورده پف داده شده با بزرگنمایی ۸۰ نمایش داده شده‌اند نشان‌دهنده قطر سلول‌های هوایی و بزرگنمایی ۵۰۰ نمایانگر ضخامت دیواره سلول‌های هوایی است. در تمام تصاویر ساختار متخلخل با بافت غیر یکنواخت و حفره‌دار مشاهده می‌گردد.

بر طبق نتایج حاصله از بررسی میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی فراورده تولیدی همبستگی بالایی بین میزان ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی اکسیدانی مشاهده گردید و همچنین ضمن کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی ولیکن بازهم فراورده تولیدی حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است [۱۸].

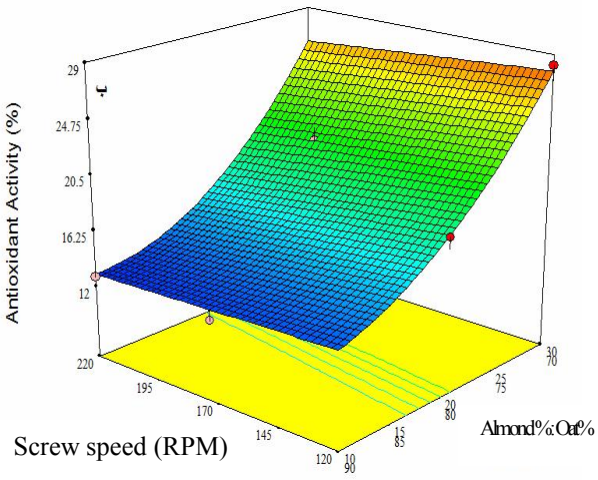

Fig4 Interaction of Almond: Oat meal ratio, Screw speed (RPM) on the Antioxidant activity (%) of the extruded product.

با توجه به شکل۵، با افزایش رطوبت از ۱۲تا ١٦٪ کاهش معنی‌داری در میزان ترکیبات فنلی مشاده شد. با افزایش رطوبت خوراک پلیمریزاسیون ترکیبات فنلی انجام شده و در نتیجه فعالیت آنتی اکسیدانی کاهش می‌یابد، نتایج با سایر گزارشات نیز همراستا بود [١٦].

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

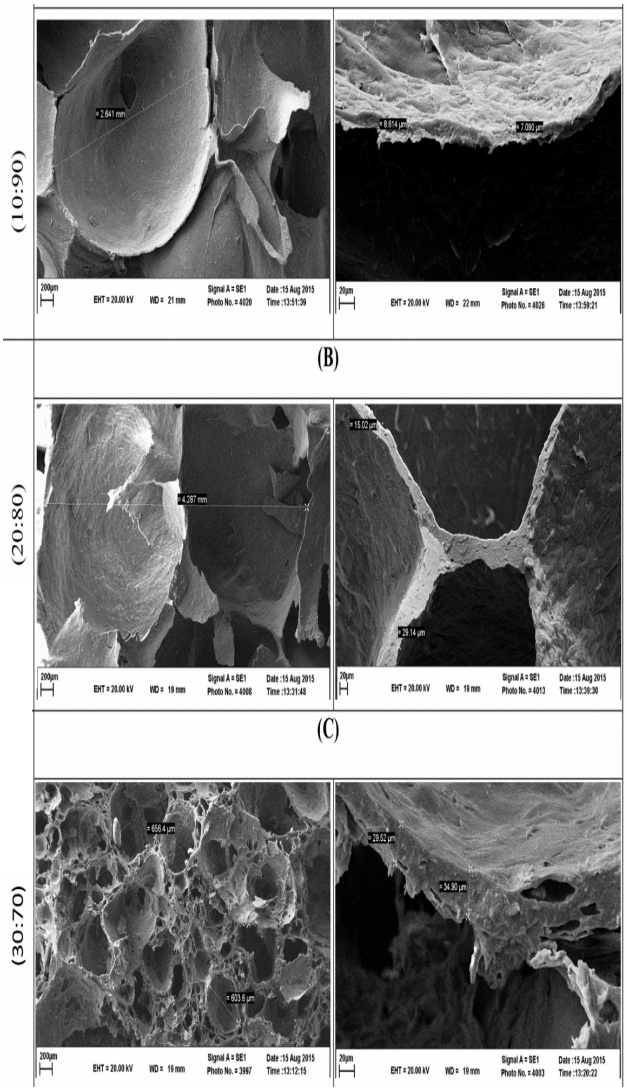

Fig 6 Investigating the microstructure of the textured product based on almond: oat powder using a scanning electron microscope.

با افزایش سطح پودر بادام در شرایط ثابت فرایند(۱۵۰rpm =سرعت چرخش مارپیچ و۱۶٪= میزان رطوبت خوراک اولیه) تعداد سلولهای هوایی بیشتر با دیواره سلولی ضخیم‌تر و قطر کمتر مشاهده می‌گردد. به علت افزایش میزان چربی و فیبر در نمونه های حاوی۳۰٪ پودر بادام ، تعداد نقاط هسته‌زایی افزایش یافته و در نتیجه تعداد حباب‌های هوایی زیاد می‌گردد؛ ولیکن حباب‌ها توانایی توسعه و افزایش حجم را ندارند. لذا قطر حباب‌ها کمتر و دیواره سلولی بیشتر می‌شود. این نتایج منطبق بر تفاسیر حاصله از آزمون دانسیته نیز می‌باشد. در پژوهش دیگری، افزایش دیواره سلولی و کاهش قطر آن‌ها با افزایش سطح بادام زمینی در فراورده اکسترود نیز بیان شده است [۲۱].

در اثر تغییر میزان رطوبت خوراک اولیه ساختارمیکروسکوپی، فراورده دستخوش تغییرات زیادی می گردد. با افزایش میزان رطوبت(۱۶٪) بدلیل رقیق شدن و کاهش دمای خمیر، ویسکوزیته آن کاهش یافته، ژلاتیناسیون بهتر صورت گرفته حباب‌های هوایی بزرگتر با دیواره سلولی نازکتر ایجاد می‌گردد.

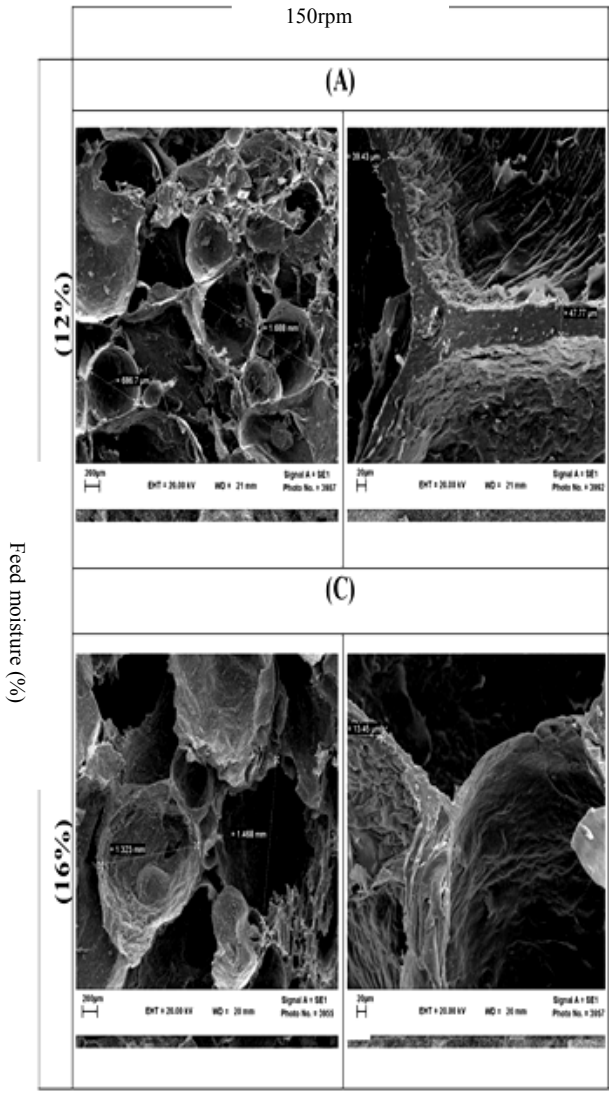

Fig 7 Investigating the microstructure of the textured product at different feed moisture content

مطابق شکل۷-c، فراورده تولید شده با سرعت چرخش مارپیچ۱۵۰ rpmو رطوبت۱۶٪ دارای سلول‌های هوایی کاملا

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

رشد یافته و بزرگ همراه با دیواره سلولی با ضخامت اندک هستند. که این شرایط مطلوب تولید فراورده با بافت مناسب، دانسیته اندک و ضریب انبساط بالا است. نتایج حاصل از بررسی میکروسکوپی نمونه، تایید کننده نتایج آزمون‌های ماکروساختار شامل دانسیته و تخلخل می‌باشد[۱۳ و ۲۳].

٤- نتیجه‌گیری

حریره برنج به همراه مغزدانه بادام به عنوان غذای سنتی فراسودمند دارای ارزش غذایی بالا برای اکثر رده‌های سنی جامعه توصیه می شوند. نیاز به تولید فراورده های غذایی فراسودمند که به سرعت آماد شوند، یکی از مهمترین دغدغه‌های تولید کنندگان است. در این پروژه تولید پودر فوری فراسودمند بر پایه بادام- جو دوسر به عنوان فراورده جدید پیگیری گردید. نتایج این تحقیق نشان داد با کمک فناوری اکستروژن جهت فراوری آرد بادام- جو دوسر، میتوان پودر حریره فوری با ویژگی مطلوب، تولید نمود. بدین منظور؛ مطابق نتایج حاصل از بهینه سازی عددی نرم افزار، برای داشتن فراورده ای با بیشترین تخلخل، ظرفیت آنتی اکسیدانی و جذب آب همراه کمترین دانسیته، تیمار مطلوب شامل رطوبت خوراک ۱۳ درصد، سرعت چرخش ۱۵۰ دور بر دقیقه و نسبت آرد بادام کامل به جو دوسر ۲٤/٥ درصد تعیین گردید. این فراورده تولیدی، ضمن داشتن ویژگی‌های میکروساختار مناسب دارای ویژگی عملگرای مطلوبی نیز می‌باشد.

٥- تشکر و قدردانی:

مقاله حاضر بخشی از طرح پژوهشی مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به شماره ۹۹۰۱۳۱٤٥ می باشد.

٦- منابع

[1] Bahlol HEM, Sharoba AM, EL-Desouky AI .2007. Production and evaluation of some food formulas as complementary food for babies using some fruits and vegetables. *Annals Agric. Sci.* 45(1): 147-168

[2] Trombini, F. and M. Leonel .2010. "Paste and thermal properties of instant mixtures of soybean flour, cassava starch and fibrous residue." *Energia na Agricultura* 25(4): 50-71.

[3] Zhang, M., Liang, Y., Pei, Y., Gao, W. and Zhang, Z., 2011. Effect of process on physicochemical properties of oat bran soluble dietary fiber. *Journal of Food Science*, 74(8), 628-636.

[4] Shukri, R. 2021. "Properties of extruded cross-linked waxy maize starches and their effects on extruded oat flour." *Carbohydrate polymers* 253: 117259.

[5] Hashemi, N., Mortazavi, SA, Milani, E, Tabatabai Yazdi, F. 2017. Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially deffated almond powder and corn flour. *J Food Process Preserv*., 41(5) 1-12.

[6] Lobato, L.P., Anibal, D., Lazaretti, M.M. and Grossmann, M.V.E., 2011. Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), pp.933-939.

[7] Khan MA, Mahesh C, Srihari SP, Sharma GK and Semwal AD. 2019. Optimization of Feed Moisture and Sugar Content in the Development of Instant Rice Porridge Mix Using Extrusion Technology. *Journal of Food Processing & Technology*. 10(12)850-862

[8] Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A.W. and de Francisco, A. 2018. Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture,* 98 (9), 3427-3436

[9] AACC. 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10th ed. St. Paul, Minnesota: *American Association of Cereal Chemists.*

[10] Ding, Q.B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G. and Marson, H., 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering,* 73(2), pp.142-148.

[11] Medina, W.T., Quevedo, R.A. and Aguilera, J.M., 2013. Changes on image texture features of breakfast flakes cereals during water absorption. *Food science and technology international*, 19(1); 45-57.

[12] Cai Y, Sun M, Xing J, Corke H 2004.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

Antioxidant phenolic constituents in roots of Rheum officinale and Rubia cordifolia: structure-radical scavenging activity relationships. *J Agric Food Chem* 52:7884-7890

[13] Selani, Mabel, M., Guidolin, S., Brazaca, C., Tadeu, C., Ratnayake, W. S., Flores, R. A., & Bianchini, A. 2014. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. *Food Chemistry*. 163: 23–30.

[14] Imran, M. Anjum,F. Ahmad, N. Kamran Khan,M. Mushtaq, Z. 2015. Impact of extrusion processing conditions on lipid peroxidation and storage stability of full-fat flaxseed meal. *Lipids in Health and Disease*, 14:92- 101

[15] Yağci, Y & Göğöş, F. 2008. Development of extruded snack from food by-products: a response surface analysis. *Journal of Food Process Engineering* 32(4):565 – 586

[16] Yağci, Y & Göğöş, F. 2009. Selected Physical Properties of Expanded Extrudates from the Blends of Hazelnut Flour-Durum Clear Flour-Rice. *International Journal of Food Properties* 12(2):405-413

[17] Potter, P. Stojceska, f and Plunkett, 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. LWT - *Food Science and Technology*. 51 (2): 537-544

[18] Özer, E. Herken, H. 2006. The effect of extrusion process on the antioxidant activity and phenolics in a nutritious snack food. *International Journal of Food Science & Technology* 41(3):289 – 293

[19] Pankyamma, V. BasuSubrata, L. 2014. Fish Oil-Fortified Extruded Snacks: Evaluation of Physical Properties and Oxidative Stability by Response Surface Methodology. *Journal of Food Process Engineering* 37(4):349-361.

[20] van der Sman, R.G.M. and Broeze. J. 2013. Structuring of indirectly expanded snacks based on potato ingredients: a review. *J. Food Eng*., 114:413.

[21] Olufemi, O. Morayo, A. 2015. Optimization of the Extrusion Process for the Production of Ready-to-Eat Snack from Rice, Cassava and Kersting's Groundnut Composite Flours. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie* 64(1): 25-36

[22] Singh, J., Dartois, A. & Kaur, L. 2010. Starch digestibility in food matrix: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(4): 168-180.

[23] Altan,K.L. McCarthy,M. Maskan. 2009. Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and in vitro Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products. *Journal of Food Science*. 74(2):111-121

[24] Lin,H.E. Huff,F. Hsieh. 2002. Extrusion Process Parameters, Sensory Characteristics, and Structural Properties of a High Moisture Soy Protein Meat Analog. *Journal of Food Science*. 67(3):144-151

[25] Fernández, J. Eduardo G. San Martín-Martínez,Fernando Martínez-Bustos,Alfredo Cruz-Orea. 2004. STARCH. Physicochemical Properties of Casein-Starch *Interaction Obtained by Extrusion Process*. 65(5): 190-198

[26] Bisharat, G.I., Elen, P.N., Panagiotou, N.M., Krokida, M.K. & Maroulis, Z.B. 2014. Thermal, textural, and physicochemical analysis of corn extrudates eniched with broccoli or olive paste, *International Journal of Food Properties,* 17(9): 2100-2116.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the quality characteristics of the instant porridge (Harireh) powder based on oatmeal- Almond produced by extrusion technology

Milani, E. [1 *], Hashemi, N. [2], Hashemi, M. [3]

1. Associate Professor, Food Science and Technology Research Institute, ACECR Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran.
2. Applied scientific lecturer Chashme Joshan.
3. Assistant professor, Food Science and Technology Research Institute, ACECR Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2022/ 09/ 20
Accepted 2023/ 01/ 04

Keywords:

Instant powder,
Porosity,
Almond,
Porridge (Harireh).

DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17
DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7

*Corresponding Author E-Mail:
e.milani@jdm.ac.ir

ABSTRACT

Revival of native food, introducing it to the industrial cycle in accordance with the current modern lifestyle and the tendency to consume prepared foods, will play an effective role in maintaining the correct food pattern, increasing public health and offering it at the international level. Among them, cereal porridge (Harireh) containing almonds and rice flour is recommended as a traditional and beneficial food with high nutritional value for most age groups of the society. The production of this product is associated with limitations such as lack of quick preparation, non-uniform texture and short shelf life. Therefore, it is important to modify the formulation and process to supply local food to the market. In this research, extrusion technology was used to fabricate instant porridge from almond- oatmeal composite flour. For this purpose, the effect of humidity (12-16%) and the ratio of almond- oatmeal flour (10:90- 30:70) on the physicochemical and functional properties were evaluated using rotatable central composite design (CCD). The results showed, the simultaneous increase in moisture and the level of whole almond flour due to the increase in fiber and fat fraction caused an increase in density. Also, the porosity index was the highest at the maximum levels of almonds and humidity. At the level of 30% of almond powder, the antioxidant activity was at the maximum level 29.3%. according to the optimization results; In order to have a product with the highest porosity, antioxidant capacity and water absorption along with the lowest density, the optimal treatment including feed moisture 13%, rotation speed 150 rpm and whole almond flour 22.3% was determined. This product, in addition to having suitable microstructure features, also has a favorable performance feature.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.133.2.7]
[DOI: 10.22034/FSCT.19.133.17]