



ارزیابی کارایی آرد کامل سنجد و جودوسر در فرمولاسیون غلات صبحانه حجیم

شهره تاتاری^۱، فخری شهیدی^۲، محمد جواد وریدی^{۳*}، الناز میلانی^۴، محبت محبی^۵

- ۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.
 ۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.
 ۳- استادگروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.
 ۴- دانشیار گروه علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، خراسان رضوی، ایران.
 ۵- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱

کلمات کلیدی:

غذای فراسودمند،

سنجد،

غلات صبحانه‌ای،

اکستروژن،

ریزساختار.

DOI: 10.52547/fsct.19.123.355

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.25.0

* مسئول مکاتبات:

mjvaridi@um.ac.ir

در سال‌های اخیر، تقاضا برای مصرف فراورده‌های سالم و مفید گسترش یافته است. با توجه به نقش ویژه غلات صبحانه‌ای در رژیم غذایی امروزی، استفاده از مواد مغذی در فرمولاسیون آن‌ها به عنوان راهی جهت تولید فراورده های غذایی فراسودمند در نظر گرفته می‌شود. بنابراین در این پژوهش، تأثیر فرمولاسیون خوراک ورودی (نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جودوسر (۱۰ به ۹۰، ۲۵ به ۷۵ و ۴۰ به ۶۰٪)، رطوبت خوراک (۱۴، ۱۸ و ۲۲٪) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ rpm) بر برخی ویژگی‌های غلات صبحانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. بدین ترتیب که از روش مرکب مرکزی چرخش پذیر برای مطالعه شاخص جذب آب، فعالیت آبی و ضریب انبساط استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش نسبت آرد کامل سنجد از ۱۰ به ۴۰٪ در شرایط ثابت سایر متغیرها (رطوبت ۱۸٪ و سرعت مارپیچ ۱۵۰ rpm) باعث کاهش شاخص جذب آب (از ۵/۶۴ به ۵/۱۶) و ضریب انبساط (از ۱/۷۲ به ۱/۴۸) نمونه‌ها شد. در حالی که افزایش رطوبت خوراک از ۱۴ به ۱۸ درصد، افزایش شاخص جذب آب (از ۵/۰۱ به ۵/۱۶) و فعالیت آبی (از ۰/۳۳ به ۰/۶۳) را در سطح جایگزینی ۲۵ درصد و سرعت مارپیچ ۱۵۰ rpm به دنبال داشت. نتایج افزایش سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت‌های ۱۴ و ۲۲ درصد به ترتیب باعث کاهش و افزایش شاخص جذب آب گردید. علاوه بر این، ارتباط بین ضریب انبساط و ریز ساختار نمونه‌ها توسط روش میکروسکوپ الکترونی روبشی اثبات شد. مطابق نتایج بهینه یابی به منظور تولید فراورده حجیم با ویژگی مطلوب میزان شاخص جذب آب ۶/۲۶ درصد، فعالیت آبی ۰/۶۴، ضریب انبساط ۱/۸۵، شرایط فرایند شامل نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جو دوسر ۹۰:۱۰، سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۲۲ درصد تعیین گردید.

۱- مقدمه

غلات صبحانه، دانه‌های فرایند شده‌ای هستند که بدون نیاز به پخت مجدد یا فرایند اضافی به مصرف می‌رسند. گندم، ذرت، برنج، جو و جودوسر دانه‌های اصلی مورد استفاده در غلات صبحانه هستند. از سوی دیگر، با توجه به اینکه امروزه زمان کافی برای تهیه و خوردن غذای مغذی در زندگی شهری و صنعتی وجود ندارد، غلات صبحانه به عنوان صبحانه آماده خوردن و یا یک میان‌وعده مطلوبیت بیشتری دارند. بنابراین، غنی‌سازی این فراورده‌های پرمصرف توسط ترکیبات مغذی به گونه‌ای که خواص تکنولوژیکی فراورده دستخوش تغییرات نامطلوب نشود، الزامی به نظر می‌رسد [۱]. فیبر رژیمی از جمله ترکیبات ویژه‌ای است که ضمن دارا بودن خواص پری‌بیوتیکی (کربوهیدرات‌های غیرقابل هضم و تحریک کننده رشد باکتری-های پروبیوتیک)، خواص درمانی آن در راستای بهبود عملکرد دستگاه گوارش و سیستم ایمنی بدن، کاهش خطر ابتلا به سرطان و بیماری عروق کرونری قلب، کاهش سطح کلسترول و قند خون و افزایش جذب کلسیم و منیزیم، اثرات سلامتی بخش آن در زمینه بیماری‌هایی مانند سرطان روده، چاقی، ناراحتی قلبی، یبوست و سوءهاضمه نیز به اثبات رسیده است. پری‌بیوتیکها، کربوهیدراتهای پیچیده غیرقابل‌هضمی هستند که موجب بهبود فعالیت میکروارگانیسمهای رودهای می‌شوند و زنده‌مانی آنها را افزایش می‌دهند و درن نتیجه تأثیر خوبی بر سلامت مصرف‌کننده دارند [۲]. بنابراین، بر اساس تعریف کمیسیون اروپایی علوم غذایی فراسودمند (FUFOS) و انستیتو علوم حیاتی بین‌المللی اروپا (ILSI)، فراورده غذایی حاوی فیبر رژیمی را می‌توان به عنوان غذای فراسودمند معرفی کرد [۳، ۴، ۵].

یکی از منابع حاوی فیبر رژیمی جو دوسر می باشد. جودوسر با نام علمی *Avena sativa* گیاهی از خانواده گندمیان است و حاوی بتاگلوکان می‌باشد. در این تحقیق، از جودوسر که حاوی ترکیب پری‌بیوتیک β -گلوکان است، استفاده شده است. β -گلوکان پلی‌ساکارید ذخیره‌ای طبیعی موجود در دیواره سلولی (در دیواره سلول‌های آندوسپرم) جودوسر، گندم، و برخی دیگر از غلات است [۲]. در بین دانه‌های غلات، جو و جودوسر بالاترین مقدار از این نوع فیبر محلول در آب را دارد [۶]. استفاده از ترکیب پروبیوتیکی β -گلوکان موجود در جودوسر جهت تولید فراورده‌های فراسودمند از جمله غلات

صبحانه توصیه شده است.

یکی دیگر از منابع حاوی فیبر رژیمی سنجد می‌باشد. سنجد (*angustifoliaElaeagnus*) گیاهی درختی از خانواده سنجدیان است که به نام‌های زیتون ایرانی (*Persian olive*)، تمشک نقره‌ای (*Silver berry*) و زیتون وحشی (*Wild olive*) خوانده می‌شود. میوه سنجد از نظر غذایی، کم کالری محسوب شده و حاوی طیف وسیعی از مواد مغذی از جمله ترکیبات فلاوونوئیدی و ترپنوئیدی، گلوکز، فروکتوز، اسید فنولیک، اسید کافئیک، اسیدهای چرب مانند اسید لینولئیک، مواد معدنی کمیاب، ویتامین C و فیبرهای رژیمی است. مطالعات اخیر بیانگر نقش میوه سنجد به عنوان آنتی‌اکسیدان، ضد تشنج و ضد التهاب بوده و تأثیر این گیاه را در درمان آرتروز، تب، سردرد و اسهال نشان می‌دهد [۷، ۸]. همچنین با توجه به اینکه قند گلوکز و فروکتوز به عنوان قندهای اصلی در میوه سنجد می‌باشد می‌توان از کاربرد شیرین‌کنندگی آن در فرمولاسیون غلات صبحانه استفاده نمود [۹]. بنابراین استفاده از مواد مغذی به عنوان یک ماده مؤثر در انواع مختلف محصولات غذایی فراوری شده مانند فراورده های اکستروژ شده و غلات صبحانه برای بهبود کیفیت مواد غذایی و اثرات درمانی مفید، ایده‌ی خوبی می‌باشد [۱۰].

وانی و همکاران (۲۰۱۶)، خصوصیات اسنک اکستروژده شده بر پایه آرد برنج، آرد نخود و آرد ذرت با افزودن پودر دانه شبلیله و آرد جودوسر مورد بررسی قرار دادند، در راستای مطالعه افزایش آرد جودوسر افزایش شاخص حلالیت در آب و افزایش پودر دانه شبلیله افزایش شاخص جذب آب را به دنبال داشت [۱۲]. گازرانی و همکاران (۲۰۱۷)، اثر متغیرهای اکستروژن رطوبت ۲۵-۱۵ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰-۲۵۰ rpm و درصدهای مختلف پودر سنجد کامل ۶۵-۲۰ درصد را بر برخی ویژگی‌های فیزیکی اسنک حاوی پودر کامل سنجد و لوبیای سفید بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش پودر سنجد و رطوبت خوراک ورودی، مقدار پارامتر فعالیت آبی افزایش یافت، همچنین با افزایش پودر سنجد و افزایش رطوبت کاهش در جذب آب و کاهش انبساط مشاهده گردید [۷]. همچنین با توجه به نقش مهم ریزساختار بر کیفیت فراورده های حجیم، مطالعات متعددی در این خصوص انجام شده است [۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶].

با توجه به افزایش سطح آگاهی مصرف کنندگان از سلامت فراورده‌های غذایی، محبوبیت غلات صبحانه در بین افراد جامعه به ویژه کودکان و نیز با در نظر گرفتن خواص تغذیه‌ای،

(AACC) اندازه‌گیری شد. همچنین میزان فیبر محلول و نامحلول طبق استانداردهای مربوطه (۴۳-۹۹۱، ۲۰۰۵، AOAC) و میزان قند کل و قند احیا کننده آرد سنجید کامل توسط روش لین و اینون، تعیین گردید. از اختلاف مجموع درصد چربی، پروتئین، خاکستر و رطوبت با ۱۰۰ مقدار کربوهیدرات محاسبه شد.

۲-۳-۲- شاخص جذب آب^۴ (WAI)

۲/۰ گرم از محصول پودر شده، درون لوله فالكون ۱۵ میلی لیتری با وزن مشخص، ریخته و توزین گردید. پس از افزودن ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن، به مدت ۲ دقیقه با ورتکس هم‌زده شد و در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۷۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ، مایع رویی به درون پتری دیش انتقال یافته و ژل باقی مانده توزین شد. در نهایت میزان شاخص جذب به وسیله فرمول (۱) تعیین گردید [۱۷].

$$\text{WAI} = m_g / m_s \quad (1) \quad \text{فرمول}$$

که در آن، m_g و m_s به ترتیب وزن (g) ژل باقی مانده و نمونه اولیه است.

۲-۳-۳- فعالیت آبی (aw)

برای تعیین میزان فعالیت آبی کلیه نمونه‌های اکستروده، حدود ۳ گرم از نمونه پودری درون سل دستگاه سنجش فعالیت آبی (مدل msl Set aw، شرکت Novasina، سوئیس) قرار گرفته و فعالیت آبی پس از کالیبراسیون دستگاه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد گزارش گردید [۱۸].

۲-۳-۴- ضریب انبساط

از هر تیمار ۱۰ نمونه به طور تصادفی انتخاب و جهت اندازه‌گیری ضریب انبساط، دو انتهای آن‌ها جدا شد تا استوانه‌ای شکل گردند. سپس با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اندازه‌گیری و پس از جایگذاری در ضریب انبساط محاسبه شد [۱۹].

$$\text{فرمول (۲)} \quad d/d_0 = \text{میزان انبساط}$$

که در آن d و d_0 به ترتیب قطر (cm) نمونه اکستروده شده و قالب (دای) است.

۲-۳-۵- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)^۵

پس از برش نمونه‌ها توسط چاقوی مخصوص، از چسب دو طرفه برای قرار دادن آن‌ها روی دستگاه استفاده شد. نمونه‌ها به مدت ۲۰۰ ثانیه توسط مدل Sputter Coater با طلا-پلادیوم

دارویی و تکنولوژیکی میوه سنجید، هدف از این پژوهش جایگزینی سطوح مختلف آردهای کامل جودوسر با سنجید بر اساس ماده خشک (۹۰-۱۰، ۷۵-۲۵ و ۶۰-۴۰ درصد)، در شرایط متغیر اکستروژن (رطوبت خوراک اولیه ۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور در دقیقه) و بررسی اثر متغیرهای مذکور بر برخی ویژگی‌های فیزیکی (شاخص جذب آب، فعالیت آبی و ضریب انبساط) و ریز ساختار فراورده تولید شده بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تهیه مواد

آرد کامل جو دوسر از بازار محلی مشهد تهیه شد. سنجید کامل (با هسته) واریته شکری از بازار محلی سبزوار خریداری و توسط آسیاب چکشی-سایشی خرد گردید. سپس نمونه‌های آسیاب شده از الک با مش ۶۰ ($250 \mu m$) عبور داده شد.

۲-۲- فرایند اکستروژن

ابتدا نسبت‌های مشخص از آرد سنجید به جودوسر (۱۰ به ۹۰، ۲۵ به ۷۵ و ۴۰ به ۶۰) با هم مخلوط و بر اساس مربع پیرسون، رطوبت مورد نظر (۱۴، ۱۸ و ۲۲٪) از طریق افزودن آب به مخلوط حاصل تنظیم گردید. سپس خوراک ورودی پساز ۱۵ دقیقه اختلاط، داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته بندی و به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد تا رطوبت به تعادل برسد. دستگاه اکسترودر دوماردونه (مدل DS56، شرکت Jinan Saxin) برای تولید نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، بدین ترتیب که دمای پخت، ثابت و $140^\circ C$ بود. در حالی که سرعت چرخش مارپیچ، متغیر (۱۲۰، ۱۵۰ و 180 rpm) در نظر گرفته شد. فراورده‌های اکستروده پس از طی مراحل خشک شدن (۲ ساعت در $40^\circ C$) و خنک شدن تا دمای محیط، توسط کیسه‌های پلی‌اتیلنی ضخیم بسته‌بندی و تا زمان انجام آزمایش‌های تکمیلی دور از نور، حرارت و رطوبت در دمای اتاق نگهداری شدند [۱۲].

۲-۳- ارزیابی خصوصیات غلات صبحانه‌ای

۲-۳-۱- ارزیابی خصوصیات شیمیایی آرد کامل

سنجید و جودوسر

پارامترهای شیمیایی آردهای کامل سنجید و جودوسر شامل رطوبت (۱۵-۱۴، AACC)، خاکستر کل (۰۸-۰۱، AACC)، پروتئین (۰۸-۰۴، AACC) و چربی (۲۵-۳۰،

3. Lane and Inon

4. Water Absorption Index

5. Scanning Electron Microscope

SC7620 پوشش دهی شدند. سپس با استفاده از دستگاه SEM (مدل LEO 1450VP، آلمان) با رزولوشن ۲/۵nm، تحت ولتاژ ۲۰kv و در بزرگنمایی‌های مختلف تصویربرداری انجام پذیرفت [۲۰].

۲-۳-۶- طرح آماری

در این پژوهش، از نرم افزار Design Expert (نسخه ۱۰) و روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر برای آنالیز نتایج استفاده شد.

Table 1 DXisplaying independent process variables and their values

Independent variable	Mah Symbol	Code		
		-1	0	+1
WOLF ¹ :WOAF ²	A	10:90	25:75	40:60
Feed moisture (%)	C	14	18	22
Screw speed (rpm)	B	120	150	180

¹ Whole oleaster flour, ² Whole oat flour

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات شیمیایی خوراک اولیه (آرد کامل سنجد و جودوسر)

ترکیبات شیمیایی خوراک اولیه به شرح جدول ۲، بود. نتایج میانگین سه تکرار هستند.

Table 2 The proximate composition of raw WOLF and WOAF

Ingredients (%)	Raw WOLF ¹	Raw WOAF ²
Total Dietary Fibre	45.54±0.84	12.97±0.37
Insoluble Dietary Fibre	38.24±0.62	5.72±0.12
Soluble Dietary Fibre	7.30±0.24	7.25±0.31
Ash	2.41±0.05	2.74±0.07
Fat	0.72±0.02	4.25±0.08
Humidity	7.72±0.15	7.53±0.35
Carbohydrates	84.66±1.52	75.78±1.38
Sugar	53.33±0.93	-
Protein	4.49±0.07	9.69±1.02

¹ Whole oleaster flour, ² Whole oat flour

اثر متقابل رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریچ (p<۰/۰۱) بودند. با توجه به شکل ۱، با افزایش میزان پودر سنجد مقدار WAI کاهش یافت، به طوری که کمینه میزان این شاخص در نمونه‌های حاوی ۴۰٪ پودر سنجد مشاهده شد. این پدیده احتمالاً به دلیل پایین بودن میزان پودر جودوسر در این نمونه و در نتیجه کاهش غلظت نشاسته است که کاهش WAI فرآورده را در پی داشته است. بر اساس گزارش‌های محققان دیگر با افزایش میزان پودر بادام زمینی چربی‌گیری شده به دلیل کاهش محتوای نشاسته، شاخص جذب آب کاهش یافته است [۲۶]. مشابه این یافته‌ها در محصولات اکستروژن شده بر پایه جو-گوجه فرنگی و سیب زمینی نیز ارائه گردیده است [۲۷، ۲۸]. علاوه بر نوع ماده به کار رفته در فرمولاسیون، شاخص جذب آب به تغییرات ایجاد شده طی فرایند اکستروژن مانند دنا توره شدن پروتئین‌ها و افزایش فراکسیون-

بر اساس جدول ۱، تأثیر متغیرهای مستقل (درصد جایگزینی آرد کامل سنجد به آرد جو دوسر بر اساس ماده خشک، رطوبت خوراک اولیه و سرعت چرخش ماریچ) بر متغیرهای وابسته (شاخص جذب آب، فعالیت آبی، ضریب انبساط) نمونه‌های غلات صبحانه‌ای بررسی شد.

۳-۲- شاخص جذب آب (WAI)

شاخص جذب آب، میزان آب جذب شده توسط نشاسته بعد از متورم شدن را نشان می‌دهد که برابر با وزن ژل تشکیل شده است [۲۱]. این فاکتور نه تنها شاخصی از ژلاتیناسیون نشاسته است، بلکه نشان دهنده نسبت مولکول‌های آسیب ندیده‌ای است که طی فرایند اکستروژن قابلیت جذب آب خود را حفظ نموده‌اند [۲۲، ۲۳]. میزان این پارامتر به گروه‌های هیدروفیل در دسترس و ظرفیت تشکیل ژل توسط ماکرومولکول‌ها بستگی دارد [۲۴، ۲۵]. از نظر آماری مدل چند جمله ای برای شاخص جذب آب مناسب ارزیابی شد که دارای ضریب تبیین ۰/۸۰ و ضریب تبیین تصحیح شده ۰/۷۰ بود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳)، عبارت‌های معنی دار مدل شامل میزان پودر سنجد (p<۰/۰۱)، رطوبت خوراک (p<۰/۰۱) و همچنین

(هویج، سیب، چغندر و کرن بری) و افزایش میزان دانه انگور سیاه چربی گیری شده، اثر مثبتی بر شاخص جذب آب داشت، ولی میزان جذب آب فیبر در مقایسه با میزان جذب آب نشاسته بسیار کمتر است [۳۱، ۳۲].

های محلول در آب نیز بستگی دارد [۲۲، ۲۹]. در تحقیقی، علت کاهش مقدار این شاخص را در نمونه محتوی کازئین - نشاسته، دناتوره شدن پروتئین طی اکستروژن بیان نموده اند [۳۰]. هرچند افزایش میزان فیبر در نمونه اکستروژ شده محصول فاقد گلوتن با جایگزینی میوه و سبزی

Table 3 Coefficient of variables in the predictive models and the results of the analysis of variance of breakfast cereal

	Expansion rate	WAI	a_w
WOLF¹:WOAF²(A)	-0.16 ^{***}	-0.39 ^{**}	0.03 ^{**}
Feed moisture (B)	-0.05 ^{**}	0.42 ^{**}	0.16 ^{***}
Screw speed (C)	0.11 ^{***}	-0.14 ^{ns}	-0.02 [*]
WOLF:WOAF × Feed moisture (A×B)	0.14 ^{***}	0.01 ^{ns}	-0.02 ^{ns}
WOLF:WOAF × Screw speed (A×C)	0.03 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.02 [*]
Feed moisture × Screw speed (B×C)	0.10 ^{***}	0.47 ^{**}	0.02 ^{ns}
(A²)	0.04 ^{ns}	-	-0.03 [*]
(B²)	0.04 ^{ns}	-	-0.01 ^{ns}
(C²)	0.08 ^{**}	-	-4.16 ^{ns}
(P Value)	0.0001 ^{***}	0.0008 ^{***}	0.0001 ^{***}
(R²)	0.97	0.80	0.97
(Adj R²)	0.94	0.70	0.95
(Lack of fit)	0.1016 ^{ns}	0.0652 ^{ns}	0.7850 ^{ns}

میزان رطوبتبر شاخص جذب آب نشان داده شده است. با افزایش رطوبت خوراک ورودی، میزان جذب آب محصول افزایش یافته است. بر اساس مطالعات انجام شده، هنگامی که نشاسته در میزان رطوبت بالاتر فرایند می شود آسیب کمتری مشاهده شده، و همچنین امکان دناتوره شدن پروتئین موجود در فرمولاسیون نیز کاهش می یابد [۳۰]. زیرا آب به عنوان پلاستیسایزر از تجزیه نشاسته جلوگیری و در نتیجه به حفظ توانایی ظرفیت جذب آب نشاسته کمک می کند [۲۱، ۳۳، ۳۴]. این نتایج مطابق با گزارش های سایر محققان در فرضیه فراورده های اکستروژ شده مانند فراورده جایگزین گوشت بر پایه پروتئین سویا [۳۵]، اسنک بر پایه عدس - ذرت [۲۳]، محصول اکستروژ شده بر پایه سیب زمینی [۲۱] و فراورده حجیم بر پایه برنج [۳۶] است.

با توجه به تاثیر میزان رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ بر میزان ژلاتیناسیون نشاسته، لذا این دو متغیر بر میزان شاخص جذب آب نیز موثرند. محدوده میزان جذب آب اندازه گیری شده برای نمونه های تولید شده بین ۳/۶۳ تا ۶/۳۶ به دست آمد. بیشترین میزان جذب آب ۶/۳۶ مربوط به نمونه های حاوی ۱۰ درصد پودر سنجد، در رطوبت ۲۲ درصد و سرعت چرخش ۱۸۰ دور در دقیقه مشاهده گردید. در سرعت چرخش مارپیچ پایین، نیروی برشی کاهش یافته و

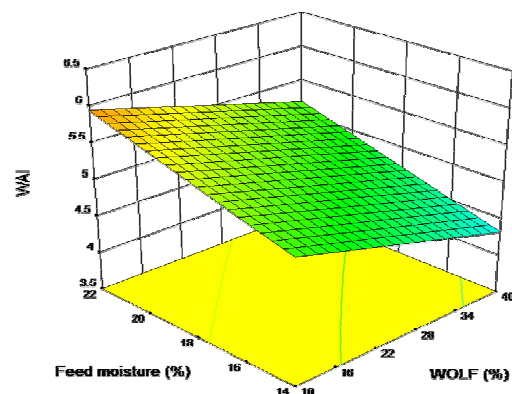


Fig.1 Effect of WOLF and feed moisture on WAI of breakfast cereal

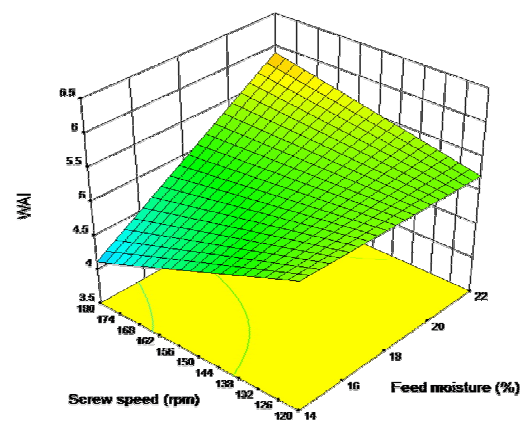


Fig.2 Effect of feed moisture and screw speed on WAI of breakfast cereal

در شکل ۲، اثر همزمان دو متغیر سرعت چرخش مارپیچ و

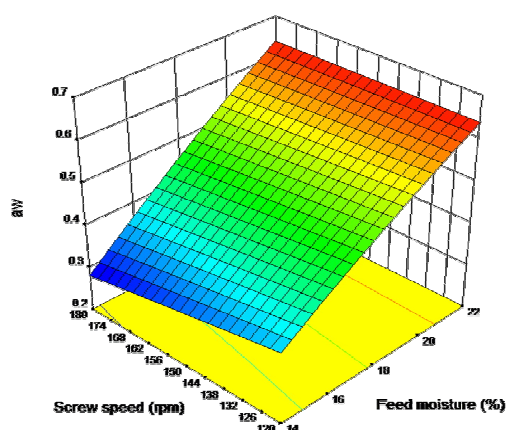


Fig 3 Effect of feed moisture and screw speed on a_w of breakfast cereal

همانگونه که انتظار می‌رفت، برای نمونه‌هایی که رطوبت خوراک آن‌ها بالاتر بود میزان فعالیت آبی بالاتری نیز مشاهده شد (شکل ۳) که مطابق با گزارش‌های سایر محققان است [۴۳، ۴۴]. همچنین در راستای نتایج جوانان و همکاران (۲۰۰۹)، سرعت چرخش مارپیچ بر میزان فعالیت آبی نمونه‌ها تاثیر قابل ملاحظه‌ای نداشت [۴۴]. تغییرات میزان فعالیت آبی در ماده غذایی متاثر از تغییرات ساختار میکروسکوپی و ماکروسکوپی آن است که توانایی باند شدن آبی با ذرات ماده غذایی و واکنش‌های رخ داده در ماتریکس ماده غذایی را مشخص می‌نماید [۴۴].

۳-۴- ضریب انبساط

ضریب انبساط توصیف کننده سطح مقطع عرضی فراورده‌های اکستروژن شده و بیانگر ایجاد ساختار متخلخل و اسفنجی در هنگام خروج خمیر از قالب (دای) به علت آزاد شدن یکباره بخار آب است. ضریب انبساط و افزایش حجم فراورده متاثر از عواملی چون ویسکوزیته خمیر، توزیع‌کنوخت رطوبت و نیروهای موجود در حین فرایند پخت اکستروژن است [۴۵، ۴۶]. مدل منتخب توسط نرم افزار، مدل چند جمله‌ای بود که مقادیر بالای ضریب تبیین (۰/۹۷) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۹۴) حاکی از تناسب آن جهت برازش داده‌ها می‌باشد. نتایج آنالیز واریانس در جدول ۲، نشان داده شده است، همانطور که مشخص است عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان پودر سنجد، میزان رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ، اثرات متقابل میزان پودر سنجد و رطوبت، رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ و اثر درجه دوم سرعت چرخش مارپیچ بود. محدوده ضریب انبساط اندازه‌گیری شده برای نمونه‌های تولید شده بین ۱/۴۰۳ تا ۱/۸۸ به دست آمد. با توجه به نتایج بدست آمده مقدار بیشینه

امکان آسیب دیدن به مولکول‌های نشاسته کمتر می‌گردد، بنابراین شاخص جذب آب در سرعت چرخش مارپیچ پایین بیشتر است. هرچه زنجیره پلیمرهای نشاسته سالم‌تر، گروه‌های هیدروفل در دسترس بیشتر، امکان ایجاد اتصالات با آب بیشتر و در نتیجه مقدار شاخص جذب آب بالاتری قابل دستیابی است [۲۱، ۳۷، ۳۸]. فرایند اکستروژن با سرعت چرخش مارپیچ بالا، ضمن ایجاد شکاف در زنجیره‌های نشاسته و تخریب آن که تولید دکسترین را به دنبال دارد، ممکن است از طریق ایجاد اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی، جذب آب را کاهش دهد [۳۹]. بر اساس مطالب گفته شده و با توجه به شکل ۲، افزایش سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت‌های پایین خوراک، باعث کاهش شاخص جذب آب شد، در حالی که در محتوی رطوبت بالا، اثر افزایش رطوبت بر اثر کاهش سرعت مارپیچ غلبه کرد و در نتیجه شاخص WAI افزایش یافت.

۳-۳- فعالیت آبی (a_w)

فعالیت آبی عبارت است از نسبت فشار بخار ماده غذایی به فشار بخار آب خالص در شرایط دما و فشار ثابت که در ارتباط مستقیم با ایمنی و پایداری میکروبی ماده غذایی است. زیرا میزان آب در دسترس میکروارگانیسم‌ها جهت رشد و ایجاد فساد در ماده غذایی حدود بحرانی فعالیت آبی را نشان می‌دهد. اگرچه اکثر باکتری‌ها، کپک‌ها و مخمرها تحت شرایط اکستروژن نابود می‌شوند، اما بحث غیر فعال شدن اسپورها هنوز به طور قطعی اثبات نشده است. علاوه بر این، فعالیت آبی بر میزان فعالیت آنزیمی و تخریبی ویتامین‌ها و اکسیداسیون چربی‌ها نیز اثر گذار است. از این میان فراورده‌های غذایی اکستروژن شده، به عنوان محصولات با فعالیت آبی اندک مورد توجه هستند [۴۰، ۴۱، ۴۲]. در تحقیق کنونی، مدل چند جمله‌ای درجه دو با مقادیر بالایی از ضریب تبیین (۰/۹۴) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۹۳) به عنوان بهترین مدل توسط نرم افزار معرفی گردید. نتایج آنالیز واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار رطوبت خوراک ($p < 0.01$) بر این پارامتر بود. فعالیت آبی نمونه‌های مورد بررسی در دامنه ۰/۲۹۴ تا ۰/۶۳۹ قرار گرفت. بنابراین، با دانستن مواد غذایی با فعالیت آبی پایین‌تر از ۰/۷ در مقابل رشد میکروب‌ها مقاوم و مصون هستند [۴۰]. فراورده‌های تولید شده در این پژوهش، پایدار و با مدت ماندگاری بالا هستند.

و کمینه ضریب انبساط مربوط به نمونه‌های حاوی ۴۰ درصد پودر سنجد می‌باشد و همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، بیشترین ضریب انبساط مربوط به نمونه‌های حاوی رطوبت ۲۲ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دور در دقیقه و کمترین آن مربوط به نمونه‌هایی با رطوبت ۱۴ درصد و سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰ دور در دقیقه می‌باشد. شایان ذکر است در این پژوهش، یکی از اهداف بهینه‌یابی رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب با هدف داشتن مقادیر بیشینه انبساط می‌باشد.

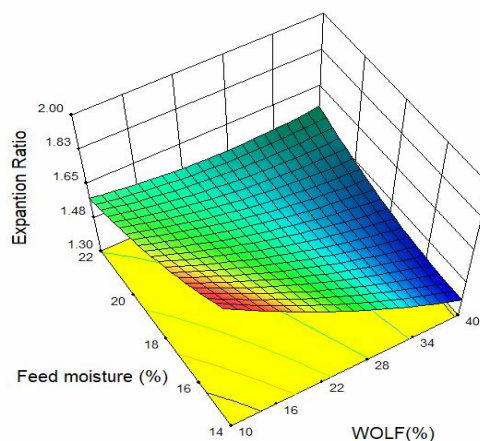


Fig 4 Effect of WOLF and feed moisture on expansion ratio of breakfast cereal

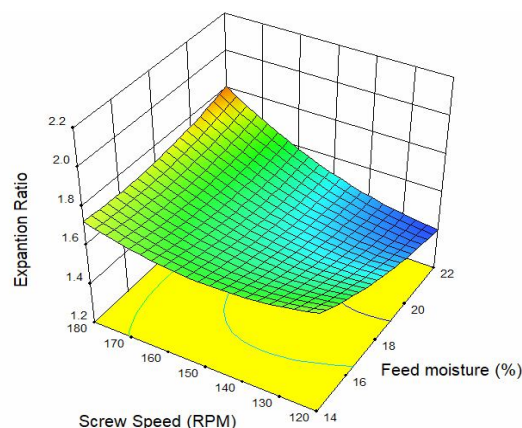


Fig 5 Effect of feed moisture and screw speed on expansion ratio of breakfast cereal

در شکل ۴، اثر دو متغیر میزان جایگزینی آرد جودوسر توسط پودر سنجد کامل و رطوبت نشان داده شده است. افزایش سطح پودر سنجد کامل (۱۰ تا ۴۰٪) منجر به کاهش چشمگیری در فاکتور ضریب انبساط گردید. پودر کامل سنجد حاوی فیبر و قند بالا است [۴۷]، افزایش میزان فیبر و قند معمولاً به منزله کاهش مقدار نشاسته، درصد ژلاتیناسیون و کاهش قابلیت تورم آن است. فیبر نامحلول دارای خواص هیدروفیلیک است که باعث جذب آب بیشتر و در نتیجه تغییر درجه حرارت انتقال شیشه‌ای در گدازه خواهد شد. همچنین، فیبر نامحلول طی

اتصال با حباب‌ها موجب ترکیدن و کاهش کشش پذیری سلول‌های هوایی می‌گردد [۴۵، ۴۸]. کاهش ضریب انبساط با افزایش سطح فیبر توسط سایر محققان نیز گزارش شده است که دلیل این مشاهده را به هم فروریختن ساختار حباب‌های تشکیل شده به دنبال جذب آب زیاد ارتباط داده‌اند. بدین معنی که فیبرها باعث کاهش استحکام و ضخامت دیواره سلولی حباب‌ها می‌شود. از این رو به راحتی بخار آب ایجاد شده در ساختار گدازه مذاب با فشار سبب انهدام دیواره سلولی گردیده و در نتیجه میزان انبساط کاهش می‌یابد [۴۵، ۴۹]. همچنین افزایش رطوبت منجر به کاهش ضریب انبساط در محصول می‌شود. رطوبت موجود به عنوان روان‌ساز عمل کرده [۵۰]، در نتیجه با افزایش رطوبت دمای خمیر کاهش می‌یابد و ویسکوزیته خمیر افزایش می‌یابد. لذا مجموعه این عوامل به انجام ژلاتینه شدن بهتر نشاسته کمک می‌کنند، لذا محصول تولیدی ساختار متخلخل و بافت حجیم شده‌ای دارد [۵۱، ۵۲]. نتایج سایر فراورده‌های غنی از فیبر مانند اسنک بر پایه پودر پالپ پرتقال-نشاسته سیب زمینی و ذرت (افزایش رطوبت ۲۲ تا ۲۴٪) مویید کاهش ضریب انبساط محصول بود [۵۰]. در شکل ۵، اثر همزمان دو متغیر سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت بر ضریب انبساط نشان داده شده است همانگونه که در شکل مشاهده می‌گردد افزایش سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت به ترتیب باعث افزایش و کاهش میزان انبساط گردیده است؛ اما به دلیل تأثیرگذارتر بودن سرعت چرخش مارپیچ، با افزایش همزمان هر دو متغیر میزان ضریب انبساط نیز افزایش یافت. افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش تنش برشی شده [۵۳] و کاهش ویسکوزیته و الاستیسیته خمیر را به دنبال دارد در نتیجه رشد حباب‌های هوا زیادتر شده که در نهایت به افزایش انبساط فرآورده می‌انجامد [۵۴]. نتایج مشابه برای محصولاتی بر پایه پودر جو-آرد جو، آرد ذرت خرچنگ و آرد ماهی-آرد ذرت توسط سایر محققان دیگر گزارش شده است [۵۴، ۵۵، ۵۶].

۳-۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده رابطه معنی‌داری بین پارامترهای بررسی شده در اندازه‌گیری میکروسکوپی^۶ بافت محصول حجیم‌شده مانند اندازه، تعداد و ضخامت دیواره سلول‌های هوایی با خصوصیات فیزیکی آن وجود دارد [۱۳، ۱۴، ۴۹، ۵۷].

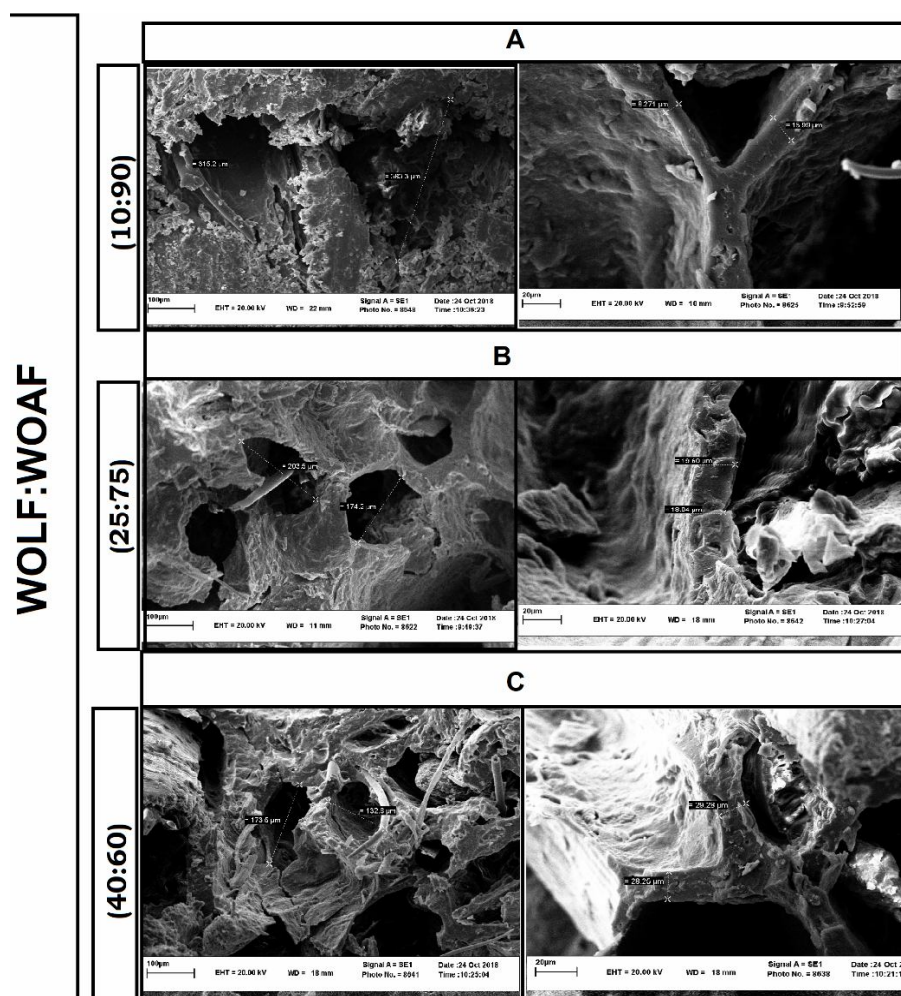


Fig 6 SEM images of breakfast cereal based on WOLF and WOAF in constant-condition process (feed moisture: 18% and screw speed: 150 rpm); A) WOLF to WOAF: 10 to 90, B) WOLF to WOAF: 25 to 75, C) WOLF to WOAF: 40 to 60.

شکل ۶، تاثیر متغیر فرمولاسیون (نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جودوسر) را در شرایط ثابت فرایند (سرعت چرخش مارپیچ: ۱۵۰ rpm و رطوبت خوراک: ۱۸٪) بر خصوصیات سلول‌های هوایی نمونه‌ها نشان می‌دهد. تصاویر با بزرگنمایی ۵۰۰، نشان‌دهنده قطر سلول‌های هوایی و تصاویر با بزرگنمایی ۲۰۰۰، نمایانگر ضخامت دیواره سلول‌های هوایی است. در تمامی تصاویر به دست آمده، ساختار متخلخل با بافت غیر یکنواخت و حفره‌دار دیده شد. با افزایش میزان پودر سنجد در شرایط ثابت فرایند، تعداد بیشتری سلول هوایی با دیواره ضخیم‌تر و قطر کمتر مشاهده گردید. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در بزرگنمایی ۵۰۰، قطر سلول‌های هوایی برای نمونه حاوی ۱۰ درصد سنجد ($315.2 \mu\text{m}$ و $102.3 \mu\text{m}$)، ۲۵ درصد سنجد ($202.2 \mu\text{m}$ و $174.5 \mu\text{m}$) و ۴۰ درصد سنجد ($123.6 \mu\text{m}$ و $132.3 \mu\text{m}$) بود، همچنین در بزرگنمایی ۲۰۰۰،

ضخامت دیواره سلول‌های هوایی برای نمونه حاوی ۱۰ درصد سنجد ($29.2 \mu\text{m}$ و $18.0 \mu\text{m}$)، ۲۵ درصد سنجد ($19.0 \mu\text{m}$ و $14.9 \mu\text{m}$) و ۴۰ درصد سنجد ($12.3 \mu\text{m}$ و $13.2 \mu\text{m}$) می‌باشد. نتایج مشابهی توسط واندرسمن و بروز (۲۰۱۳) مبنی بر تاثیر افزایش مقدار فیبر در نمونه‌های حاوی ۴۰٪ کنجاله بادام بر نقاط هسته‌زایی و در نتیجه افزایش تعداد حباب‌های هوایی گزارش شده است، با این توضیح که البته حباب‌های تشکیل شده توانایی توسعه و افزایش حجم را نداشته‌اند [۵۰]. نتایج مستخرج از تصاویر میکروسکوپی منطبق بر تفاسیر داده‌های به دست آمده از آزمون ضریب انبساط در این پژوهش هستند. موارد مشابهی در فرآورده‌های حاوی نخود، عدس، کنجد و پوره سیب گزارش شده است [۱۶، ۱۵، ۱۴، ۱۳].

به دست آمده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، تاثیر فایبر موجود در آرد کامل سنجید بر افزایش هسته‌زایی و در نتیجه تعداد سلول‌های هوایی نمونه‌ها مشاهده شد. با توجه به صنعت رو به رشد فراورده‌های غذایی فراسودمند و نیز اهمیت زمان در زندگی شهری و صنعتی امروزی، استفاده از موادی با خصوصیات تغذیه‌ای جالب توجه در فرمولاسیون غلات صبحانه، بی‌شک با استقبال زیادی از طرف افراد جامعه و متخصصان تغذیه روبرو خواهد شد.

۶- منابع

- [1] Dadgar, M., Khosravi-Darani, K., Sohrabvandi, S., Ahmadi, N. (2013). Enrichment of Corn Flakes by *Lactobacillus reuteri*. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 7(5):61.
- [2] Vasiljevic T, Kealy, T., and Mishra, V. K. (2007). Effects of β Glucan Addition to a Probiotic Containing Yogurt. *Journal of Food Science*. 72, C405- C411.
- [3] Anvari, B., Anvari, H. (2014). Investigation of functional foods and their beneficial effects on health. *First National Conference on Snacks*, Mashhad.
- [4] Bitaghsir, M., Kadivar, M., (2014). Application of cereals and their compounds in the production of functional cereal products. *First National Conference on Snacks*, Mashhad.
- [5] Moazzezi, S., Heydari, S. (2014). A review of prebiotics as functional ingredients. *First National Conference Quality Development a Comprehensive Strategic Food on Health Food*, Tehran.
- [6] Arendt, E.K., Zannini, E. (2013). Cereal Grains for the Food and Beverage Industries, *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, pp 243-283.
- [7] Gazerani, S., (2018). Formulation and Optimization of the Extruded Flour from Oleaster (*Elaeagnus Angustifolia*) and Navy Bean in order to Prepare Functional / Low Gluten Flat Bread. "Ph.D." Thesis on Food Science and Technology. Sabzevar Branch, Azad University, Faculty of Agriculture, 3-4.
- [8] Khakrizi, M., Atai Salehi, A., Moshref, L., Tajali, F. (2012). Physicochemical Components of *Elaeagnus angustifolia* L. to Use in the Food Industry. *Quarterly Journal of Herbal Medicines*, 3(1), 51-57.

۴- بهینه‌یابی فرمولاسیون و فرآیند اکستروژن در تولید غلات صبحانه

در این پژوهش، هدف از بهینه‌یابی رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب با هدف داشتن مقادیر بیشینه انبساط و بیشینه اندیس جذب آب است. نتایج بهینه‌یابی در جدول شماره ۴ آورده شده است. شرایط بهینه فرمولاسیون و فرایند شامل نسبت آرد کامل سنجید به آرد کامل جودوسر ۹۰:۱۰، سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۲۲ درصد تعیین گردید.

Table 4 Predicted value for expanded breakfast cereal response variables

Water Absorption Index (WAI) (%)	Water Activity (a_w)	Expansion Ratio (a^*)
6.26	0.64	1.85

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با تولید غله صبحانه بر پایه آردهای کامل جو دوسر-سنجد، امکان تولید فراورده‌ای سالم، مغذی و قابل جایگزینی با نمونه‌های تجاری موجود در بازار حاصل گردید. همچنین این پژوهش بیانگر کارایی مناسب فراورده‌های صنایع تبدیلی در فرمولاسیون انواع غلات صبحانه سلامتی‌زا بود. نتایج به دست آمده در این پژوهش بیانگر تاثیر معنی‌دار میزان پودر کامل سنجید و رطوبت ورودی خوراک بر تمامی متغیرهای مورد بررسی بود. نتایج نشان داد، با افزایش سطح جایگزینی آرد کامل جودوسر توسط آرد کامل سنجید و در نتیجه کاهش مقدار نشاسته فرمولاسیون، شاخص جذب آب کاهش یافت. در حالی‌که افزایش رطوبت خوراک به دلیل اثر پلاستیسایزری آب و کاهش آسیب دیدگی نشاسته طی فرایند، منجر به افزایش ژلاتیناسیون این پلی‌ساکارید و در نتیجه افزایش شاخص جذب آب نمونه‌ها گردید. اگرچه رطوبت خوراک بر میزان فعالیت آبی فراورده نیز تاثیر فزاینده داشت، اما مقدار این پارامتر در تمامی نمونه‌های مورد بررسی کمتر از ۰/۷ بود که نشان از پایداری میکروبی آن‌ها دارد. همچنین، افزایش میزان آرد کامل سنجید سبب کاهش ضریب انبساط فراورده گردید که این امر به تاثیر ژلاتیناسیون نشاسته بر افزایش قابلیت تورم و تاثیر فایبر نامحلول بر کاهش کشش‌پذیری سلول‌های هوایی مرتبط است. مطابق با تصاویر

- and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates, *Food Research International*, 43, 659-663.
- [20] Choi, I. D. (2002). Development, physical and sensory characterization of extruded, indirectly puffed peanut-based snack products Ph.D. Thesis, *The University of Georgia in Partial Fulfillment*, Athens, Georgia.
- [21] Singh, B., Rachna Hussain, S.Z., Sharma, S. (2014). Response surface analysis and process optimization of twin-screw extrusion cooking of potato-based snacks. *Journal of Food Process. Preservation*, 3, 1-12.
- [22] Salata, C.D.C., Leonel, M., Trombini, F.R.M., Mischán, M.M. (2014). Extrusion of blends of cassava leaves and cassava flour: physical characteristics of extrudates. *Food Science Technology*, 34, 501-506.
- [23] Lazou, A., Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudes *Food Research International*, 43, 609-616.
- [24] Morsy, N. E., Rayan, A. M., Youssef, K. M. (2015). Physico Chemical Properties, Antioxidant Activity, Phytochemicals and Sensory Evaluation of Rice-Based Extrudates Containing Dried Corchorus olitorius L. Leaves. *Journal of Food Process Technology*, 6, 1-8.
- [25] Singh, R.K.R., Majumdar, R.K., Venkateshwarlu, G. (2014). Optimum extrusion-cooking conditions for improving the physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology. *Journal of Food Science Technology*, 51, 1827-1836.
- [26] 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, 122-132.
- [27] Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M. (2008). Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84, 231-242.
- [28] Singh, B., Sekhon, K.S., Singh, N. (2007). Effects of moisture, temperature, and level of pea grits on extrusion behavior and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100, 198-202.
- [29] Yu, C., Liu, J., Tang, X., Shen, X., Liu, S. (2010). Effect of protein, moisture content
- [9] Ayaz, F.A. & Bertoft, E. (2001). Sugar and phenolic acid composition of stored commercial oleaster fruits. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14, 505-511.
- [10] Wani, S. A., Solanke, N., Kumar, P. (2015). Extruded Product Based on Oat and Fenugreek and their Storage Stability. *Journal of Current Nutrition & Food Science*, 11, 78-84.
- [11] Lobato, L.P., Anibal, D., Lazaretti, M.M., Grossmann, M.V.E. (2011). Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour, *Journal of Food Science and Technology*, 44, 933-939.
- [12] Wani, S. A., Kumar, P. (2016). Fenugreek enriched extruded product: optimization of ingredients using response surface methodology, *Journal of International Food Research*, 23, 18-25.
- [13] Lazou, A., Krokida, M. (2010). Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs *Journal of Sensory Studies*, 25, 838-860.
- [14] Karkle, E.L., Keller, L., Dogan, H., Alavi, S. (2012). Matrix transformation in fiber added extruded products: impact of different hydration regimens on texture, microstructure and digestibility, *Journal of Food Engineering*, 108, 171-182.
- [15] Rzedzicki, Z., Fornal, J. (1999). Influence of process parameters on the physical properties and microstructure of everlasting pea (*Lathyrus Sativus*) extrudate. *International Agrophysics*, 13, 103-117.
- [16] Nascimento, E. M. G. C., Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Freitas, D. G. C. and Ascheri, J. L. R. (2012). Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expend extrudate, *Food Research International*, 45, 434-443.
- [17] Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A. Tucker, G. Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks *Journal of Food Engineering*, 73, 142-148.
- [18] Kaushal, P., Sharma, H.K., and Singh, A.P. (2019). Effect of extrusion processing on microstructural, physical, functional, antioxidant and textural properties of jackfruit flour, rice flour and pigeon pea flour based extrudates. *International Food Research Journal*. 26(3), 1045-1058.
- [19] Hood-Neifer, S. D., and Tyler, R.T. (2010). Effect of protein, moisture content

- characteristics. *Journal of Food Engineering*, 32, 251-267.
- [39] Gupta, M., Bawa, A.S., Semwal, A.D. (2008). Effect of barley flour on the development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chemistry*, 85, 115-122.
- [40] Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and stability of foodstuffs. *Food Control*, 12, 409-417.
- [41] Jensen, P.N., Risbo, J. (2007). Oxidative stability of snack and cereal products in relation to moisture sorption. *Food Chemistry*, 103, 717-724.
- [42] Fallahi, P., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K. A., Brown, M.L. (2012). Twin-screw extrusion processing of vegetable-based protein feeds for yellow perch (*perca flavescens*) containing distillers dried grains, soy protein concentrate, and fermented high protein soybean meal. *Journal of Food Research*, 1, 230-246.
- [43] Makowska, A., Cais-Sokolińska, D., Lasik, A. (2014). Effect of technological factors on water activity of extruded corn product with an addition of whey proteins. *Journal of Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 13, 243-247.
- [44] Chevanan, N., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K. A. (2009). Extrusion studies of aquaculture feed using distillers dried grains with solubles and whey. *Food Bioprocess Technology*, 2, 177-185.
- [45] O'Shea, N., Arendt, E., Gallagher, E. (2014). Enhancing an extruded puffed snack by optimizing die head temperature, screw speed, and apple pomace inclusion. *Food Bioprocess Technology*, 7, 1767-1782.
- [46] Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of chickpea flour-based snacks. *Food Research. International* 43, 650-658.
- [47] Sahan, Y., Gocmen, D., Cansev, A., Celik, G., Aydin, E., Dundar, A.N., Dulger, D., H. Kaplan, B., Kilcil, A., Gucer, S. (2015). Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (*Elaeagnus Angustifolia L.*). *The Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88, 34 – 41.
- [48] Van der Sman, R.G.M., Broeze, J. (2013). Structuring of indirectly expend snacks based on potato ingredients: A review. (2017). Correlations between the physical properties and chemical bonds of extruded corn starch enriched with whey protein concentrate. *Royal Society of Chemistry*, 7, 11979–1198.
- [30] Fernández-Gutiérrez, J. A., Martín-Martínez, S., Martínez-Bustos, F., Cruz-Orea, A. (2004). Physicochemical Properties of Casein-Starch Interaction Obtained by Extrusion Process, *Starch-Stärke*, 56, 190-198.
- [31] Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., Ibanoglu, S. (2010). The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fiber levels in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121, 156-164.
- [32] Gumul, D., Ziobro, R., Zieba, T. Roj, E. (2011). Physicochemical characteristics of cereal extrudates with different levels of defatted blackcurrant seed. *Journal of Food Quality*, 36, 385-393.
- [33] Liu, C., Zhang, Y., Liu, W., Wan, J., Wang, W., Wu, L., Zuo, N., Zhou, Y., Yin, Z. (2011). Preparation, physicochemical and texture properties of texturized rice produced by Improved Extrusion Cooking Technology. *Journal of Cereal Science*, 54, 473-480.
- [34] Seth, D., Badwaik, L. S., Ganapathy, V. (2013). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science Technology*, 52, 1830-1838.
- [35] Lin, S., Huff, H. E., Hsieh, F. (2002). Extrusion process parameters, sensory characteristics and structural properties of a high moisture soy protein meat analog. *Journal of Food Science*, 67, 1066-1072.
- [36] Silva, M.C., Carvahli, C.W.P., Anrade, C.T. (2009). The effects of water and sucrose contents on the physicochemical properties of non-directly expend rice flour extrudates. *Ciênc. Technology. Alimenture*, 29, 661-666.
- [37] Altan, A., McCarthy, K.L., Maskan, M. (2009). Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics and beta-glucan content of extrudates developed from barley-fruit and vegetable by-products, *International Journal of Food Science Technology*, 44, 1263-1271.
- [38] Guha, M., Ali, S.Z., Bhattacharya, S. (1997). Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate

- generation snacks, *CyTA - Journal of Food*, 12 (4), 320-330.
- [53] Altan, A. and Maskan, M. 2011, Development of Extruded Foods by Utilizing Food Industry By-Products, In *Advances in Food Extrusion*, (M. Maskan & A. Altan eds) CRC Press, Pub. New York, U. S. A., 121-228.
- [54] Altan, A., McCarthy, K. L., and Maskan, M. 2009a, Effect of screw configuration & raw material on some properties of barley extrudates, *Journal of Food Engineering*, 92, 377-382.
- [55] Obatolu, V.A., Skonberg, D.I., Camire M.E. and Dougherty M.P. Effect of Moisture Content and Screw Speed on the Physical-Chemical Properties of an Extruded Crab-based Snack (2005). *Food Science and Technology International*, 11(2), 121-127.
- [56] Majumdar, R.K., Singh, R.K.R. (2014). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of fish-based expend snacks. *Journal of Food Process Preservation*. 38, 864-879.
- [57] Agbisit, R., Alavi, S., Cheng, E., Herald, T. Trater, A. (2007). Relationships between microstructure and mechanical prop
- Journal of Food Engineering*, 114, 413-425.
- [49] Nikmaram, N., Garavan, F., Elhamirad, A., Beiraghi-Toosi, S., Goli- Movahhed, G. (2015). Production of high quality expend corn extrudates containing sesame seed using response surface methodology. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 7, 713-720.
- [50] Tovar-Jiménez, X., José Caro-Corrales, J., Gómez-Aldapa, C. A., José Zazueta-Morales, J., Limón-Valenzuela, V., Javier Castro-Rosas, J., Hernández-Ávila, J & Aguilar-Palazuelos, E. 2015, Third generation snacks manufactured from orange by-products: physicochemical and nutritional characterization. *Journal of Food Science Technology*, 52, (10), 6607-6614.
- [51] Thymi, S., Krokida, M. K., Pappa, A., Maroulis, Z. B. 2005, Structural properties of extruded corn starch. *Journal of Food Engineering*, 68, 519-526
- [52] Camacho-Hernández, I. L., Zazueta-Morales, J., Gallegos-Infante, J. A., Aguilar-Palazuelo, E., Rocha-Guzmán, N. E., Navarro-Cortez, R. O., Jacobo-Valenzuela, N., and Gómez-Aldapa, C. A. 2014, Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-



Evaluation the effect of whole oleaster and oat flours in breakfast cereals formulation

Tatari, Sh. ¹, Shahidi, F. ², Varidi, M. J. ^{3*}, Milani, E. ⁴, Mohebi, M. ⁵

1. Ph.D. Student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
3. Profesor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
4. Associate Professor, Department of Food Processing, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
5. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2020/ 01/ 08
Accepted 2020/ 06/ 21

Keywords:

Functional food,
Oleaster,
Breakfastcereal,
Extrusion,
Microstructure.

DOI: 10.52547/fsc.t.19.123.355

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.123.25.0

*Corresponding Author E-Mail:
mjvaridi@um.ac.ir

ABSTRACT

In recent years, the individuals' demand for consumption of healthy and useful products has increased. With regard to the specific role of breakfast cereal in today's dietary habit, the incorporation of nutrients into their formulation is considered as a way to produce functional food products. So in this research, the effect of extrusion variables containing feed formulation (whole oleaster flour to whole oat flour (10 to 90, 25 to 75 and 40 to 60%), feed moisture (14, 18 and 22%) and screw speed (120, 150 and 180 rpm) on some properties of snack was investigated. Thus, the *central* composite design was used to assess the water absorption index (WAI), water activity (a_w), expansion ratio. Based on the obtained results, in a constant condition of other variables (feed moisture; 18% and screw speed; 150 rpm), an increase of the whole oleaster flour ratio from 10 to 40% decreased the WAI (from 5.64 to 5.16) and expansion ratio (from 1.72 to 1.48). While, increase of the feed moisture from 14 to 18% led to an increase in the WAI (from 5.01 to 5.16) and water activity (from 0.33 to 0.63), when replacement level and screw speed were 25% and 150 rpm, respectively. The evaluation results of the screw speed in the moisture of 14 and 22% indicated that increasing the speed resulted in a decrease and increase in WAI, respectively. In addition, the relationship between the expansion ratio and microstructure was proved by scanning electron microscopy method. Optimum condition was found to the blends of whole oleaster flour/whole oat flour (10:90), screw rate of 180 rpm, and feed moisture content of 22% with desirable properties including a_w (0.64%), expansion ratio (1.85), water absorption index (6.26).