مقاله علمی پژوهشی/ نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی/ جلد ۳۱ شماره ۱/ سال ۱۴۰۰/ صفحات ۱۴۳ تا ۱۵۹

DOI: 10.22034/fr.2021.33253.1667

بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن با رویکرد تولید اسنک حجیم غنی‌شده حاوی آرد عناب

الناز میلانی[۱]، فخری شهیدی*[۲]، الهام انصاری فر[۳]، محمد خلیلیان موحد[۴] و فریده صالحی پور[۴]

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۲/۲٤

[۱] دانشیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

[۲] استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

[۳] استادیار علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بیرجند

[٤] دانشجوی دکتری و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

* مسئول مکاتبه: E-mail: fshahidi@um.ac.ir

چکیده

زمینه مطالعاتی: یکی از مهم‌ترین مشکلات تغذیه‌ای دنیای کنونی، سوءتغذیه ناشی از کمبود پروتئین و فیبر در رژیم غذایی است. با غنی‌سازی محصولات اکسترود شده توسط فیبر می‌توان به تولید محصولی با کالری، چربی و کلسترول کمتر دست یافت. عناب اثرات درمانی گوناگونی مانند کاهش دهندگی قند خون، خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهاب و اثرات محافظت کبدی دارد. **هدف**: هدف این پژوهش اثر افزودن آرد عناب به اسنک حجیم غنی‌شده و بهینه‌سازی شرایط تولید آن است. **روش کار**: در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر، اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل سرعت چرخش ماردون (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور بر دقیقه)، آرد عناب (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و رطوبت خوراک ورودی (۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی (انبساط، تخلخل، جذب آب و چربی) و پذیرش کلی فراورده حجیم‌شده بر پایه ذرت-گندم (۵۰-۵۰) مورد بررسی قرار گرفت. **نتایج**: نتایج نشان داد؛ افزودن آرد عناب سبب کاهش نسبت انبساط و تخلخل شد و با افزایش هم‌زمان دو پارامتر سرعت چرخش و آرد عناب به‌واسطه کاهش ویسکوزیته، خصوصیات اسنک بهبود یافته و در نتیجه نسبت انبساط و تخلخل افزایش یافت. بیشترین مقدار پذیرش کلی (۴/۳۳) مربوط به نمونه دارای کمترین مقدار آرد عناب و رطوبت و بالاترین سرعت مارپیچ بود. افزودن آرد عناب اثر منفی بر پذیرش کلی نمونه‌ها داشت. با افزودن آرد عناب، به دلیل قند بالای عناب، طی حرارت اکستروژن، فرآیند کارامل شدن انجام شده؛ تغییر رنگ قابل‌توجه ای در محصول مشاهده، بافت فراورده چسبنده و طعم و مزه سوختگی حاصل می‌گردد. شرایط بهینه تولید محصول اکسترود شده، شامل میزان رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد، میزان آرد عناب ۶/۳۰ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید. **نتیجه‌گیری نهایی**: نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب آرد عناب در فرمولاسیون انواع اسنک حجیم سلامتی را بود.

واژگان کلیدی: اسنک حجیم غنی‌شده، عناب، اکستروژن، تخلخل

مقدمه

اسنک همواره بخش قابل‌توجهی از میان وعده‌های غذایی افراد را در زندگی مدرن تشکیل می‌دهد و به دلیل طعم متنوع خود، ماندگاری بالا و هزینه‌ی نسبتاً کم، طرفداران بسیاری دارد (آلتان و همکاران ۲۰۰۹). با توجه به اینکه کودکان و نوجوانان مصرف‌کنندگان اصلی اسنک‌ها هستند، بهبود ارزش تغذیه‌ای این دسته از میان وعده‌ها به گونه‌ای که خواص تکنولوژیکی آن دستخوش تغییرات نامطلوب نشود، الزامی است. تولید اسنک‌هایی که به سلامتی کودکان و نوجوانان کمک کند ضروری است. برای این منظور می‌توان از موادی از قبیل میوه‌ها و سبزی‌ها که جنبه‌های سلامت بخشی دارند استفاده نمود (یاگسی و همکاران ۲۰۰۹). ذرت دارای میزان نشاسته و خصوصیات انبساطی بالا است و تمامی ویژگی‌های لازم برای تولید اسنک‌های اکسترود را فراهم می‌کند. تنها مشکل ذرت کمتر بودن موادی مثل فیبرهای رژیمی و مواد معدنی است (ماسکان و آیتن ۲۰۱۱). علاقه برای افزایش فیبرهای رژیمی در غذاهایی مثل اسنک از نظر سلامتی رو به افزایش است (یاگسی و همکاران ۲۰۰۹). فیبرهای رژیمی[1] (TDF) به‌صورت فیبرهای رژیمی محلول[2](SDF) و فیبرهای رژیمی نامحلول[3](IDF) می‌باشند. مصرف فیبرهای رژیمی، کلسترول خون، خطر بیماری‌های قلبی و عروقی، سرطان روده بزرگ و چاقی را کاهش می‌دهد (چائو و همکاران ۲۰۰۴). برخی از مطالعات نشان داده است که فیبرهای رژیمی جذب قند خون را به کمک کنترل سطح گلوکز پس از غذا به تأخیر می‌اندازد. فواید فیبرهای رژیمی، پژوهشگران مواد غذایی را برای یافتن منبع جدید از فیبرها به‌عنوان مواد غذایی تشویق کرده است (پانکییاما و همکاران ۲۰۱۴). به همین دلیل تلاش‌های بسیاری جهت بهبود پروفایل تغذیه‌ای نشاسته‌ی اکسترود شده به عمل آمده است که دراین‌بین، مشارکت آرد سایر غلات تأثیر مثبتی بر کیفیت پروتئین، آنتی‌اکسیدان و فیبری محصول داشته است (میلانی و همکاران ۱۳۹۶). در حال حاضر مصرف به صورت تازه خوری و در برخی موارد در قالب فراوری سنتی بوده و صنعتی نشده است. در کشور چین کاربردهای متنوعی برای عناب وجود دارد و صنعت آن تجاری شده است، بنابراین زمینه برای تولید محصولات جدید در حوزه‌های غذایی و دارویی وجود دارد. ازاین‌رو، طرح حاضر با بررسی کلیه جنبه‌های استفاده از این محصولات استراتژیک و بومی کشور، می‌تواند زمینه‌ساز راه‌اندازی شرکت‌های دانش‌بنیان باشد. در سال ۱۳۹۴ ارزش دلاری صادرات عناب معادل ۱۴۸۲۳۶۲ دلار که ارزآوری قابل‌توجهی است. نام علمی عناب *Ziziphus vulgaris* بوده که متعلق به خانواده رامناسه (*Rhamnaceae*) است. این گیاه به طور گسترده در مناطق شمال شرقی، شرق و مرکز ایران کشت می‌شود. از خواص میوه عناب می‌توان به اثرات ضد باکتریایی، آنتی‌اکسیدانی، تسکین دهندگی، ضد فشار و قند اشاره کرد (غروری و همکاران ۱۳۹۵). جنس عناب اثرات درمانی گوناگونی مانند کاهش دهندگی قند خون، خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب و اثرات محافظت کبدی دارد. محسنی و همکاران (۱۳۹۷) به‌منظور بهره‌مندی از خواص منحصربه‌فرد عناب و مالت، به بررسی فرمولاسیون نوشیدنی گازدار حاوی این دو ماده مؤثره برآمدند که فرمولاسیون بهینه شامل ۲/۹۷ میلی‌لیتر عصاره مالت، ۵/۵۰ میلی‌لیتر عصاره عناب و ۵/۰۵ گرم شکر در صد میلی‌لیتر تعیین شد.

احمدیان (۱۳۹۶) با توجه به اهمیت روزافزون تولید و استفاده از محصولات نانوایی کم کالری تأثیر جایگزینی پودر عناب با شکر و صمغ گوار در ویژگی‌های بافتی مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با افزایش درصد جایگزینی پودر عناب، پیوستگی و فنریت کیک افزایش می‌یابد.

غروری و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی اثر عصاره عناب و عناب خشک ریز شده، بر روی از خواص فیزیکوشیمیایی نان همبرگری شامل فعالیت آبی، بافت، حجم مخصوص، رطوبت مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج نشان دادند که خصوصیات فیزیکوشیمیایی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد در طی دوره نگهداری نداشت.

[1]Total Dietary Fibre
[2]Soluble Dietary Fibre
[3]Insoluble Dietary Fibre

هدف پژوهش بهینه‌سازی فرایند اکستروژن با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی اثر ویژگی‌های خوراک ورودی (نسبت پودر عناب به ذرت- گندم و مقدار رطوبت) و شرایط اکستروژن (سرعت چرخش ماردون) بر ارزیابی ماکرو ساختار (چگالی توده، نسبت انبساط، تخلخل)، ویژگی‌های عملکردی (شاخص جذب آب، شاخص حلالیت در آب، شاخص جذب روغن) و بافت سنجی (سختی) و پارامترهای حسی و رنگی محصول اسنک حجیم‌شده عناب بر پایه ذرت-گندم است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی ماده اولیه

میوه خشک‌شده عناب واریته spinose تهیه شده در باغ گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی بیرجند، به‌وسیله آسیاب آزمایشگاهی، آسیاب گردید. به‌منظور دانه‌بندی یکنواخت، آرد آسیاب شده، از الک با مش ۴۰ عبور داده شدند (فیوضی و همکاران ۱۳۹۷). برای اندازه‌گیری رطوبت (۰/۶ درصد)، خاکستر (۱/۶۸ درصد)، فیبر (۲۴ درصد)، پروتئین (۲ درصد) و چربی (۰/۸۷ درصد) آرد عناب از روش AACC استفاده گردید (AACC. 2000).

پخت اکستروژن

پخت اکستروژن توسط اکسترودر دو مارپیچ با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین انجام پذیرفت. پایه اکسترودر ترکیبی از بلغور ذرت رقم دابل کراس -گندم رقم سرداریبه نسبت ۵۰-۵۰ بود. با افزودن آب مقطر رطوبت خمیر ورودی تنظیم 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 عناب ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، سرعت ورودی خوراک ۲۴ گرم بر دقیقه، قطر دای ۴ میلی‌متر و در دمای ثابت ۱۵۰ درجه سانتی-گراد انجام شد. محدوده این متغیرها بر اساس پیش تست برای تولید محصولی که حداقل بافت را داشته باشند انجام و انتخاب شد. اسنک‌های خروجی از اکسترودر به‌منظور خشک کردن بر روی نوار نقاله خشک‌کن تونلی (سپهر ماشین، تهران، تونلی با طول ۸ متر و سرعت ۳ متر در دقیقه) با دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند و در پلاستیک‌های پلی‌اتیلنی کدگذاری شده و در دمای اتاق نگهداری گردید (فیوضی و همکاران ۱۳۹۶).

میزان انبساط

میزان انبساط از تقسیم قطر فراورده‌های حجیم‌شده به قطر دای اکسترودر تعیین گردید. از هر تیمار به صورت تصادفی ۱۰ نمونه انتخاب گردید و میانگین آن‌ها گزارش شد (گونزالز و همکاران ۲۰۰۲).

جذب آب

۰/۵ گرم از نمونه آسیاب شده در لوله فالکن ۱۵ میلی‌لیتر ریخته و ۱۰ سی‌سی آب مقطر به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ (مدل EBA20، شرکت Hettich، آلمان) به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفیوژ گردید (اندرسون و همکاران ۱۹۷۰).

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

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 فالکن ۱۵ میلی‌لیتر ریخته و ۱۰ سی‌سی روغن ذرت به آن اضافه گردید. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰×g سانتریفیوژ گردید (اندرسون و همکاران ۱۹۷۰).

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

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 دیواره-های سیاه بود انجام شد. تصاویر گرفته شده به نرم‌افزار 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 نرم‌افزار 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 Anslyze، میزان تخلخل تصاویر محاسبه گردید (لطفی شیرازی و همکاران ۱۳۹۷).

خصوصیات حسی

ارزیابی حسی (پذیرش کلی) به وسیله‌ی ۲۰ داور انجام شد. پذیرش کلی براساس مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عدد ۱ به معنای عدم پسندیدن و عدد ۵ به معنای پسندیدن کامل است.

طراحی آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری

طرح مرکب مرکزی چرخش‌پذیر شامل مجموعه‌ای از تکنیک‌های آماری بوده و در بهینه‌سازی فرایندهایی بکار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر 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، قابل برآورد هستند. مهم‌ترین مسئله این تحقیق بررسی آثار اصلی و متقابل فاکتورها بود، ازاین‌رو طرح آماری سطح پاسخ انتخاب شد. در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل A آرد عناب، 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 عملیاتی بهینه، با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی جستجو شد (سلان و برازاکا، ۲۰۱۴).

جدول ۱- سطوح افزودن متغیرهای مستقل و طرح آزمایشی

Table 1- Factors, factor levels and experimental design

Factors	Symbol	Codes and levels		
		+1	0	-1
Jujube flour level (%)	A	15	10	5
Feed moisture (%)	B	20	16	12
Screw speed (rpm)	C	180	150	120

Experimental design
(Jujube flour level/ Feed moisture/ Screw speed)

10/16/150	15	5/12/180	8	15/16/150	1
10/16/150	16	10/16/150	9	5/20/180	2
15/12/180	17	15/20/180	10	5/16/150	3
10/16/120	18	10/16/150	11	10/12/150	4
5/20/120	19	10/16/180	12	10/20/150	5
10/16/150	20	15/20/120	13	5/12/120	6
		15/12/120	14	10/16/150	7

نتایج و بحث

جدول ۲- نتایج تجزیه آنالیز واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده (نسبت انبساط، WAI، OAI)

Table 2- Variance analysis of response (expansion, WAI, OAI)

Source	Expansion (%)				WAI (gr/gr)				OAI (gr/gr)			
	Sum of Squares	df	p-value	Coefficient	Sum of Squares	df	p-value	Coefficient	Sum of Squares	df	p-value	Coefficient
A	3.02	1	0.0001	-0.549	0.95	1	0.0462	-0.0307	0.0008	1	0.6364	-0.009
B	1.46	1	0.0001	-0.381	0.005	1	0.8704	0.023	0.23	1	0.0001	-0.153
C	0.43	1	0.0001	0.206	2.14	1	0.0056	-0.463	0.012	1	0.0947	0.034
AB	6.01×10^{-4}	1	0.8113	0.008	0.18	1	0.3537	0.150	0.002	1	0.4097	-0.017
AC	0.078	1	0.0188	-0.099	4.67	1	0.0003	0.763	0.004	1	0.2957	-0.022
BC	0.056	1	0.0394	0.083	0.15	1	0.4014	0.135	0.0001	1	0.8431	-0.004
A^2	0.19	1	0.0013	0.265					0.009	1	0.1211	0.059
B^2	7.62×10^{-3}	1	0.4033	-0.052					0.022	1	0.0291	0.089
C^2	0.10	1	0.0091	-0.194					0.009	1	0.1179	-0.06
model	5.26	9	0.0001		8.09	6	0.0018		0.31	9	0.0006	
Residual	0.10	10			2.54	13			0.034	10		
Lack of fit	0.040	5	0.6709		2.01	8	0.1774		0.026	5	0.1050	
Pure error	0.060	5			0.53	5			0.007	5		
Cor total	5.36	19			10.63	19			0.34	19		
R^2	0.981				0.86				0.90			
Adj-R^2	0.964				0.75				0.81			
CV	2.66				8.26				2.90			

A: linear coefficient of Jujube flour, B: linear coefficient of moisture, C: linear coefficient of screw speed. AB: interaction of Jujube flour and moisture, AC: interaction of Jujube flour and screw speed, BC: interaction of moisture and screw speed, A^2: double coefficient of Jujube flour, B^2: double coefficient of moisture, C^2: double coefficient of screw speed.

جدول ۳- نتایج تجزیه آنالیز واریانس (ANOVA) پاسخ‌های اندازه‌گیری شده (تخلخل و پذیرش کلی)

Table 3- Variance analysis of response (porocity, Total acceptance)

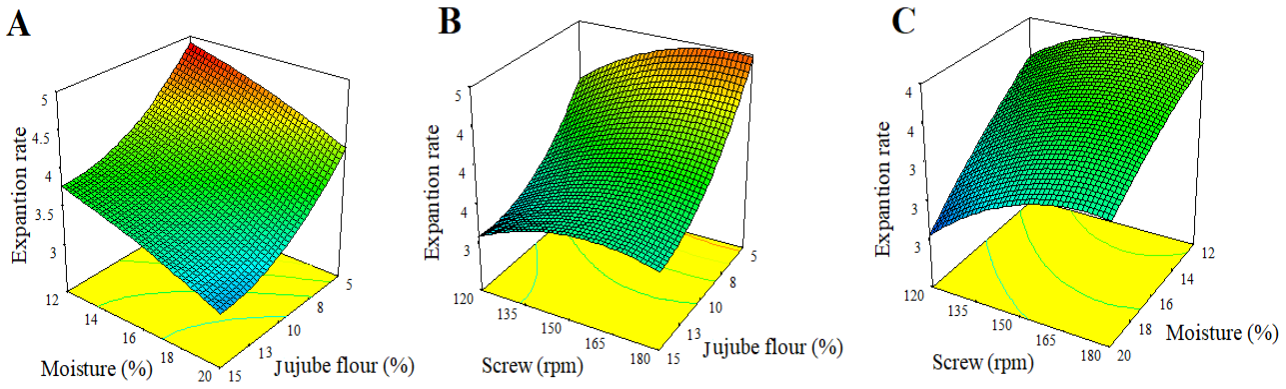
Source	Porocity (%)				Total acceptance			
	Sum of Squares	df	p-value	Coefficient	Sum of Squares	df	p-value	Coefficient
A	5.96	1	0.1698	-0.772	2.97	1	0.0001	-0.544
B	29.38	1	0.0082	1.714	6.63	1	0.0001	-0.813
C	684.20	1	0.0001	8.271	0.80	1	0.0001	0.282
AB	0.25	1	0.7661	-0.178	0.018	1	0.234	-0.048
AC	39.57	1	0.0034	-2.224	0.77	1	0.0001	-0.309
BC	17.92	1	0.0281	-1.496	0.15	1	0.0053	0.134
A^2	12.13	1	0.0610	2.099	0.002	1	0.6839	0.028
B^2	0.17	1	0.8056	-0.251	1.27	1	0.0001	-0.677
C^2	7.32	1	0.1321	1.631	0.58	1	0.0001	0.461
model	827.90	9	0.0001		12.78	9	0.0001	
Residual	27.24	10			0.12	10		
Lack of fit	11.19	5	0.6493		0.078	5	0.2228	
Pure error	16.06	5			0.038	5		
Cor total	855.14	19			12.89	19		
R^2	0.97				0.99			
Adj-R^2	0.94				0.98			
CV	3.38				3.92			

A: linear coefficient of Jujube flour, B: linear coefficient of moisture, C: linear coefficient of screw speed. AB: interaction of Jujube flour and moisture, AC: interaction of Jujube flour and screw speed, BC: interaction of moisture and screw speed, A^2: double coefficient of Jujube flour, B^2: double coefficient of moisture, C^2: double coefficient of screw speed.

نسبت انبساط

نسبت انبساط نشان دهنده‌ی میزان پف کردن ماده مذاب پخته شده پس از خروج از دستگاه اکسترودر است (آسری و همکاران ۲۰۰۴). نتایج آنالیز واریانس نشان داد (جدول ۲) که مدل چند جمله‌ای درجه دو برای نسبت انبساط از نظر آماری معنی‌دار بود علاوه بر آن اثرات خطی آرد عناب، سرعت چرخش ماردون و رطوبت و عبارت درجه دوم آرد عناب و سرعت چرخش ماردون و روابط متقابل آردعناب-سرعت چرخش ماردون و رطوبت-سرعت چرخش ماردون اثر معنی‌داری در سطح ۵ درصد بر نسبت انبساط داشتند. وجود انحنا در نمودار حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر درجه ۲ متغیرها بود. مطابق شکل ۱-الف افزایش سطوح آرد عناب و رطوبت به‌طور مستقل سبب کاهش انبساط شوندگی گردید. اثر متقابل دو فاکتور نیز حاکی از روند صعودی داشت. یکی از عواملی که بر میزان نسبت انبساط مؤثر است، درجه ژلاتینه شدن نشاسته است (پانکییاما و همکاران ۲۰۱۴). از آنجایی که با افزایش درصد آرد عناب از ۵ تا ۱۵ درصد، میزان نشاسته آرد کاسته می‌شود و بر میزان فیبر افزوده می‌گردد و فیبر امکان دسترسی آب برای ژلاتینه شدن نشاسته را محدود و در نهایت باعث کاهش میزان انبساط فراورده نهایی می‌شود (شکل ۱-الف) (آلتان و همکاران ۲۰۰۹). نتایج مشابهی توسط پوتر و همکاران (۲۰۱۳) و هیانگ و همکاران (۲۰۱۶) به ترتیب اثر پودر میوه (سیب، موز، توت فرنگی و نارنگی) بر روی محصول اکسترود شده ذرت و تفاله پرتقال بر روی محصول اکسترود شده ذرت-گندم، گزارش شده است.

با توجه به شکل (۱-الف و ج) با افزایش میزان رطوبت، میزان نسبت انبساط کاهش یافت. افزایش رطوبت سبب کاهش دمای محفظه شده، در نتیجه دمای پایین فرایند، منجر به کاهش میزان ژلاتینه شدن که در نهایت کاهش میزان انبساط را به همراه دارد (دینگ و همکاران ۲۰۰۶). چوی و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد کرد انبساط شوندگی ذرت اکسترودر شده به ویسکوزیته خمیر مذاب و الاستیسیته آن وابسته است. به‌طوری‌که افزایش رطوبت منجر به تغییر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین می‌شود و بنابراین الاستیسیته خمیر مذاب را کاهش داده و موجب کاهش نسبت انبساط شوندگی می‌گردد اما چگالی اسنک اکسترود شده را افزایش می‌دهد (آلتان و همکاران ۲۰۰۹).



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر نسبت انبساط

(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

Figure 1- Response level graph of the effect of extrusion variables on expansion ratio

A: Effect of jujube flour and moisture, B: Effect of jujube flour and screw speed, C: Effectof moisture and screw speed

با توجه به شکل (۱- ب و ج) افزایش سرعت چرخش ماردون به‌واسطه تأثیر همزمان حرارت و نیروهای برشی سبب کاهش ویسکوزیته خمیر مذاب شده ازاین‌رو رشد طولی حباب در فراورده افزایش می‌یابد. نتایج حاصل با گزارش‌های هیانگ و همکاران (۲۰۱۶) وشوئرو همکاران (۲۰۱۰) و بیشارات و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب

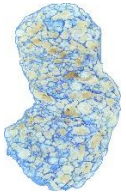
اثر تفاله پرتقال، ضایعات گوجه‌فرنگی به خصوص لیکوپن، سبزی‌ها خشک‌شده (کلم بروکلی و زیتون رنده شده) بروی نسبت انبساط اسنک ذرت مطابقت داشت؛ اما هم‌زمان با افزایش دو فاکتور سرعت چرخش و رطوبت، به دلیل تأثیر بیشتر رطوبت بر کاهش انبساط فراورده روند منحنی اثر متقابل نزولی گردید.

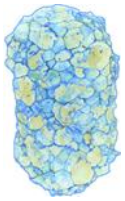
تخلخل

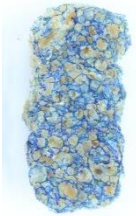
بررسی مدل‌های آماری نشان داد مدل دوجمله‌ای بیشترین سازگاری را برای آنالیز نتایج حاصل از اندازه-گیری تخلخل نمونه‌های اسنک حاوی عناب را دارند. می‌توان این‌گونه بیان کرد که ایجاد سلول‌های گازی در حین انبساط محصولات اکسترود شده باعث تشکیل خلل و فرج می‌شود که منجر به کاهش دانسیته محصول نهایی می‌گردد. نتایج (جدول ۴) نشان داد؛ عبارت‌های معنی‌دار مدل بر تخلخل محصول شامل اثر مستقل رطوبت اولیه و سرعت گردش مارپیچ، اثر متقابل آرد عناب- سرعت گردش مارپیچ و اثر متقابل رطوبت اولیه - سرعت گردش مارپیچ بود. بیشترین مقدار تخلخل (۶۲ درصد) مربوط به نمونه دارای کمترین مقدار آرد عناب و بیشترین مقدار رطوبت و سرعت مارپیچ و کمترین مقدار تخلخل (۳۷/۷ درصد) مربوط به نمونه با کمترین رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بود. با توجه به جدول (۴) افزایش رطوبت باعث افزایش میزان تخلخل شد. افزایش رطوبت به‌واسطه کاهش ویسکوزیته خمیر، امکان تشکیل هسته‌های هوایی بیشتر با قطر کوچک‌تر را به‌واسطه تجمع بخار آب بیشتر فراهم آورده و تخلخل بیشتر می‌شود (اوزر و همکاران ۲۰۰۴). نتایج مشابهی توسط سایر محققان در مورد تأثیر میزان رطوبت و افزایش رطوبت بر مقدار تخلخل گزارش شده است (پانکییاما و همکاران ۲۰۱۴؛ یاگسی و گوگس، ۲۰۰۸؛ ماجومدار و سیانگ، ۲۰۱۴). نتایج نشان داد (جدول ۴) میزان تخلخل با افزایش سرعت چرخش مارپیچ افزایش یافت. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ تنش برشی اعمال‌شده بر مواد زیاد شده باعث کاهش ویسکوزیته و حالت الاستیسیته خمیر می‌شود (گونزالز و همکاران ۲۰۰۲)؛ در نتیجه تشکیل حباب‌های هوا و رشد آن‌ها بهتر انجام می‌شود. همچنین به دلیل فشار بالای ایجاد شده در اثر سرعت‌های بالا و کاهش ناگهانی این فشار بعد از خروج خمیر از اکسترودر، تخلخل افزایش معنی‌داری داشت. نتایج پژوهش‌های ماجومدار و سیانگ (۲۰۱۴) و میلانی و همکاران (۱۳۹۶) هم نشان داد با افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش تخلخل اسنک حاوی ماهی و اسنک حاوی کنجاله بادام شد.

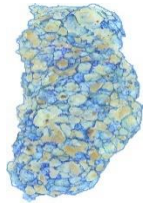
جدول ۴- تأثیر متغیرهای اکستروژن بر تخلخل و انبساط نمونه‌های اسنک اکسترود شده

Table 4 - The effect of extrusion variables on porosity and expansion of extruded snack samples

Jujube flour level/ Feed moisture/ Screw speed	Overview of snacks	cross-section of snacks	cross-section of colored snacks	Porosity	Jujube flour level/ Feed moisture/ Screw speed	Overview of snacks	cross-section of snacks	cross-section of colored snacks	Porosity
5.12.120				5.37	10.20.150				97.49
5.12.180				36.61	15.12.120				5.40
5.16.120				34.41	15.12.180				5.55

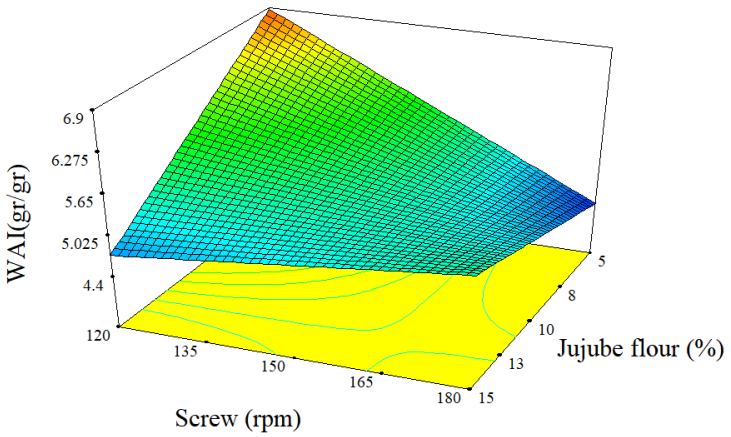
5.16.150				57.50
5.20.120				1.44
5.20.180				1.62
10.12.150				9.46
10.16.150				76.49

15.16.150				1.50
15.20.120				42.46
15.20.180				4.55

				10.16.180
		3.58		

WAI

شاخص جذب آب، حجم اشغال شده گرانول‌ها یا نشاسته‌های متورم شده را اندازه‌گیری می‌کند (سریبری و همکاران ۲۰۰۰). به بیان دیگر شاخص ژلاتینه شدن نشاسته است (سلانی و همکاران ۲۰۱۴). مطابق نتایج جدول ۲، مدل چند جمله‌ای برای شاخص جذب آب از نظر آماری معنی‌دار بود. همچنین عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل درصد آرد عناب، سرعت چرخش ماردون و روابط متقابل آرد عناب–سرعت چرخش ماردون بود ($p<۰/۰۵$). در شکل ۲ اثر متقابل آرد عناب–سرعت چرخش ماردون نشان داد؛ با افزایش مقدار آرد عناب، شاخص جذب آب کاهش یافت؛ این امر به دلیل وجود ترکیبات فیبری نامحلول، عدم دسترسی گروه‌های آب‌دوستی به مولکول‌های آب و همچنین کاهش نسبی در مقدار نشاسته ناشی از افزایش درصد جایگزینی آرد عناب است که موجب رقابت در جذب آب بین نشاسته و فیبر موجود در آرد عناب شده است. نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعه آلام و همکاران (۲۰۱۶) و بیشارات و همکاران (۲۰۱۳) به ترتیب در محصول اکسترود سویا حاوی هویج و گلم کلم و محصول اکسترود آرد ذرت حاوی کلم بروکلی و زیتون خشک مطابقت دارد. با افزایش سرعت چرخش ماردون، شاخص جذب آب کاهش یافت (شکل ۲). از آنجایی که انتظار می‌رود که هرچه زنجیره پلیمرهای نشاسته دست نخورده‌تر و گروه‌های هیدروفیل بیشتری در دسترس باشد، شاخص جذب آب بالاتر رود (سریبری و همکاران ۲۰۰۰)؛ اما با افزایش سرعت چرخش ماردون، ساختار مخلوط ورودی تغییر کرده و به زنجیره‌های پلیمری آسیب وارد می‌شود در نتیجه گروه‌های هیدروفیلی دسترسی کمتری به آب دارند از طرفی هم با افزایش سرعت ماردون، زمان ماند مخلوط در اکسترودر برای ژلاتیناسیون کاهش می‌یابد، این عوامل در نهایت باعث کاهش جذب آب در محصول اکسترودی می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق با یافته تحقیق هیانگ و همکاران (۲۰۱۶) روی محصول اکسترود شده بر پایه ذرت حاوی تفاله پرتقال مطابقت دارد که در آن با افزایش سرعت چرخش ماردون، میزان شاخص جذب آب کاهش یافت و علت آن را به افزایش میزان برش و تغییر در ساختار مولکولی مخلوط خمیری در اکسترودر و کاهش زمان تماس مواد با حرارت بالای اکسترودر اعلام نمودند.



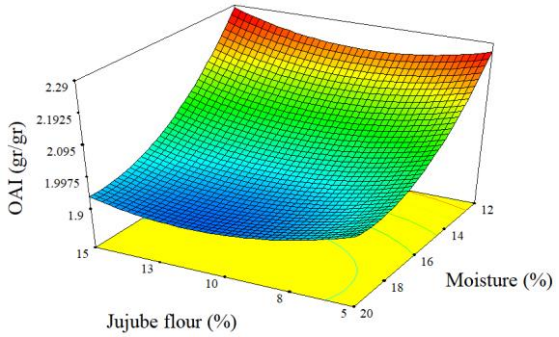
شکل ۲- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر WAI. اثر آرد عناب–سرعت چرخش ماردون

Figure 2- Surface response graph of the effect of extrusion variables on WAI: The effect of jujube flour and screw speed

OAI

به‌طورکلی شاخص جذب روغن به‌عنوان شاخص حضور گروه‌های آب‌گریز و توانایی آن‌ها در حفظ روغن در ساختار محصولات اکسترود شده مطرح است. در فرایند اکستروژن گرانول‌های نشاسته تحت تأثیر ژلاتیناسیون و تغییر توازن گروه‌های آب‌دوست و آب‌گریز قرار گرفته و تغییراتی در میزان جذب روغن آن‌ها ایجاد می‌گردد

(لازو همکاران ۲۰۱۰). در جدول ۲ مدل چند جمله‌ای درجه دوم برای شاخص جذب روغن از نظر آماری معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). پارامتر رطوبت به طور مستقل و توان دوم آن عبارت‌های معنی‌دار بودند (p<۰/۰۵). در تحقیق حاضر با افزایش درصد رطوبت خوراک از ۱۲ تا ۲۰ درصد میزان شاخص جذب روغن کاهش یافت (شکل ۳)؛ دلیل احتمالی این پدیده مربوط به اثر رطوبت بر کاهش دمای خمیر، کاهش ویسکوزیته مواد مذاب، کاهش ژلاتیناسیون و اندازه سلول‌های هوایی بود (لازو و کروکیدا، ۲۰۱۰). نتایج با مشاهده مورالز و همکاران (۲۰۱۵) و آولا و همکاران (۲۰۱۵) به ترتیب برای اکسترودی بر پایه ذرت – آرد عدس و اکسترود آرد برنج – بادام زمینی مطابقت داشت.

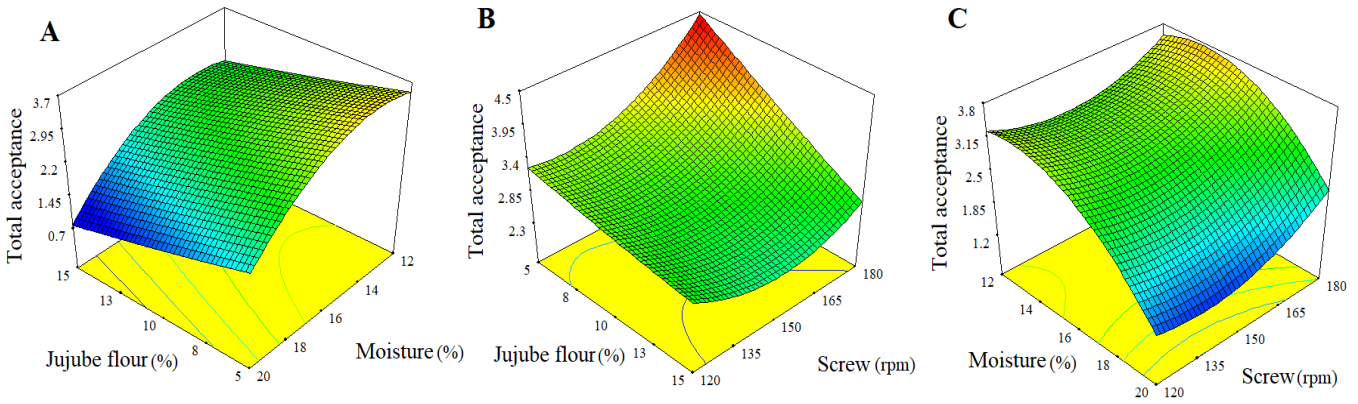


شکل ۳- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر OAI. اثر آرد عناب-رطوبت ورودی

Figure 3- Surface response graph of the effect of extrusion variables on OAI: The effect of jujube flour and moisture

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 داشت. نتایج آنالیز واریانس نشان داد (جدول ۳) اثر خطی آرد عناب، رطوبت و سرعت مارپیچ همچنین اثرات متقابل رطوبت- سرعت مارپیچ، آرد عناب- سرعت مارپیچ و همچنین رطوبت -سرعت مارپیچ معنی‌دار بود (p<۰/۰۵). بیشترین مقدار پذیرش کلی (۴/۳۳) مربوط به نمونه دارای کمترین مقدار آرد عناب، رطوبت و بالاترین سرعت مارپیچ بود. با توجه به شکل ۳ (الف و ب) افزودن آرد عناب اثر منفی بر پذیرش کلی نمونه‌ها داشت؛ زیرا با افزودن آرد عناب، تغییر رنگ قابل توجهی در محصول مشاهده می‌شود. از طرفی به خاطر قند بالا در آرد عناب بافت محصول چسبنده می‌شود و در حرارت فرآیند کاراملیزه شده و ایجاد آروما و مزه سوختگی می‌کند. لازو و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش خود نشان دادند که افزودن آرد عدس به محصول اکسترود باعث کاهش پذیرش کلی محصول گردید. پژوهشگران دیگری نیز نتایج مشابهی را در مورد افزودن بادام زمینی و سویا گزارش کردند (چائو و همکاران ۲۰۰۷). نتایج نشان داد (شکل ۴ ب و ج) پذیرش کلی نمونه‌های اسنک دارای آرد عناب با افزایش مقدار رطوبت، کاهش یافت. رطوبت باعث کاهش اثر دما بر مواد داخل اکسترودر و کاهش پخت می‌شود (لطفی شیرازی و همکاران ۱۳۹۷) لذا انبساط کاهش یافته و بافت محصول نهایی سخت‌تر می‌شود. میلانی و همکاران (۱۳۹۶)، لطفی شیرازی و همکاران (۱۳۹۷) و لازو و همکاران (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را به ترتیب در مورد افزودن آرد بادام، تفاله هویج و آرد عدس بر محصول اکسترود شده مشاهده کردند. با افزایش سرعت مارپیچ، پذیرش کلی نمونه‌های دارای آرد عناب افزایش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد افزایش سرعت ماردون باعث افزایش تخلخل و حجم محصول می‌شود لذا پذیرش کلی نمونه‌ها را افزایش می‌دهد. میلانی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود بیشترین میزان پذیرش کلی نمونه اکسترود شده دارای کنجاله بادام را در سرعت ۲۲۰ دور بر دقیقه که سرعت بیشینه بود، مشاهده کردند.



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ برای متغیرهای اکستروژن بر پذیرش کلی.

(الف) اثر آرد عناب-رطوبت ورودی (ب) اثر آرد عناب-سرعت چرخش ماردون (ج) اثر رطوبت ورودی-سرعت چرخش ماردون.

Figure 4- Response level graph of the effect of extrusion variables on total acceptance.
A: Effect of jujube flour and moisture, B: Effect of jujube flour and screw speed, C: Effectof moisture and screw speed

بهینه‌سازی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن جهت تولید اسنک غنی‌شده

در این پژوهش، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن خصوصیات کیفی اسنک غنی‌شده با آرد عناب بود. لذا بیشترین مقدار نسبت انبساط، تخلخل و پذیرش کلی و کمترین مقدار جذب آب و روغن به عنوان شرایط بهینه انتخاب گردید. نتایج حاصل از بهینه‌یابی فرمولاسیون اسنک، جهت دستیابی به شرایط بهینه، شامل میزان جایگزینی آرد عناب ۶/۳۰ درصد، رطوبت خوراک ۱۳/۱۹ درصد و سرعت چرخش ماردون ۱۲۲/۲ دور بر دقیقه تعیین گردید.

نتیجه‌گیری کلی

میان وعده‌ها بخشی از عادت غذایی بخش کثیری از جمعیت جهان می‌باشند و مصرف بالا و افزایش تنوع اسنک‌های اکسترود در سال‌های اخیر مبین نیاز به توجه در باب افزایش کیفیت تغذیه‌ای این محصولات در عین حفظ میزان پذیرش محصولات از سوی بازار مصرف است. لذا بهبود ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های حجیم می‌تواند نقشی مؤثر در وضعیت تغذیه‌ای و سلامتی جامعه ایفا نماید. نتایج پژوهش بیانگر کارایی مناسب آرد عناب در فرمولاسیون انواع اسنک حجیم سلامتی را بود. کاربرد عناب در فرمولاسیون غذایی، نوآوری منحصربه‌فردی در صنعت غذا محسوب می‌گردد؛ در پژوهش حاضر می‌توان با افزودن ۶/۵ درصد عناب، فراورده‌ای مناسب و جایگزین غلات صبحانه رایج را روانه بازار نمود.

منابع مورد استفاده

احمدیان پ، ۱۳۹۶، تأثیر افزودن صمغ گوار و پودر عناب ب خصوصیات کیک اسفنجی. سومین کنفرانس بین المللی مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی.

غروری ح، قیافه داوودی م و احمدزاده قویدل ر، ۱۳۹۵، ارزیابی تأثیر عصاره عناب به عنوان افزودنی فراسودمند بر برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نان همبرگری، اولین کنگره بین المللی و بیست و چهارمین کنگره ملی علوم و صنایع غذایی.

فیوضی ب، وریدی م ج، میلانی ا، شهیدی ف و حداد خداپرست م ح، ۱۳۹۷، بهینه‌سازی متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجاله بنه، پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۷، ۱، ۴۸-۲۹.

میلانی ا، هاشمی ن، مرتضوی ع و طباطبایی یزدی ف، ۱۳۹۶، بررسی اثر شرایط اکستروژن و فرمولاسیون بر برخی ویژگی های فیزیکو شیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام (Amygdaluscommunis L) و بلغور ذرت، فصلنامه فناوری های نوین غذایی، (۱)۵، ۱۴۰-۱۲۳.

محسنی م، رحمانی ا و سلیمانی ف، ۱۳۹۷، فرمولاسیون و تولید نوشیدنی گازدار جدید عصاره های مالت و عناب و ارزیابی ویژگی های فیزیکوشیمیایی، میکروبی و حسی آن در زمان نگهداری، اولین کنگره و نمایشگاه بین المللی علوم و تکنولوژی های نوین، بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.

لطفی شیرازی س، کوچکی آ، میلانی ا و محبی م، ۱۳۹۷، ارزیابی اثر متغیرهای ترکیب خوراک و دمای اکستروژن بر ویژگی های فیزیکوشیمیایی، حسی اسنک بر پایه آرد جو و تفاله هویج، پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران، (۵)۱۴، ۹۰۶-۸۹۱.

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

AACC C, 2000. Approved methods of the American association of cereal chemists 54-21.

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

Asare EK, Sefa-Dedeh S, Sakyi-Dawson E and Afoakwa EO, 2004. Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends. International Journal of Food Sciences and Nutrition 55: 431–439.

Alam MS, Pathania S and 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 GI, Oikonomopoulou VP, Panagiotou NM, Krokida MK and Maroulis ZB, 2013.Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. Food Research International 53: 1–14.

Chau CF, Chen CH and Lee MH, 2004. Comparison of the characteristics,functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrotinsoluble fiber-rich fractions. LWT- Food Science and Technology 37:155–160.

Choi ID, Phillips RD and Resurreccion AVA, 2007.Consumer-based optimization of a third-generation product made frompeanut and rice flour. Journal of Food Science 72: 443–449.

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

Huang, Y.L., Ma, Y.S. 2016. The effect of extrusion processing on the physiochemical properties of extruded orange pomace. Food Chemistry 192 (2016) 363–369.

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

Lazou AKM, 2010. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. Food research international 43(2):609-16.

Maskan M and Altan A, 2011.Advances in Food Extrusion Technology. CRC Press. New York.

Majumdar RK and Singh RKR, 2014.Theeffect of extrusion conditions on the physicochemical properties & sensory characteristics of fish-based expend snacks. Journal of food processing and preservation 38: 864-879.

Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Camara, R.M., Reis, F., Barros, L., Berrios, J.D.J., Ferreira, I.C.F.R., Camara, M. 2015. Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. Journal of Functional Foods 19: 537–544.

Ozer EA, Ibanoglu S, Ainsworth P and 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 and 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, SuryaprabhaBhadran S, Chouksey MK and 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.

Selani M M, Guidolin S, Brazaca C, Tadeu, C, Ratnayake, WS, Flores RA and Bianchini A, 2014. Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. Food Chemistry 163: 23–30.

Selan MM and Brazaca S, 2014.Characterisation and potential application of pineapple pomace in an extruded product for fibre enhancement. Food Chemistry 163: 23–30.

Sriburi P and Hill S E, 2000. Extrusion of cassava starch with either variations in ascorbic acid concentration or pH. International Journal of Food Science and Technology 35: 141-154.

Yagci S and Gogus F, 2009.Selected physical of expanded extrudates from the blend of hazelnut flour-durum clear flour-rice. International journal of food properties 12: 405–413.

Journal of Food Researches/vol.31 No.1, 2021/pp 143-159
https://foodresearch.tabrizu.ac.ir
DOI: 10.22034/fr.2021.33253.1667

Optimization of formulation and extrusion process parameters for production of fortified puffed snack containing jujube flour

E Milani[1], F Shahidi[2*], E Ansarifar[3], M Khalilian-Movahhed[4] and F Salehipour[4]

Received: May 5, 2019 Accepted: May 13, 2020
[1]Associate professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran
[2]Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
[3]Assistant Professor, Social Determinants of Health Research Center, Department of Public Health, School of Health, Birjand University of Medical Sciences, Birjand, Iran.
[4]PhD Student and MSc Graduate Student in Food Science of Food Science and Technology, respectively, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
[*]Corresponding author: E mail: fshahidi@um.ac.ir

Introduction: For millenniums, jujube (*Ziziphus jujuba*), has been used as food and medicine for thousands of years (Baytop, 1984). In the recent yers, jujube fruit has been used by food and pharmaceutical industry as additive and natural medicine. Studies have shown that fruits and their derivatives have protective effects against cancer, stroke, and coronary heart diseases, (Kalt et al., 1999). To date, many varieties of the fruit have been characterized for its bioactive compounds such antioxidants (Ercisli and Orhan, 2007). The fruit is rich in dietary fiber, minerals and phenolics and has floury structure as well as desirable taste (Gultekin, 2007). Dehydrated fruit, in powder form, may be used as a functional ingredient in the production of many food products such as bread, yoghurt, ice cream, infant food, chocolate, confectionery. Fiber rich whole Jujube powder, with very low allergenicity and various health benefits, can be used as a functional ingredient in food product formulations. Fruit fiber contain water soluble and insoluble fractions (Akbolat et al., 2008). Among various food processing technologies, short time high-temperature extrusion cooking is one of the commonly practiced and cost-effective processes. Extrusion combines high pressure with a moderately high-temperature and usually high shear for a short period of time. Extrusion processing completely gelatinizes the starch and partially or destroys antinutritional factors present in many legumes (Potter, 2013). Extrusion cooking technology is a versatile and efficient method of converting raw materials into finished food products. The process id used for the preparation and production of various types of snack foods, mainly from corn meal, rice, wheat flour, or potato flour in many shapes and variety of textures. Several reports show that bean starches have very good expansive and functional properties under extrusion conditions (Selan, 2014). Extrusion is a high-temperature /short time technology (HTST) that offers numerous advantages including versatility, high productivity, low operating costs, energy efficiency, high quality products, and an improvement in digestibility and biological value of proteins (Potter, 2013). The purpose of this study was to study the suitability of jujube flour incorporation into an extruded snack formulation, and to produce a nutritious snack with appropriate organoleptic and technological characteristics.
Material and methods: In this project, central composite design was used to study the effect of feed moisture (12 and 16.18%), jujube flour addition (5, 10 and15%) and screw speed (120, 150 and 180 rpm) on physicochemical properties (expansion, porosity, water, and fat absorption) and the total acceptance of extrudates based on corn-wheat flour (ratio of 1:1). The extrusion experiments were carried out on a pilot-scale, co-rotating, twin-screw food extruder typed DS56 (Jinan Saxin., China) with the following parameters: length 80 cm, diameter 16 mm, the maximum rotation speed 320 rpm,

and die diameter (D) 3 mm. Steady-state conditions were reached after 20 min. Based on preliminary experiments, barrel temperature zones profile and feed rate were kept constant at 140°C and 40kg/h, respectively. After extrusion, extruded products were oven-dried (model FD 115, Binder, Germany) with forced convection at105°C for 30 min, then cooled immediately and placed in appropriate laminated bags in room temperature for further analysis (porosity and expansion ratio, overall acceptance, color, texture of product). Ash, protein, fiber, and fat content of raw materials were measured according to standard procedures. Moisture content of prepared blends was determined by infrared moisture analyzer (Sartorius, Germany) at 105°C.

Results and discussion: Results showed that the addition of jujube flour reduced the porosity and expansion of the extrudates. Nevertheless, increasing screw speed and jujube flour simultaneously leaded to viscosity reduction and boosting expansion and porosity. Therefor caused an improvement in characteristics of snacks. The highest total acceptance score (4.33) was for the sample with lowest amount of jujube flour and moisture and the highest level of screw speed. Addition of jujube flour had a negative effect on the overall acceptance of samples. Moreover, due to the high amount of sugar, caramelization occurred during the heat extrusion resulting in darker color, sticky texture and burned taste of product. Optimum condition for puffed snack production was found to be 13.19% feed moisture content, 6.30 % jujube flour and 122.2% screw speed.

Conclusion: It is possible to enrich extruded snacks with jujube flour which is protein rich and good source of fiber. The functional and physical properties of extrudates produced from jujube flour/ corn grit using a twin-screw extruder were influenced by the raw material, screw rate, and feed moisture content. The good characteristics of extruded snack (high WAI, high OAI, high expansion and porosity, high total acceptance) were produced at lower jujube content, and high feed moisture content. It was observed that feed moisture content was the most important parameter with significant effect on the responses studied. The earlier studies have reported that the properties of dietary fiber are affected by food processing such as extrusion (Chau et al., 2004). Shear stress caused by high screw speed during extrusion cooking could significantly affect fiber solubility (decrease insoluble dietary fiber and increase soluble fiber) (Alam et al., 2016). The findings of our research demonstrated the feasibility of developing value-added products containing jujube flour by extrusion processing, but further studies are necessary to assess the sensory attributes of final product.

Keywords: Extrusion, Fortified Puffed snack, jujube, porosity