

ارزیابی ویژگی‌های فرآورده حجیم حاوی آرد دانه هندوانه تحت تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرآیند

الناز میلانی^a، فخری شهیدی^{b*}، الهام انصاری فر^c، محمد خلیلیان موحد^d، فریده صالحی پور^e، غلامعلی گلی موحد^f

^a دانشیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

^b استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^c استادیار علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی موثر بر سلامت، گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم

پزشکی بیرجند، ایران

^d دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^e دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^f مربی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۲/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۸

۶۷

چکیده

مقدمه: مصرف بالای میان وعده کم ارزش و سوء تغذیه افشار جامعه به خصوص کودکان و نوجوانان یکی از معضلاتی است که امروزه در جامعه وجود دارد. معمولاً دانه‌های ریزی که درون هندوانه پخش است، دورریز می‌شود با این که این دانه‌ها سرشار از مواد مغذی از جمله اسیدهای چرب، پروتئین‌های ضروری و مواد معدنی بسیاری است.

مواد و روش‌ها: از این رو هدف در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر، اثر متغیرهای فرآیند اکستروژن شامل سرعت چرخش ماردون (۱۸۰-۱۲۰ دور بر دقیقه)، افزودن آرد دانه هندوانه (۲۰-۱۰ درصد) و رطوبت خوراک ورودی (۲۰-۱۲ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (نسبت انبساط، شاخص جذب آب و روغن، تخلخل و پذیرش کلی) فرآورده حجیم شده بر پایه بلغور ذرت-آرد گندم مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تاثیر افزودن آرد دانه هندوانه به صورت مستقل سبب کاهش ضریب انبساط و تخلخل شد با این حال اثر همزمان دو پارامتر سرعت چرخش ماردون و افزودن آرد دانه هندوانه سبب بهبود خصوصیات گردید به نحوی که با افزایش سرعت چرخش ماردون و در نتیجه‌ی کاهش ویسکوزیته، ضریب انبساط و تخلخل افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: بهینه‌یایی فرمولاسیون اسنک، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد دانه هندوانه ۱۱/۳۱ درصد، رطوبت خوراک ۱۵/۵۶ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۷۱/۱۵ دور بر دقیقه تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: آرد دانه هندوانه، اسنک حجیم فراسودمند، اکستروژن، تخلخل

مقدمه

اسنک‌ها یا میان وعده‌ها به لحاظ گستردگی و تنوع جایگاهی که در بین اقشار مختلف جامعه به خصوص کودکان دارند به عنوان یکی از عادات تغذیه‌ای در وعده صبحانه و یا عصرانه و یا جایگزین بخشی از غذای معمول استفاده می‌شوند (Maskan and Aitan, 2011). فرآوری بوسیله اکستروژن یک فرایند تکنیکی مهم در صنایع غذایی برای تولید موثر در نظر گرفته می‌شود (Altan et al., 2009). تکنولوژی اکستروژن مواد غذایی، فرایندی است که در طی آن اجزای فرمولاسیون یک ماده غذایی تحت فشار قرار گرفته و به صورت یک سیال تحت اعمال نیرو و عملیاتی نظیر مخلوط کردن، حرارت دادن، اعمال نیروی برشی به جریان در می‌آید و با عبور از یک قالب به صورت یک توده فرم داده شده یا حجیم شده در می‌آیند. در طی عملیات اکستروژن دمای مواد ممکن است به ۱۹۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد برسد، اما زمان توقف مواد در داخل اکستروژر معمولاً فقط بین ۴۰-۲۰ ثانیه می‌باشد، که به همین دلیل فرایند پخت با اکستروژن مواد غذایی را می‌توان جز فرایندهای دمای بالا و زمان کوتاه (HTST¹) تقسیم‌بندی کرد (Altan et al., 2009). توانایی اکستروژن برای عملیات پردازش با بهره‌گیری از دما و فشار بالا و نیروی برش برای تولید محصولاتی با چگالی کم و خواص بافت منحصر به فرد است (De Pilli و همکاران، ۲۰۰۸). از سوی دیگر فرآورده‌های حجیم بیشتر از غلات حاوی نشاسته بالا مانند ذرت، گندم، جو و یا محصولات ریشه‌ای مانند سیب زمینی و کاساوا تهیه می‌شوند. نشاسته موجود در آن‌ها تمامی ویژگی‌های فیزیکی مطلوب برای تولید فرآورده حجیم را فراهم می‌کند ولیکن از لحاظ ارزش تغذیه‌ای کیفیت لازم و کامل را دارا نیست، که جهت ارتقا ویژگی‌های تغذیه‌ای و اصلاح این نقش، استفاده از مواردی مانند دانه‌های روغنی (آفتابگردان، کنجد، بادام، بادام زمینی و گردو) پیشنهاد گردیده است (De Pilli et al., 2008; Yagci and Omwamba and Mahungu, 2014; Gogus, 2009). در همین راستا اخیراً تولید محصولات حجیم شده‌ای که از لحاظ تغذیه‌ای محتوی فیبرهای رژیمی، اسیدهای چرب ضروری و ویتامین بوده، مورد توجه

قرار گرفته است. لذا استفاده از مغزهای آجیلی در تولید این دسته از میان وعده‌ها توصیه می‌شود. در این زمینه De Pilli و همکاران (۲۰۰۸) مطالعاتی جهت اکستروژن کردن آرد گندم و آرد بادام انجام دادند. Yagci و همکاران (۲۰۰۸) تولید محصولی حاوی آرد برنج، گندم و آرد بادام زمینی چربی‌گیری شده و ضایعات میوه را بهینه سازی کردند. هندوانه میوه‌ای بی نهایت پرفرندار است. هر چند همه‌ی ما از خوردن این میوه‌ی روح بخش و شیرین لذت می‌بریم، اما معمولاً دانه‌های ریزی را که درون آن پخش است، دور می‌ریزیم بدون این که فواید آن را برای سلامتی درک کنیم. این دانه‌ها سرشار از مواد مغذی از جمله اسیدهای چرب، پروتئین‌های ضروری و مواد معدنی بسیاری است. سرشار از ویتامین B مانند تیامین، نیاسین، فولات و مواد معدنی مانند منیزیم، پتاسیم، منگنز، آهن، روی، فسفر و مس است. از خواص دانه‌های هندوانه می‌توان به بهبود سلامت قلب، درمان دیابت، تقویت مو و کاهش پیری اشاره کرد (Shahidi et al., 2006). از این رو دانه‌های هندوانه می‌توانند برای میان وعده مفید و ارزان قیمت باشند. با عنایت به مصرف بالای انواع اسنک حجیم و نگرانی‌های تغذیه‌ای در این خصوص، هدف اصلی پژوهش، فرمولاسیون و تولید میان وعده غذایی اکستروژن شده کم کالری (حاوی پسماند تبدیلی) با ارزش غذایی افزوده به عنوان جایگزین مناسب اسنک‌های حجیم رایج موجود در بازار بوده تا در ارتقای سلامت جامعه موثر باشد. لذا در پژوهش حاضر، به کمک طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر، تاثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط اکستروژن شامل سطوح مختلف افزودن آرد دانه هندوانه، رطوبت و سرعت چرخش ماردون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، بافتی و حسی اسنک بر پایه بلغور ذرت-آرد گندم مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

- آماده سازی ماده اولیه

دانه هندوانه (به طور کامل) به وسیله آسیاب آزمایشگاهی، آسیاب گردید. به منظور دانه‌بندی یکنواخت، آرد آسیاب شده، از الک با مش ۵۰ عبور داده شدند. برای

¹High Temperature Short Time

نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت $3000 \times g$ سانتریفوژ گردید (Anderson et al., 1970).

$$OAI = \frac{Mg}{Ms}$$

Mg = وزن ژل دارای روغن بر حسب گرم

- تخلخل

برای اندازه‌گیری تخلخل، از روش پردازش تصویر استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های اسنک برای اندازه‌گیری تخلخل ابتدا به وسیله‌ی چاقوی تیز با احتیاط به صورت طولی به دو نیم تقسیم شدند. تصویربرداری با استفاده از دوربین CANON مدل Canon Eos 1000D در اتاقک مخصوص این کار که دارای دیواره‌های سیاه بود انجام شد. تصاویر گرفته شده به نرم افزار فتوشاپ CS5 منتقل و برش قسمت دلخواه انجام شد و بعد از حذف layer از قسمت پشت زمینه، تصویر با فرمت JPG ذخیره شد. سپس تصویر به نرم افزار Image J انتقال یافت. ابتدا تصاویر به فرمت ۸ بیتی درآمدند. از منوی Process تصاویر به حالت نرمالیزه درآمدند و با انتخاب منوی Threshold و در نهایت منوی Analyze، میزان تخلخل تصاویر محاسبه گردید (Ilo et al., 1999).

- خصوصیات حسی

ارزیابی حسی (پذیرش کلی) به وسیله‌ی ۲۰ پانلیست انجام شد. پذیرش کلی براساس مقیاس هدونیک ۵ امتیازی مورد ارزیابی قرار گرفت. عدد ۱ به معنای عدم پسندیدن و عدد ۵ به معنای پسندیدن کامل است (Milani et al., 2017).

- تجزیه و تحلیل آماری

طرح مرکب مرکزی پذیرش شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری بوده و در بهینه‌سازی فرایندهایی بکار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تاثیر قرار می‌گیرد. شمای گرافیکی مدل ریاضی سبب تعریف واژه‌ی متدولوژی سطح پاسخ شده است. با کمک این طرح آماری، تعداد آزمایش‌ها کاهش یافته و کلیه ضرایب مدل رگرسیون و درجه دوم و اثر متقابل فاکتورها،

اندازه‌گیری رطوبت (۰/۶ درصد)، خاکستر (۱/۶۸ درصد)، پروتئین (۳۱ درصد) و چربی (۵۱ درصد) آرد دانه هندوانه از روش AOAC استفاده گردید (AACC, 2000).

- پخت اکستروژن

پخت اکستروژن توسط اکسترودر دو ماریچ با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین انجام پذیرفت. پایه اکسترودر ترکیبی از بلغور ذرت - گندم به نسبت ۵۰-۵۰ بود. با افزودن آب مقطر رطوبت خمیر ورودی تنظیم شد. برای کاهش کلوخه‌های تشکیل شده، پس از افزودن آب، آرد از الک عبور داده شد. در این پژوهش، فرایند اکستروژن با سرعت ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه، رطوبت ورودی مخلوط ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد و درصد جایگزینی آرد دانه هندوانه ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد، سرعت ورودی ۲۴ گرم بر دقیقه و در دمای ثابت ۱۵۰ درجه سانتی گراد انجام شد. در نهایت فراورده‌ی حجیم شده به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی گراد برای رسیدن به رطوبت ۶ درصد خشک گردید.

- میزان انبساط

میزان انبساط از تقسیم قطر فراورده‌های حجیم شده به قطر سوراخ قالب اکسترودر تعیین گردید. از هر تیمار به صورت تصادفی ۱۰ نمونه انتخاب گردید و میانگین آن‌ها گزارش شد (Gonzalez et al., 2002).

- جذب آب

۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده در لوله فالدکون ۱۵ میلی لیتر ریخته و ۱۰ سی سی آب مقطر به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت $3000 \times g$ سانتریفوژ گردید (Anderson et al., 1970).

$$WAI = \frac{Mg}{Ms}$$

Mg = وزن ژل هیدراته شده بر حسب گرم، Ms =

وزن نمونه بر حسب گرم

- جذب روغن

۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده در لوله فالدکون ۱۵ میلی لیتر ریخته و ۱۰ سی سی روغن ذرت به آن اضافه گردید.

عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی جستجو شد (Selan and Brazaca, 2014).

یافته‌ها

- نسبت انبساط

نسبت انبساط شوندگی یکی از خصوصیات مهم اسنک اکسترودر شده است و برای توصیف درجه پف کنندگی نمونه اکسترودر شده به کار می‌رود (Ding et al., 2006). همان طور که در جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس نشان داده شده است، مدل خطی برای نسبت انبساط از نظر آماری در

قابل برآورد هستند. مهمترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، از این رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد (Laboto et al., 2011). در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل A آرد دانه هندوانه، B رطوبت خوراک و C سرعت ماردون، در جدول ۱ نشان داده شده است. شش تکرار نقطه مرکزی برای تخمین خطای آزمایش استفاده شد. در مرحله دوم طرح آماری گزینش شده و رابطه مدل مورد استفاده برای پیش بینی، برازش شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مرحله سوم شامل ارائه گرافیکی رابطه مدل و تعیین شرایط عملیاتی بهینه بود و توسط نمودار سطح پاسخ و کنتور انجام پذیرفت. شرایط

جدول ۱- سطوح افزودن متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	-۱
سطوح افزودن آرد دانه هندوانه (درصد)	A	۲۰	۱۵	۱۰
رطوبت خوراک (درصد)	B	۲۰	۱۶	۱۲
سرعت چرخش ماردون (rpm)	C	۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰

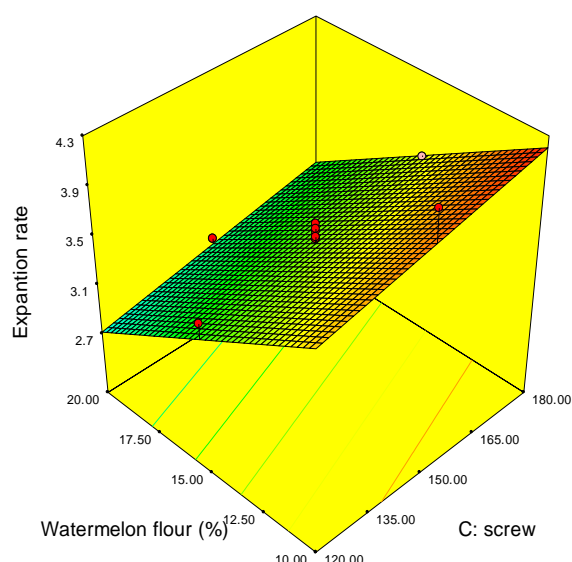
جدول ۲- نتایج تجزیه آنالیز واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده (نسبت انبساط و تخلخل)

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	نسبت انبساط شوندگی (درصد)		تخلخل
			احتمال F	مجموع مربعات	
A	۳/۱۹	۱	۰/۰۰۰۱	۱۰/۳۷	۰/۰۴۳
B	۰/۲۸	۱	۰/۰۲۲۳	۱۶۱/۱۲	۰/۰۰۰۱
C	۰/۳۴	۱	۰/۰۱۳۴	۳۰۲/۲۵	۰/۰۰۰۱
AB		۱		۳/۴۸	۰/۲۰۹۵
AC		۱		۴/۲۰	۰/۱۷۱۰
BC		۱		۲۲/۶۶	۰/۰۰۶۵
A ²		۱		۰/۵۴	۰/۶۰۸۴
B ²		۱		۴/۴۱	۰/۱۶۱۹
C ²		۱		۳۲/۶۶	۰/۰۰۲۱
model	۳/۸۱	۳	۰/۰۰۰۱	۵۵۲/۰۹	۰/۰۰۰۱
Residual	۰/۷۰	۱۶		۱۹/۳۳	
Lack of fit	۰/۶۹	۱۱	۰/۰۷۸	۷/۴۲	۰/۶۹۲۰
Pure error	۰/۰۰۰۹	۵		۱۱/۹۱	
Cor total	۰/۱۳	۱۹		۵۷۱/۴۱	
R ^۲	۰/۹۵			۰/۹۶	
Adj-R ^۲	۰/۹۲			۰/۹۳	
CV		۱۰/۶۶		۱۰/۳۷	۰/۰۴۳

- تخلخل

بررسی مدل‌های آماری نشان داد مدل دو جمله‌ای بیشترین سازگاری را برای آنالیز نتایج حاصل از اندازه‌گیری تخلخل نمونه‌های اسنک حاوی آرد دانه هندوانه دارد. زیرا مدل درجه دوم دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت را داشت لذا این مدل انتخاب گردید. جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس اثر میزان افزودن آرد دانه هندوانه به فرمولاسیون، مقدار رطوبت خوراک و سرعت چرخش ماریپیچ و همچنین اثر متقابل و مضاعف آن‌ها بر تخلخل محصول نهایی را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۲ نشان داد که اثر خطی مقدار آرد دانه هندوانه، رطوبت اولیه و سرعت گردش ماریپیچ و اثر مضاعف سرعت گردش ماریپیچ، همچنین اثر متقابل مقدار رطوبت اولیه با سرعت گردش ماریپیچ، بر تخلخل محصول نهایی در سطح ۹۵ درصد معنی دار بود. بیشترین مقدار تخلخل (۶۱/۶۷ درصد) مربوط به نمونه دارای کمترین مقدار آرد دانه هندوانه و بیشترین مقدار رطوبت اولیه و سرعت ماریپیچ بالا بود و کمترین مقدار تخلخل (حدود ۴۰/۱ درصد) مربوط به نمونه کمترین مقدار آرد دانه هندوانه و کمترین مقدار رطوبت و پایین‌ترین سرعت چرخش ماریپیچ و نمونه دارای مقدار ۱۵ درصد آرد دانه هندوانه، کمترین مقدار رطوبت و سرعت گردش ماریپیچ ۱۵۰ دور در دقیقه بود. با توجه با افزودن آرد دانه هندوانه، تخلخل محصول کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد میزان تخلخل با افزایش سرعت چرخش ماریپیچ افزایش یافت (جدول ۳).

سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بود. اثر خطی آرد دانه هندوانه و سرعت چرخش ماردون در سطح ۹۵ درصد بر نسبت انبساط معنی دار بود ($p < 0.05$) (جدول ۲). در پژوهش حاضر با افزایش میزان آرد دانه هندوانه از ۱۰ تا ۲۰ درصد به فرمولاسیون محصول اکستروژن شده بر پایه بلغور ذرت-گندم نسبت انبساط محصول کاهش یافت (شکل ۱). به طور کلی سرعت چرخش ماردون دارای اثر مثبتی بر نسبت انبساط داشت، به عبارتی افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش میزان برش و بنابراین کاهش ویسکوزیته مواد مذاب می‌گردد (شکل ۱).






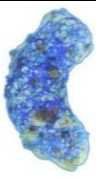



































شکل ۱- نمودار سطح پاسخ اثر آرد دانه هندوانه و سرعت ماردون بر نسبت انبساط.

جدول ۳- تاثیر متغیرهای اکستروژن بر تخلخل

نمونه	نمای کلی اسنک	برش عرضی اسنک	برش عرضی اسنک رنگ شده	تخلخل	نمونه	نمای کلی اسنک	برش عرضی اسنک	برش عرضی اسنک رنگ شده	تخلخل
۱۱۱				۱۱/۴۳	۲۳۲				۹۲/۵۰

ادامه جدول ۳

۱۱۳				۶۸/۵۱	۳۱۱				۲۱/۴۰
۱۲۲				۵/۴۷	۳۱۳				۱۳/۴۷
۱۳۱				۱۲/۴۵	۳۲۲				۹۳/۴۶
۱۳۳				۶۸/۶۱	۳۳۱				۱۱/۴۶
۲۱۲				۹/۴۰	۳۳۳				۵۲/۵۸
۲۲۱				۹۵/۴۴					
۲۲۲				۷۲/۴۶					
۲۲۳				۴۸/۵۵					

ظرفیت درشت مولکول‌ها را در تشکیل ژل مشخص می‌نماید (Altan et al., 2009). شاخص جذب آب معرف میزان ژلاتیناسیون است. همان طور که در جدول نتایج

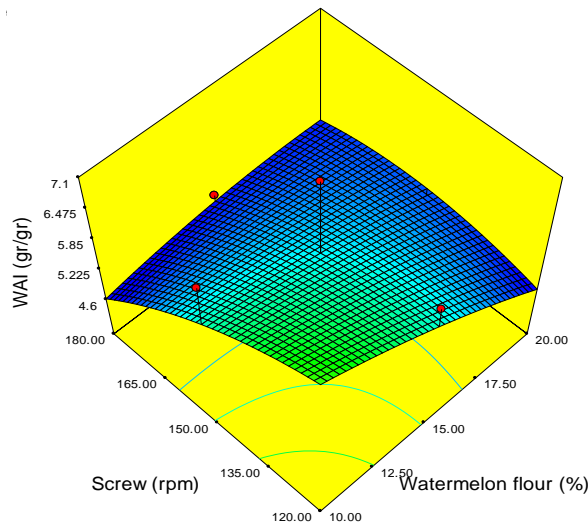
– شاخص جذب آب
شاخص جذب آب (WAI) به دسترسی گروه‌های آب دوست و برقراری پیوند با مولکول‌های آب ارتباط دارد و

ذرت-گندم معنی دار بودند ($p < 0.05$) (جدول ۴). در شکل ۲ اثر متقابل آرد دانه هندوانه-سرعت چرخش ماردون مشاهده می‌شود که با افزایش درصد آرد دانه هندوانه و سرعت چرخش ماردون، شاخص جذب آب محصولات اکستروود شده بر پایه ذرت-گندم کاهش می‌یابد.

آنالیز واریانس نشان داده شده است، مدل چندجمله‌ای درجه دوم برای شاخص جذب آب از نظر آماری معنی دار بود. پارامترهای سرعت چرخش ماردون، اثر متقابل آرد دانه هندوانه-سرعت چرخش ماردون و توان دوم درصد رطوبت بر شاخص جذب آب محصولات اکستروود شده با پایه

جدول ۴- نتایج تجزیه آنالیز واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده (WAI، OAI و پذیرش کلی)

منبع	WAI (گرم/گرم)			OAI (گرم/گرم)			پذیرش کلی		
	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال F	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال F	مجموع مربعات	درجه آزادی	احتمال F
A	۱/۷۰	۱	۰/۰۶۰۹	۰/۰۰۰۸	۱	۰/۴۹۲۰	۴/۱۱	۱	<۰/۰۰۰۱
B	۱/۴۰	۱	۰/۰۸۴۳	۰/۰۵۱	۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۲	۱	۰/۰۷۷
C	۲/۷۳	۱	۰/۰۲۳۲	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۲/۰۳	۱	<۰/۰۰۰۱
AB	۰/۰۱۴	۱	۰/۸۵۱۴	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۸	۱	۰/۵۵
AC	۳/۰۸	۱	۰/۰۱۷۴	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۱۷	۱	۰/۴۱
BC	۰/۰۷۲	۱	۰/۶۷۲۸	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۲۷	۱	۰/۳۱
A ²	۰/۰۴۶	۱	۰/۷۳۵۹	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۱۴	۱	۰/۰۳۴
B ²	۰/۷۶	۱	۰/۰۰۵۴	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۲۰	۱	۰/۰۱۵
C ²	۰/۲۳	۱	۰/۴۵۹۸	۰/۰۳۵	۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۶۲	۱	۰/۱۳۷
model	۱۵/۰۸	۹	۰/۰۱۵۰	۰/۰۸۷	۳	۰/۰۰۱	۶/۹۴	۹	<۰/۰۰۰۱
Residual	۳/۸۱	۱۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۸	۱۶	۰/۰۰۱	۰/۲۴	۱۰	
Lack of fit	۱/۲۳	۵	۰/۷۸۳۰	۰/۰۱۷	۱۱	۰/۷۳۵۹	۰/۱۰	۵	۰/۶۱
Pure error	۲/۵۸	۵	۰/۰۱۱	۰/۰۱۱	۵	۰/۷۳۵۹	۰/۱۳	۵	
Cor total	۱۸/۸۹	۱۹	۰/۱۱	۰/۱۱	۱۹	۰/۷۳۵۹	۷/۱۸	۱۹	
R ²	۰/۸۹			۰/۷۵			۰/۹۶		
Adj-R ²	۰/۷۱			۰/۷۱			۰/۹۴		
CV	۹/۹۵			۲/۱۲			۰/۵۵		



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ اثر آرد دانه هندوانه و سرعت چرخش ماردون بر WAI

- شاخص جذب روغن

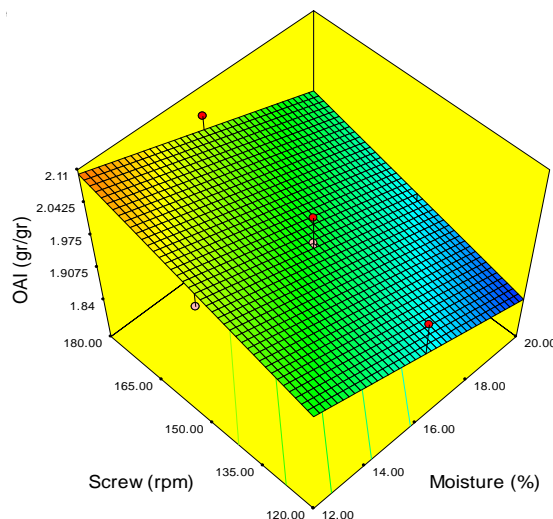
Omohimi و همکاران (۲۰۱۳) دریافته‌اند که شاخص جذب روغن (OAI) نشان دهنده‌ی توانایی یک ترکیب در به دام انداختن روغن است این ویژگی سبب بهبود طعم و افزایش احساس دهانی ماده غذایی می‌گردد. همان طور که در جدول نتایج آنالیز واریانس (جدول ۴) نشان داده شده است، مدل خطی برای شاخص جذب روغن از نظر آماری معنی دار بود ($p < 0.05$). پارامتر رطوبت و سرعت چرخش ماردون به‌طور مستقل بر شاخص جذب روغن محصولات اکستروود شده بر پایه ذرت- گندم، معنی‌دار بودند (جدول ۴) ($p < 0.05$). شکل ۳ اثر همزمان دو متغیر رطوبت و سرعت چرخش ماردون را بر شاخص جذب روغن نمونه‌های اکستروود بر پایه ذرت-گندم نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه میزان شاخص جذب روغن کاهش یافت (شکل ۳).

ماریپیج و همچنین اثر متقابل و مضاعف آن‌ها بر پذیرش کلی محصول نهایی را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متغیر افزودن آرد دانه هندوانه و تغییر سرعت ماریپیج همچنین اثرات مضاعف افزودن آرد دانه هندوانه و تغییر رطوبت معنی‌دار بود ($p < 0.05$). بیشترین مقدار پذیرش کلی (۴/۰۳) مربوط به نمونه دارای کمترین مقدار آرد دانه هندوانه و بالاترین سرعت ماریپیج بود. با توجه به جدول ۵ افزودن آرد دانه هندوانه اثر منفی بر پذیرش کلی نمونه‌ها داشت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر افزایش رطوبت بر پذیرش کلی اسنک دارای آرد دانه هندوانه معنی‌دار نبود ($p > 0.05$) اما دارای اثر منفی جزئی بر پذیرش کلی بود. در مورد تغییرات سرعت چرخش ماریپیج همانطور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود با افزایش سرعت ماریپیج، پذیرش کلی نمونه‌های دارای آرد دانه هندوانه افزایش می‌یابد همچنین بیشترین پذیرش کلی در مقادیر کم آرد دانه هندوانه و سرعت بالای ماریپیج می‌باشد.

جدول ۵- اثر آرد دانه هندوانه، رطوبت خوراک و سرعت

ماردون بر پذیرش کلی محصول نهایی

شماره	نسبت آرد	رطوبت	سرعت چرخش	پذیرش کلی
۱۱۱	۵	۱۲	۱۲	۳/۳۳
۱۱۳	۵	۱۲	۱۸۰	۳/۹۱
۱۲۲	۵	۱۶	۱۵۰	۳/۴۶
۱۳۱	۵	۲۰	۱۲۰	۳/۰۷
۱۳۳	۵	۲۰	۱۸۰	۴/۰۳
۲۱۲	۱۰	۱۲	۱۵۰	۳/۱۳
۲۲۱	۱۰	۱۶	۱۲۰	۱/۹۹
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۳۷
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۴۲
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۴۳
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۶۶
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۶۷
۲۲۲	۱۰	۱۶	۱۵۰	۲/۷۷
۲۲۳	۱۰	۱۶	۱۸۰	۳/۰۳
۲۳۲	۱۰	۲۰	۱۵۰	۲/۷۳
۳۱۱	۱۵	۱۲	۱۲۰	۱/۹۱
۳۱۳	۱۵	۱۲	۱۸۰	۲/۸۳
۳۲۲	۱۵	۱۶	۱۵۰	۲/۳۲
۳۳۱	۱۵	۲۰	۱۲۰	۱/۶۷
۳۳۳	۱۵	۲۰	۱۸۰	۲/۶۷



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ اثر رطوبت ورودی و سرعت

چرخش ماردون بر OAI

- پذیرش کلی

مدل‌های آماری طرح مرکب مرکزی نشان داد مدل دو جمله‌ای بیشترین سازگاری را برای آنالیز نتایج حاصل از آزمون ارزیابی حسی نمونه‌های اسنک حاوی آرد دانه هندوانه دارد. زیرا مدل دو جمله‌ای دارای بیشترین مقدار عدم قطعیت را داشت لذا این مدل انتخاب گردید. جدول ۴، نتایج آنالیز واریانس اثر میزان افزودن آرد دانه هندوانه به فرمولاسیون، مقدار رطوبت خوراک و سرعت چرخش

بحث

انبساط و تشکیل بافت محصولات اکستروود شده فرایند پیچیده‌ای است که به خواص ویسکوالاستیک مواد مذاب، مکانیسم تشکیل و رشد حباب، خواص نرم کنندگی آب در انتقال از فاز مایع (سیال) به ویسکوالاستیک و سپس حالت شیشه‌ای بستگی دارد (Arhaliass *et al.*, 2003). در پژوهش حاضر با افزایش میزان آرد دانه هندوانه به فرمولاسیون محصول اکستروود شده، نسبت انبساط محصول کاهش یافت که به نظر می‌رسد علت آن افزایش مقدار فیبر موجود در آرد دانه هندوانه و تاثیر فیبر در ایجاد سوراخ در دیواره و جلوگیری از تشکیل و گسترش سلول هوایی باشد. افزایش مقدار فیبر در محصولات اکستروود شده سبب ایجاد ساختاری متراکم و کاهش اندازه سلول‌های هوایی، افزایش تعداد سوراخ‌ها در دیواره‌ی سلولی و بنابراین کاهش میزان انبساط می‌گردد (Altan *et al.*, 2009). یافته‌های حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعه Lue و همکاران (۱۹۹۱) بروی نسبت انبساط محصول اکستروود شده حاوی تفاله انگور که با افزایش درصد سطوح تفاله مصرفی، مقدار فیبر افزایش و بنابراین منجر به پارگی دیواره سلولی قبل از تشکیل حباب گاز گردید، مطابقت دارد. به طور کلی سرعت چرخش ماردون دارای اثر مثبتی بر نسبت انبساط داشت، به عبارتی افزایش سرعت چرخش ماردون سبب افزایش میزان برش و بنابراین کاهش ویسکوزیته مواد مذاب می‌گردد (Kokini *et al.*, 1992). نتایج حاصل از تحقیق با نتایج حاصل از مطالعه Seker (۲۰۰۵) روی دانسیته توده محصول اکستروود شده حاوی پروتئین سویا مطابقت داشت که همراه با افزایش سرعت چرخش ماردون، میزان دانسیته توده کاهش و نسبت انبساط افزایش یافته است.

با افزودن آرد دانه هندوانه، تخلخل محصول کاهش می‌یابد. افزودن آرد دانه هندوانه باعث کاهش مقاومت دیواره سلول‌های هوایی به دلیل کم شدن میزان نشاسته در فرمول می‌شود. همچنین روغن موجود در آرد دانه هندوانه از گسترش بافت محصول اکستروود شده می‌کاهد. نتایج مشابهی توسط Ozer و همکاران (۲۰۱۴) و Milani و همکاران (۲۰۱۷) گزارش شده است. از طرفی افزایش رطوبت باعث افزایش میزان تخلخل شد. با افزایش رطوبت مقدار بخار آب تولیدی حین انبساط محصول بیشتر شده در

نتیجه تخلخل بیشتری ایجاد خواهد شد (Ozer *et al.*, 2004). نتایج مشابهی توسط سایر محققان در مورد تاثیر میزان رطوبت و افزایش رطوبت بر مقدار تخلخل اسنک دارای ماهی، روغن ماهی، آرد فندق و ضایعات میوه گزارش شده است (Pankyamma *et al.*, 2014; Yagci and Goguş, 2008; Majumdar and Singh, 2014). ویسکوزیته در اثر تنش برشی ایجاد شده در سرعت‌های بالای ماریچ، باعث سهولت تشکیل حباب‌های هوا و رشد آن‌ها می‌شود (Kokini *et al.*, 1992). همچنین به دلیل فشار بالای ایجاد شده در اثر سرعت‌های بالا و کاهش ناگهانی این فشار بعد از خروج خمیر از اکستروودر، تخلخل افزایش معنی‌داری داشت. نتایج پژوهش‌های Majumdar and Singh (۲۰۱۴) و Milani و همکاران (۲۰۱۷) هم نشان داد با افزایش سرعت چرخش ماریچ باعث افزایش تخلخل اسنک حاوی ماهی و اسنک حاوی کنجاله بادام شد.

با افزایش درصد آرد دانه هندوانه و سرعت چرخش ماردون، شاخص جذب آب محصولات اکستروود شده بر پایه ذرت-گندم کاهش می‌یابد. این امر را می‌توان این گونه توجیه کرد که آرد دانه هندوانه نسبت به آرد ذرت و گندم، میزان فیبر و پروتئین بیشتر و نشاسته کمتری دارد، که این مورد سبب شده که عدم دسترسی گروه‌های آب دوست به مولکول‌های آب کمتر شود و نفوذ آن میزان تجزیه مولکول نشاسته کاهش یافته و بر ژلاتیناسیون نشاسته در اکستروودر تاثیر گذاشته و سبب کاهش جذب آب گردد. نتایج این تحقیق با مطالعه Bisharat و همکاران (۲۰۱۳) بروی شاخص جذب آب محصول اکستروود شده آرد ذرت با افزودن سبزیجات خشک شده (کلم بروکلی و زیتون رنده شده) مطابقت دارد. کاهش جذب آب محصول اکستروود شده بر پایه ذرت-گندم با افزایش سرعت چرخش ماردون را می‌توان این گونه توجیه کرد که با افزایش میزان برش، تغییر در ساختار مولکولی مخلوط خمیری در اکستروودر به همراه دارد و همچنین زمان تماس مواد با دما در اکستروودر برای انجام عمل ژلاتیناسیون به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته تحقیق Alam و همکاران (۲۰۱۶) روی محصول اکستروود شده بر پایه ذرت حاوی هویج و گلم کلم مطابقت دارد.

ذکر شد پارامترهای کیفی محصول نهایی اکستروود شده مثل تخلخل و حجم محصول که بر پذیرش نهایی محصول تاثیر زیادی دارد تحت تاثیر سرعت چرخش ماریپیج می‌باشد لذا با افزایش سرعت ماریپیج تخلخل و حجم محصول نهایی افزایش یافته پذیرش کلی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد. Milani و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش دادند بیشترین میزان پذیرش کلی نمونه اکستروود شده دارای کنجاله بادام را در بالاترین سرعت ماریپیج مشاهده کردند.

در این پژوهش، هدف از بهینه سازی، منظور نمودن فاکتورهایی نظیر میزان انبساط شونگی، جذب آب و امتیاز پذیرش کلی در حد بیشینه بود. از این رو؛ نتایج حاصل از بهینه یابی فرمولاسیون اسنک، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد دانه هندوانه ۱۱/۳۱ درصد، رطوبت خوراک ۱۵/۵۶ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۷۱/۱۵ دور بر دقیقه تعیین گردید.

نتیجه گیری

اسنک‌ها قسمتی از عادات غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می‌باشند. مصرف بالا و افزایش تنوع اسنک‌های اکستروود در سال‌های اخیر مبین ضرورت توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه‌ای آن‌ها در کنار میزان پذیرش از سوی بازار مصرف می‌باشد. با توجه به برخی آثار سوء تغذیه‌ای بعضی از اسنک‌های موجود در بازار، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آن‌ها وجود دارد. این موضوع خود اهمیت پژوهش در زمینه تولید فرآورده‌های جایگزین و سالم را در این زمینه نشان می‌دهد. بهبود ارزش تغذیه‌ای و سلامت جامعه ایفا نماید. نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب فرآورده‌های جنبی صنایع تبدیلی در فرمولاسیون انواع اسنک حجیم سلامتی را بود. به گونه‌ای که با غنی سازی اسنک با آرد دانه هندوانه، می‌توان محصول فراسودمند و عملگرا به بازار ارائه داد که با تغییر پارامترهای اکستروود، کیفیت اسنک را ارتقا داد و در نهایت بهینه یابی فرمولاسیون اسنک، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد دانه هندوانه ۱۱/۳۱ درصد، رطوبت خوراک ۱۵/۵۶ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۷۱/۱۵ دور بر دقیقه تعیین گردید.

بالا رفتن درجه حرارت پوسته و کاهش سرعت چرخش ماریپیج موجب افزایش شاخص جذب روغن می‌گردد، که احتمالاً به دلیل افزایش تجزیه نشاسته در فرآورده‌ی اکستروود و در نتیجه‌ی بالا رفتن انرژی حرارتی ورودی می‌باشد (Selani et al., 2014). افزایش رطوبت به دلیل نقش روان کننده‌ای سبب کاهش اثر دما بر ماده شده و باعث کاهش میزان پخت و درجه دکسترینه شدن می‌گردد (Da Silva et al., 2014). نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج Kadan و همکاران (۲۰۰۳) و Stojceka و همکاران (۲۰۰۸) که به ترتیب به بررسی اثر رطوبت بر شاخص جذب روغن روی محصول اکستروود شده حاوی آرد لوبیا و آرد برنج پرداخته بودند، مطابقت داشت. آن‌ها به علت کاهش جذب روغن را به نقش رطوبت بالا در کاهش میزان ژلاتیناسیون نشاسته و تولید سلول‌های هوایی کوچک نسبت دادند. در تحقیق حاضر با افزایش سرعت چرخش ماردون از ۱۲۰ تا ۱۸۰ دور بر دقیقه میزان شاخص جذب روغن کاهش یافت. Lazou و Krokida (۲۰۱۰) به این نتیجه رسیدند که افزایش سرعت چرخش ماردون موجب افزایش شاخص جذب روغن در نمونه‌های اسنک بر پایه‌ی ذرت و عدس می‌شود. آنها بر این باور بودند که افزایش سرعت فرآیند اکستروژن باعث بالا رفتن درجه پخت و در نتیجه، تشکیل مولکول‌های کوچکتر به سبب دکسترینه شدن نشاسته می‌شود. حضور این مولکول‌ها عامل افزایش شاخص جذب روغن در نمونه‌های اسنک می‌باشد.

افزودن آرد دانه هندوانه اثر منفی بر پذیرش کلی نمونه‌ها داشت. آرد دانه هندوانه دارای رنگ تیره بوده لذا تغییر رنگ قابل توجه‌ای در محصول ایجاد می‌کند. همچنین بافت زبر و سخت آرد دانه هندوانه باعث نامطلوب شدن بافت محصول نهایی شده پذیرش کلی آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. آنالیز حسی افزودن آرد حبوبات و سایر دانه‌ها نیز نشان می‌دهد با افزایش مقدار افزودن این مواد، پذیرش کلی محصول نهایی کاهش معنی داری را نشان می‌دهد (Lazou et al., 2010; Choi et al., 2007; Yeu et al., 2008). با افزایش سرعت ماریپیج، پذیرش کلی نمونه‌های دارای آرد دانه هندوانه افزایش می‌یابد همچنین بیشترین پذیرش کلی در مقادیر کم آرد دانه هندوانه و سرعت بالای ماریپیج می‌باشد. همانطور که قبلاً

Lue, S., Hsieh, F. & Huff, H. E. (1994). Modeling of Twin-Screw Extrusion Cooking of Corn Meal and Sugar Beet Fiber Mixtures. *Journal of Food Engineering*, 21, 263–289.

Lazou, A., Krokida, M. & Tzia, C. (2010). Sensory properties and acceptability of corn and lentil extruded puffs. *Journal of Sensory Studies*. 25, 838–860.

Lazou, A. K. M. (2010). Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609-16.

Maskan, M. & Altan, A. (2011). *Advances in Food Extrusion Technology*. CRC Press. New York.

Majumdar, R. K. & Singh, R. K. R. (2014). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties & sensory characteristics of fish-based expend snacks. *Journal of Food Process and Preservation*. 38, 864-879.

Milani, E., Hashemi, N., Mortazavi, S. A. & Tabatabaee, F. (2017). Effect of extrusion conditions and formulation on some physicochemical properties of extrudate snack based on almond meal (*Amygdalus communis* L.) and corn grits. *Innovative Food Technologies*, 5 (1), 123-140. [In Persian]

Omohimi, C. I., Sobukola, O. P., Sarafadeen, K. O. & Sanni, L. O. (2014). Effect of thermo-extrusion process parameters on selected quality attributes of meat analogue from mucuna bean seed flour. *Nigerian Food Journal*. 32(1), 21-30.

Onwulata, C. I., Konstance, R. P., Strange, E. D., Smith, P. W. & Holsinger, V. H. (2000). High-fiber snacks extruded from triticale and wheat formulations. *Cereal Foods World*, 45(10), 470-473.

Ozer, E. A., Ibanoglu, S., Ainsworth, P. & Cahide, Y. (2004). Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology. *European Food Research and Technology*, 218, 474-479.

Potter, R., Stojceska, V. & Plunkett, A. (2013). The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT - Food Science and Technology*, 51, 537-544.

Pankyamma, V., Basu, S., Suryaprabha Bhadrans, S., Chouksey, M. K. & Gudipati, V. (2014). Fish oil-fortified extruded snack: evaluation of physical properties & oxidative stability by response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*, 37, 349-361.

Altan, A., McCarthy, K. L. & Maskan, M. (2009). Effect of screw configuration and raw material on some properties of barley extrudates. *Journal of Food Engineering*, 92, 377–382.

AACC. (2000). *Approved methods of the American association of Cereal Chemists*. 54-21.

Anderson, R., Conway, H. & Peplinski, A. (1970). Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch*, 22 (4), 130 -135.

Alam, M. S., Pathania, S. & Sharma, A. (2016). Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*, 74, 135-144.

Bisharat, G. I., Oikonomopoulou, V. P., Panagiotou, N. M., Krokida, M. K. & Maroulis, Z. B. (2013). Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food Research International*, 53, 1–14.

De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A., & Severini, C. (2008). Study on formation of starch–lipid complexes during extrusioncooking of almond flour. *Journal of Food Engineering*, 87, 495–504.

Gonzalez, R., Torres, R. L., De Greef, D., Tosi, E. & Re, E. (2002). Effects of popping and extrusion processes on some hydration properties of amaranth. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 19(4), 391 - 395.

Ilo, S., Liu, Y. & Berghofer, E. (1999). Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT-Food Science and Technology*, 32(2), 79-88.

Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C. & Uttapap, D. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal Food Science and Technology*, 53, 561–570.

Kokini, J. L., Chang, C. N. & Lai, L. S. (1992). The role of rheological properties on extrudate expansion. In *Food extrusion science and technology*. P. 631-653. eds. J.L., Kokini, C.-T., Ho and M.V. Karwe. New York, Marcel Dekker Inc

Shahidi, F., Koochaki, A. & Baghaie, H. (2006). Evaluation of chemical composition and properties of Iranian Watermelon, Cucurbit, Cantaloupe and Muskmelon Seeds and Determination of Their seed Oil. *Agricultural Science and Technology Journal*, 20 (5), 411-421. [In Persian]

Singh, B., Sekhon, K. S. & Narpinder, S. (2007). Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chemistry*, 100, 198-202

Selani, 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.

Yagci, S. & Gogus, F. (2009). Selected physical properties of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. *International Journal of Food Properties*, 12, 405-413.

Evaluation and the Effect of Watermelon Seed Flour on the Functional Properties of Puffed Snack Regarding the Formulation and Process Conditions

E. Milani^a, F. Shahidi^{b*}, E. Ansarifard^c, M. Khalilian Movahhed^d, F. Salehipour^e,
G. A. Goli Movahhed^f

^a Associate Professor of the Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Mashhad, Iran.

^b Professor of the Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

^c Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Public Health, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.

^d PhD student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

^e M. Sc. in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

^f Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran.

Received: 8 May 2019

Accepted: 25 April 2020

9

Abstract

Introduction: The high consumption of low nutritional value snacks and malnutrition of children and teenagers are one of the major problems in society. Usually, the small seeds that are in watermelon, although they are rich in nutrients including fatty acids, essential proteins, and many minerals are not used and have been thrown away.

Materials and Methods: This study was performed on the basis of a rotating central composite design. The effects of extrusion variables including screw speed (120-180 rpm), watermelon powder (10-20%) and feed moisture content (12-20%) on the physicochemical properties (expansion ratio, oil and water absorption index, porosity, and total acceptance) of expanded snack on the basis of corn-wheat flour grits were evaluated.

Results: The results showed that watermelon flour decreased the expansion coefficient and porosity, however, the interaction effect of screw speed and watermelon flour improved the physicochemical properties of the samples. The increasing screw speed led to a decrease in the viscosity and therefore the expansion coefficient and porosity increased.

Conclusion: The optimization of snack formulation was performed to find the optimum conditions of production. The watermelon flour of 11.31%, feed moisture content of 15.56% and a screw speed of 171.15 rpm were found to be to optimum conditions.

Keywords: *Extrusion, Functional Expanded Snack, Porosity, Watermelon Seed Flour.*

* Corresponding Author: fshahidi@um.ac.ir