

تأثیر میزان سبوس و متغیرهای فرایند اکستروژن بر روی ویژگی‌های عملکردی پودر فوری آرد گندم

پریسا مردانی طرقي^۱، علیرضا بصیری^{۲*}، الناز میلانی^۳، غلامعلی گلی موحد^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، علوم و صنایع غذایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
۲. استادیار، گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
۳. استادیار، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد
۴. مربی، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد

(تاریخ دریافت: 94/11/26، تاریخ پذیرش: 95/3/12)

چکیده

افزایش آگاهی نسبت به نقش تغذیه در سلامت و کیفیت زندگی، نیاز روزافزون جامعه به فراورده‌هایی با آماده‌سازی ساده و سریع و همچنین گسترش تنوع‌طلبی در بین مصرف‌کننده‌ها، صنعت غذا را با چالش‌های جدیدی روبه‌رو ساخته است. فراورده‌های فوری به محصولاتی اطلاق می‌شوند که به سهولت و بدون نیاز به پخت، آماده مصرف گردند. پودرهای فوری بر پایه غلات به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای مناسب و همچنین قیمت پایین مواد اولیه، مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این تحقیق اثرات متغیرهای نسبت سبوس به آرد (10 تا 30 درصد وزنی/وزنی)، رطوبت ورودی (10 تا 16 درصد، بر پایه تر) و سرعت چرخش ماردون (130 تا 250 دور در دقیقه) بر پاسخ‌های تخلخل، دانسیته توده، ضریب انبساط و رنگ فراورده (شاخص L)، بررسی گردید. نتایج نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی، سرعت چرخش ماردون و میزان سبوس در فرمولاسیون، باعث کاهش میزان تخلخل و ضریب انبساط در فراورده می‌شوند. همچنین افزایش رطوبت ورودی و سرعت چرخش ماردون به ترتیب موجب افزایش و کاهش دانسیته توده می‌شوند. افزایش رطوبت ورودی به‌طور خطی باعث افزایش میزان L می‌گردد. افزایش سرعت چرخش ماردون تا 190 دور در دقیقه، موجب کاهش شاخص L می‌شود، در حالی که در مقادیر بالاتر شاخص L افزایش می‌یابد. شرایط بهینه فراوری در شرایط تحت بررسی با اهداف افزایش میزان تخلخل، ضریب انبساط، شاخص L و کاهش دانسیته توده، میزان سبوس 10 درصد، رطوبت ورودی 10 درصد و سرعت چرخش ماردون 130 دور در دقیقه، تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: پودر فوری، آرد گندم، سبوس، اکستروژن.

1- مقدمه

تحولات به وجود آمده در ساختار اجتماعی و به دنبال آن تغییر در عادات و رژیم‌های غذایی جوامع، صنعت غذا را با خواسته‌هایی هم‌چون سهولت استفاده در کنار ارائه فراورده‌هایی با ارزش تغذیه‌ای بالا، روبه‌رو ساخته است. افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان، باعث افزایش چشم‌گیر سهم فراورده‌های سلامت‌افزا در رژیم‌های غذایی، گردیده است [1]. در این بین، غلات به دلیل ویژگی‌های تغذیه‌ای مناسب و عملگرا بودن، جایگاه مناسبی را به خود اختصاص می‌دهند. تهیه فراورده‌های نوین از غلات، علاوه بر تامین بخشی از نیازهای غذایی، با توجه به قیمت پایین مواد اولیه، ارزش افزوده بالایی را نیز ایجاد می‌نماید. افزایش اشتغال در خارج از خانه، نیاز به فراورده‌های غذایی که به سهولت و در زمان کوتاه، آماده مصرف گردند را افزایش داده است. فراورده‌های فوری به محصولاتی اطلاق می‌شوند که به سهولت و بدون نیاز به پخت، قابل مصرف باشند. دامنه این‌گونه فراورده‌ها از مایعات تا نیمه جامدات و هم‌چنین آن دسته که پس از بازسازی به شکل خمیر با ویسکوزیته مختلف درمی‌آیند را پوشش می‌دهد. پودرهای فوری بر پایه غلات یکی از این فراورده‌ها به‌شمار می‌آیند که قابلیت پخش شدن در زمان کوتاه را داشته و برای افرادی که زمان محدودی را برای صرف غذا به‌خصوص برای صبحانه و یا برای میان وعده، در اختیار دارند، مناسب می‌باشد. چنین فراورده‌هایی برای گروه‌های سنی و شغلی مختلف (از کودکان در سنین مدرسه تا افراد در گروه‌های سنی بالا) کاربرد خواهد داشت [2]. افزایش فیبر رژیمی در فراورده‌های غذایی، از دیگر مطالبات مصرف‌کنندگان می‌باشد که باعث افزایش میزان استفاده از آرد کامل در فرمولاسیون، به دلیل محتوی بالای فیبر، ویتامین‌ها و مواد معدنی در مقایسه با آرد تصفیه شده، گردیده است. 12 تا 15 درصد از وزن دانه گندم را سبوس که دارای 40 تا 50 درصد فیبر رژیمی است، تشکیل می‌دهد. افزایش میزان فیبر در برنامه غذایی، باعث بهبود فعالیت‌های گوارشی و کاهش احتمال ابتلا به سرطان روده، دیابت و یا چاقی مفرد می‌گردد [3-5]. صنعت غذا برای تامین خواسته‌های اشاره شده به فناوری‌هایی نیاز دارد که بتواند در کنار سهولت آماده‌سازی و مصرف، فراورده‌هایی با ارزش غذایی

بالا را در اختیار بازار مصرف قرار دهد.

اکستروژن، فرایندی است پیوسته که در آن عملیات هم‌زدن، پخت و شکل‌دهی، به‌صورت هم‌زمان انجام می‌گردد. مواد خام ورودی به اکسترودر، در طول فرایند، تحت تغییرات متعددی از جمله جذب رطوبت توسط نشاسته و پروتئین، ژلاتینه شدن نشاسته، ذوب شدن چربی‌ها، واسرشتی پروتئین‌ها، غیرفعال شدن آنزیم‌ها، تخریب عوامل ضدتغذیه‌ای و افزایش حجم، قرار می‌گیرند [6-8]. متغیرهای فرایند مانند دما، سرعت چرخش ماردون و قطر روزه‌های خروجی و ویژگی‌های مواد اولیه مانند میزان رطوبت ورودی، اندازه ذرات و ترکیب شیمیایی، اثرات معنی‌داری بر سختی، انبساط، رنگ و ساختار درونی فراورده‌های تولیدی و به دنبال آن، پذیرش مصرف‌کننده دارند.

در سال 1986، سندبرگ و همکاران نشان دادند که اکستروژن غلات با فیبر بالا، موجب افزایش قابلیت هضم فیبر می‌شود [3]. نتایج تحقیق لاوتان و همکاران نیز نشان داد که افزایش دمای فرایند اکستروژن باعث افزایش ضریب انبساط سبوس گندم می‌گردد در حالی که افزایش رطوبت ورودی، کاهش ضریب انبساط و چگالی توده را به دنبال دارد [4]. وانگ و همکاران تاثیر فرایند اکستروژن بر روی ویژگی‌های فیبر خام را بررسی و نشان دادند با افزایش سرعت چرخش ماردون، میزان فیبر محلول، جذب مجدد آب و میزان تاثیر آنزیم آلفاآمیلاز بر روی نشاسته، به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد [5]. چارونوچ و همکاران به بررسی اثرات اندازه ذرات و نسبت بین دو ماده اولیه مورد استفاده (ذرت و دانه لوبیا) در فرایند اکستروژن بر روی خواص پودر فوری پرداختند و مشخص شد که اندازه ذرات به‌کار رفته فاقد اثر معنی‌دار می‌باشند در حالی که نسبت مواد اولیه به‌کار رفته، بر روی ویژگی‌های پودر نهایی شامل جذب آب، حلالیت، ویسکوزیته و بازسازی مجدد، اثرات معنی‌داری را بر جای می‌گذارد [6]. داست و همکاران به بررسی تاثیر شرایط اکستروژن بر ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت هضم سبوس گندم، سبوس جو، آرد سویا و فیبر موجود در آن‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که فرایند پخت اکستروژن باعث بهبود ویژگی‌های ظاهری سبوس گندم و سبوس جو می‌شود؛ اما این شرایط برای تمام محصولات یکسان نبوده و با توجه به نوع مواد اولیه اختلاف نشان می‌دهد [7].

شرکت صدف طلایی ایرانیان (شهر تهران) تهیه گردید. سبوس توسط آسیاب برقی (شرکت IKA، مدل A11، کشور آلمان) خرد شد. آرد و سبوس خردشده با عبور از الک با مش 120 (125 میکرون) دانه‌بندی گردیدند. ویژگی‌های آرد و سبوس مورد استفاده در آزمایشات شامل رطوبت (AACC، Method 44-15A)، خاکستر کل (AACC، Method 08-01)، فیبر پروتئین (AACC، Method 46-08، N x 6.25)، فیبر (AACC، Method 32-10) و چربی (AOAC، Method 963.15) با استفاده از حلال هگزان، سنجیده شد و اختلاط آرد و سبوس و در ادامه افزودن آب به مخلوط، با توجه به سطوح تحت بررسی انجام گردید [12-13].

2-2- اکستروژن

فرایند اکستروژن در اکسترودر دو ماردون (مدل DS56-III شرکت Machinery Jinan Saixin، کشور چین) دارای سه ناحیه حرارتی با قابلیت کنترل دمای مستقل انجام گردید. دماهای مورد استفاده در نواحی حرارتی اول، دوم و سوم به ترتیب 50، 130 و 145 درجه سانتی‌گراد بود. مواد خروجی توسط کاردک‌هایی با سرعت چرخش 550 دور در دقیقه، برش داده شدند. خوراک‌دهی دستگاه 10 کیلوگرم در ساعت بود و قطر روزنه خروجی، 3 میلی‌متر بود. پس از دستیابی به شرایط پایداری حدود 800 گرم از خروجی، جمع‌آوری و در خشک‌کن با جابه‌جایی هوا (شرکت Binder، کشور آلمان) در دمای 120 درجه سانتی‌گراد و سرعت هوای 1 متر بر ثانیه تا رسیدن به رطوبت نهایی 2-3 درصد، خشک و توسط آسیاب برقی (شرکت IKA، مدل A11، کشور آلمان) خرد شده و با عبور از الک با مش 18 (1000 میکرون) دانه‌بندی گردید. نمونه‌های پودر به‌دست آمده در پوشش‌های پلاستیکی و در دمای 4 درجه سانتی‌گراد تا انجام سنجش‌ها، نگهداری شدند.

2-3- آزمایش‌ها فیزیکی و شیمیایی پودر نهایی

2-3-1- دانسیته توده و دانسیته جامد

برای اندازه‌گیری دانسیته توده، 50 گرم از نمونه در استوانه شیشه‌ای مدرج 250 میلی‌لیتری ریخته و حجم آن اندازه‌گیری شد. برای تعیین دانسیته جامد به استوانه مدرج به مدت دو

پاتانیا و همکاران تأثیر رطوبت ورودی، دمای پخت و سرعت چرخش ماردون در تولید پودر فوری بر پایه غلات، به‌عنوان غذای کمکی برای کودکان بر روی دانسیته، جذب آب، میزان حلالیت، انرژی مکانیکی و ضریب انبساط را بررسی و نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش جذب آب و میزان حلالیت می‌شود. انرژی مکانیکی با افزایش رطوبت ورودی و دمای فرایند، کاهش می‌یابد. شرایط بهینه برای تولید پودر فوری در شرایط تحت بررسی، دمای 140 درجه سانتی‌گراد و سرعت چرخش ماردون 521 دور در دقیقه و رطوبت ورودی 14/8 درصد به‌دست آمد [9]. گاجولا اثرات افزودن سبوس گندم در مقادیر 10، 20 و 30 درصد در فرمولاسیون تورتیلا در فرایند اکستروژن را بررسی و نشان داد که در فرایند اکستروژن، میزان فیبر محلول سبوس افزایش، درحالی‌که میزان کل فیبر خام کاهش می‌یابد [8]. Sobota و همکاران به بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر روی پایداری، حلالیت و ساختار شیمیایی اسنک تهیه شده از آرد گندم و ذرت پرداختند. نتایج آزمایش نشان دادند که در فرایند اکستروژن میزان فیبر کل و فیبر نامحلول کاهش و فیبر محلول و حلالیت به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد [10]. فریرا و همکاران به بررسی اثرات میزان رطوبت ورودی، 16/3 تا 29/7 درصد، دمای زون حرارتی دوم و سوم، 104/8 تا 155/2 درجه سانتی‌گراد و میزان افزودن سبوس، 0-24/6 درصد، در فرایند تهیه اسنک از آرد ذرت پرداخته و نشان دادند که افزایش دما باعث کاهش سختی اسنک و افزایش شاخص رنگی L و افزایش رطوبت و میزان سبوس به‌کار رفته در ترکیب باعث افزایش سختی اسنک می‌شود. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثرات متغیرهای نسبت سبوس به آرد، 10 تا 30 درصد وزنی/ وزنی، رطوبت ورودی (10 تا 16 درصد، بر پایه تر) و سرعت چرخش ماردون، 130 تا 250 دور در دقیقه، بر روی پاسخ‌های تخلخل، دانسیته توده، ضریب انبساط و رنگ پودر فوری بر پایه آرد گندم و تعیین شرایط بهینه با اهداف افزایش میزان تخلخل، ضریب انبساط، شاخص L و کاهش دانسیته توده، می‌باشد [11].

2- مواد و روش‌ها

2-1- آماده‌سازی

آرد نول (با درجه استخراج 72 درصد) و سبوس گندم از

دقیقه ضربه زده تا خلل و فرج لابه‌لای ذرات از بین رفته و سپس حجم آن، اندازه‌گیری شد و مقادیر آنان طبق رابطه (1) محاسبه شد [14].

(1)

ماردون بر روی ویژگی‌های تحت بررسی شامل تخلخل، دانسیته توده، ضریب انبساط و رنگ فرآورده و بهینه‌سازی با استفاده از نرم افزار Design Expert (نسخه 6.0.2، شرکت Stat-Ease Inc، آمریکا) به کار برده شد. تعداد آزمایشات 28 شامل شش تکرار در نقطه مرکزی بود.

= دانسیته توده / دانسیته جامد

حجم اشغال شده به وسیله این جرم / جرم نمونه

3- نتایج و بحث

3-1- ویژگی‌های آرد و سبوس گندم

ویژگی‌های آرد و سبوس گندم مورد استفاده تعیین و نتایج در جدول (2) آورده شد.

2-3-2- تخلخل

میزان تخلخل نمونه‌ها (g/ml) مطابق رابطه (2) به دست آمد [14].

(2)

3-2- ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر میزان تخلخل

نتایج تجزیه واریانس میزان تخلخل مطابق با جدول (3) نشان می‌دهد که مدل برازش شده سطح پاسخ میزان تخلخل (رابطه 4) از لحاظ آماری ($p < 0/01$) معنی‌دار است. جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون عدم برازش استفاده شد. معنی‌دار نبودن آزمون عدم برازش (جدول 3)، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل برای داده‌های مورد بررسی، می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده (جدول 4) به ترتیب 0/86 و 0/79، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده‌ها است.

(دانسیته جامد- دانسیته توده) - 1 = تخلخل

3-3-2- ضریب انبساط

برای تعیین ضریب انبساط در هر یک از شرایط تحت بررسی، به طور تصادفی 10 عدد از اسنک‌ها برداشته شده و قطر آن‌ها با کولیس (شرکت Mitutoyo، مدل CD-6CSX، ژاپن) اندازه‌گیری سپس بین اعداد به دست آمده میانگین گرفته شد. ضریب انبساط طبق رابطه (3) به دست آمد [6].

(3)

قطر روزنه خروجی / میانگین قطر اسنک‌ها = ضریب انبساط

4-3-2- آزمون رنگ‌سنجی

آزمون رنگ‌سنجی با استفاده از رنگ‌سنج هانترلب (شرکت هانترلب، مدل D25/DP9000، آمریکا) انجام شد. این آزمون برای هر نمونه در 4 تکرار انجام و میانگین تکرارها، مبنای محاسبات قرار گرفت. قبل از انجام آزمون، دستگاه با کاشی‌های سفید و سیاه کالیبره و از کاشی زرد جهت کنترل دستگاه استفاده شد. رنگ‌سنجی بر اساس سیستم CIELAB و سنجش شاخص L، که نشان‌دهنده روشنی می‌باشد، انجام گردید [15].

=تخلخل

$$0.19 - 0.94A - 0.015C - 0.015D + 2.53A^2 - 1.6A^3$$

همان‌طور که در شکل (1) مشاهده می‌شود با افزایش رطوبت ورودی، میزان تخلخل به صورت خطی کاهش می‌یابد. هم‌چنین افزایش سرعت چرخش ماردون باعث کاهش میزان تخلخل می‌شود. افزایش رطوبت ورودی منجر به تغییر ساختار مولکولی آمیلوپکتین می‌شود که منجر به کاهش الاستیسیته خمیر مذاب و به دنبال آن کاهش میزان تخلخل می‌گردد. افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش دمای خمیر می‌شود، زیرا سایش بین خمیر و ماردون کاهش یافته و اثر منفی بر روی ژلاتینه شدن نشاسته داشته و تخلخل و ضریب انبساط را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر کاهش میزان پروتئین، منجر به

4-2- روش آماری

طرح مرکب مرکزی (جدول 1) برای بررسی اثرات متغیرهای مستقل رطوبت ورودی، نسبت سبوس به آرد و سرعت چرخش

جدول (1) متغیرهای مستقل و مقادیر آنها

متغیرهای مستقل		کد و سطح مربوطه	
		0	-1
		25	10
		13	10
		190	130
	نسبت سبوس به آرد (%)	30	
	رطوبت اولیه (%)	16	
	سرعت چرخش ماردون (rpm)	250	

جدول (2) ترکیبات تشکیل‌دهنده آرد و سبوس گندم مورد استفاده (درصد بر پایه تر)

ترکیب	آرد گندم	سبوس گندم
رطوبت	12/3	11/9
خاکستر کل	0/35	5/22
پروتئین	9/2	14/7
فیبر	0/9	34/7
چربی	1/3	3/8

جدول (3) نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها

شاخص L	میزان تخلخل	ضریب انبساط	دانسیتته توده	
0/0001**	0/0053**	0/0001**	0/0001**	مدل
0/0493*	0/0004**	0/0001**	0/0002**	درصد سبوس (A)
0/0001**	0/0726 ^{ns}	0/1061 ^{ns}	0/0001**	رطوبت (C)
0/8378 ^{ns}	0/0690 ^{ns}	0/1220 ^{ns}	0/0033**	سرعت چرخش ماردون (D)
0/2730 ^{ns}	0/7128 ^{ns}	0/3607 ^{ns}	0/3762 ^{ns}	عدم برازش

** معنی‌دار در سطح 99٪، * معنی‌دار در سطح 95٪ و ns عدم معنی‌داری

جدول (4) نتایج برازش مدل‌ها

R ² _{adjusted}	R ²	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	پاسخ
0/79	0/86	1/11	0/036	0/18	میزان تخلخل
0/87	0/88	10/62	0/37	3/46	دانسیتته توده
0/87	0/90	4/67	0/2	4/2	ضریب انبساط

سرعت چرخش ماردون به‌طور معنی‌داری باعث کاهش دانسیته توده می‌شود. افزایش میزان سبوس سبب افزایش دانسیته توده می‌شود؛ زیرا فیبر تاثیر مهمی بر روی ساختار و بافت محصولات دارد و مانع انبساط آن‌ها می‌شود و مانند محافظی در برابر انبساط مواد نشاسته‌ای عمل می‌کند [6]. بر طبق نظریه سین و همکاران رابطه بین ضریب انبساط و دانسیته توده، رابطه‌ای معکوس است [18]. افزایش رطوبت ورودی باعث کاهش الاستیسیته خمیر، انرژی مکانیکی، ژلاتیناسیون، ضریب انبساط و تخلخل و در نتیجه افزایش دانسیته می‌شود. افزایش سرعت چرخش ماردون باعث کاهش دانسیته توده می‌شود که این امر به دلیل شکسته شدن ماکرومولکول‌ها و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های کوچک می‌شود [16، 19].

3-3- ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر میزان ضریب انبساط

نتایج تجزیه واریانس ضریب انبساط مطابق جدول (3) نشان می‌دهد که مدل برازش شده سطح پاسخ ضریب انبساط (رابطه 6) از لحاظ آماری ($p < 0/01$) معنی‌دار است. جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون عدم برازش استفاده شد. معنی‌دار نبودن آزمون عدم برازش (جدول 3)، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل برای داده‌های مورد بررسی، می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده (جدول 4) به ترتیب 0/90 و 0/87، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده‌ها است.

(6)

$$\text{ضریب انبساط} = 0.478 - 1.19a + 0.11c - 0.1D - 6.614E - 003AC + 0.18AD + 0.29CD - 0.22AC$$

همان‌طور که در شکل (3) مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت چرخش ماردون، ضریب انبساط به‌طور خطی کاهش می‌یابد. همچنین افزایش رطوبت ورودی و میزان سبوس باعث کاهش ضریب انبساط می‌شود. اما اثر شاخص مربوط به رطوبت ورودی می‌باشد. بیش‌ترین ضریب انبساط مربوط به کم‌ترین رطوبت است. تاثیر عمده رطوبت بر ضریب انبساط به دلیل ویژگی‌های

افزایش ضریب انبساط می‌گردد. به نظر می‌رسد، افزایش ضریب انبساط به‌واسطه کاهش رطوبت ناشی از ویسکوزیته بالا در اثر کاهش آب، قابل توجیه باشد. افزایش رطوبت ورودی منجر به کاهش ضریب انبساط می‌شود که به علت چروکیدگی و متلاشی شدن (فروپاشی) ماده اکستروود شده پس از حداکثر افزایش حجم ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر است [16].

تاثیر سرعت چرخش ماردون بر تخلخل می‌تواند مربوط به توانایی آن در کنترل تنش برشی اعمال شده بر گدازه در حال اکستروود باشد. اعمال بیش از حد تنش برشی باعث تجزیه شدید نشاسته و در نتیجه کاهش توانایی آن در متورم و ژلاتینه‌شدن گردد. مرکز نشاسته، یکی از مکان‌های اولیه تشکیل هسته جهت آغاز شکل‌گیری حباب‌های هوا است. در صورتی که نشاسته آسیب ببیند، دیگر قادر به جذب آب نیست و در نتیجه توانایی آن جهت حمل بخار و آغاز هسته‌سازی، که عامل ایجادکننده ساختار متخلخل اسنک است، کاهش می‌یابد [17].

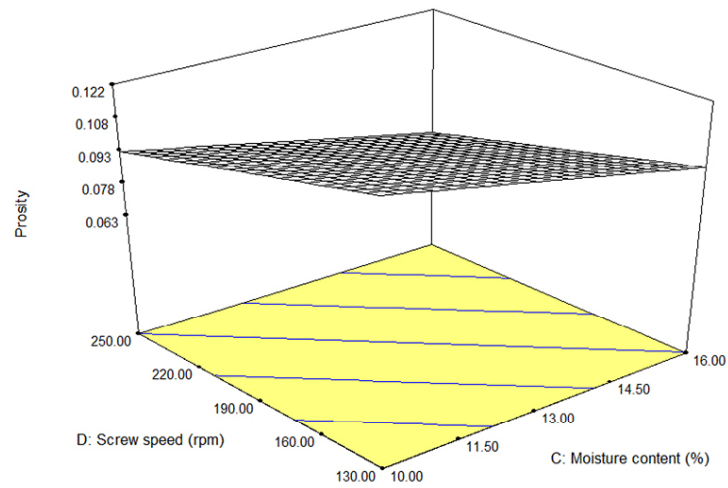
3-2- ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر میزان دانسیته توده

نتایج تجزیه واریانس دانسیته توده مطابق جدول (3) نشان می‌دهد که مدل برازش شده سطح پاسخ دانسیته توده (رابطه 5) از لحاظ آماری ($p < 0/01$) معنی‌دار است. جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون عدم برازش استفاده شد. معنی‌دار نبودن آزمون عدم برازش (جدول 3)، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل برای داده‌های مورد بررسی، می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده (جدول 4) به ترتیب 0/88 و 0/87، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده‌ها است.

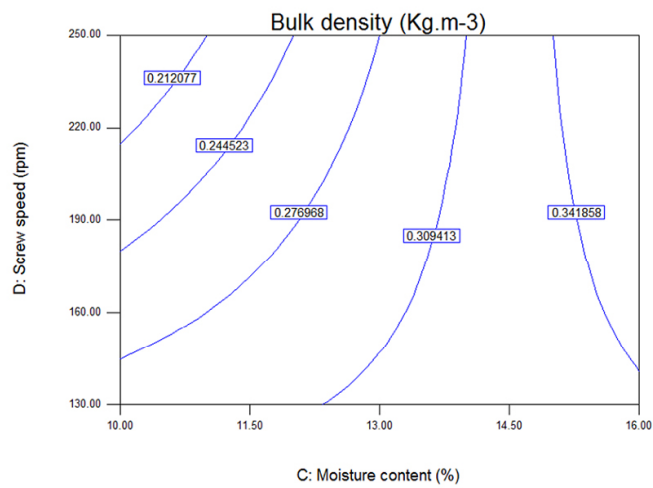
(5)

$$\text{دانسیته توده} = 3.64 - 0.32A - 0.94C + 0.47D + 0.027AC - 0.075AD - 0.51CD + 0.15ACD$$

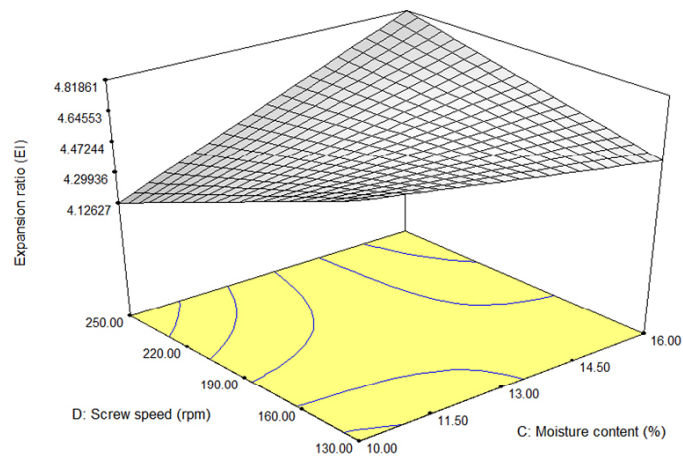
همان‌طور که در شکل (2) نشان داده شده است افزایش رطوبت ورودی باعث افزایش دانسیته توده می‌شود و افزایش



شکل (1) تأثیر رطوبت ورودی و سرعت چرخش ماردون بر روی میزان تخلخل



شکل (2) تأثیر سرعت چرخش ماردون و رطوبت ورودی بر روی دانسیته توده



شکل (3) تأثیر رطوبت ورودی و سرعت چرخش ماردون بر ضریب انبساط

3-4- ارزیابی متغیرهای تحت بررسی بر شاخص L

نتایج تجزیه واریانس شاخص L مطابق جدول (3) نشان می‌دهد که مدل برازش شده سطح پاسخ شاخص L (رابطه 7) از لحاظ آماری ($p < 0/01$) معنی‌دار است. جهت بررسی صحت مدل از ضریب تبیین (R^2) و آزمون عدم برازش استفاده شد. معنی‌دار نبودن آزمون عدم برازش (جدول 3)، نشان‌دهنده برازش مناسب مدل برای داده‌های مورد بررسی، می‌باشد. از سوی دیگر مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده (جدول 4) به ترتیب 0/91 و 0/86، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده‌ها است.

(7)

= شاخص L (روشنایی)

$$64.82 - 2.11A + 1.58C - 0.051D + 0.42C^2 + 1.46D^2 - 1.46AC - 0.25AD - 1.25AC^2 - 0.53AD^2 + 0.66ACD$$

همان‌طور که در شکل (4) نشان داده شده است میزان L با افزایش رطوبت ورودی به‌طور خطی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش سرعت چرخش ماردون تا 190 rpm شاخص L، کاهش و در سرعت‌های بالاتر، افزایش نشان می‌دهد. افزایش رطوبت ورودی و افزایش میزان سبوس در محدوده 10 تا 15 درصد باعث افزایش شاخص L و روشن‌تر شدن رنگ نمونه می‌شود. گزنوس و همکاران در تحقیقی که روی اسنک‌های تهیه شده از آرد برنج، انجام دادند نشان دادند که با افزایش میزان سبوس، شاخص L کاهش و رنگ محصول تیره‌تر می‌شود [26]. فریرا و همکاران کم‌ترین میزان شاخص L را در مقادیر میانی سبوس گزارش کردند [11].

رنگ یکی از مهم‌ترین فاکتورهای کیفی است که به‌طور مستقیم با پذیرش فراورده‌های اکستروود شده نزد مصرف‌کننده در ارتباط بوده و به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی اثرات فرایند بر میزان تغییرات شیمیایی مواد غذایی استفاده شود. شاخص L در نسبت‌های آرد و سبوس تحت بررسی، در محدوده 61/73-69، قرار داشت. نتایج نشان می‌دهد افزایش سرعت چرخش ماردون موجب افزایش شاخص L محصول می‌شود، البته سرعت چرخش ماردون اثرات متفاوتی در طول پخت اکستروژن برجای می‌گذارد که اثر مثبت آن بر روی تنش برشی و اثر منفی آن بر روی زمان اقامت است. افزایش

الاستیسیته مواد است. رطوبت بالا باعث کاهش الاستیسیته و افزایش خاصیت پلاستیکی توده مذاب می‌شود و در نتیجه باعث کاهش انرژی مکانیکی مخصوص و میزان ژلاتیناسیون می‌شود [11].

در نمونه‌هایی با میزان سبوس کم، ضریب انبساط بیش‌ترین مقدار است. بر طبق نظریه ریاض ذرات سبوس باعث از هم‌گسیختگی دیواره‌های سلولی مواد اکستروود شده می‌شود و در نتیجه ضریب انبساط کاهش می‌یابد [20]. چنگ و همکاران در تولید نوعی اسنک با استفاده از غله‌ای به نام Jatoba (غنی از فیبر) و نشاسته کاساوا (تاپیوکا) مشاهده کردند که میزان ضریب انبساط با افزایش میزان فیبر طبق یک رابطه خطی کاهش می‌یابد. کم‌ترین میزان ضریب انبساط در دماهایی بیش از 140 درجه سانتی‌گراد و میزان سبوس بالاتر از 20 درصد مشاهده شده است. ضریب انبساط با کاهش رطوبت افزایش می‌یابد و با افزایش دما و سرعت چرخش ماردون، افزایش می‌یابد [21]. استوجسکا و همکاران نشان دادند که افزایش رطوبت منجر به کاهش درجه ژلاتیناسیون و به دنبال آن کاهش ضریب انبساط می‌شود. همچنین کاهش میزان پروتئین، باعث افزایش ضریب انبساط می‌شود. افزایش ضریب انبساط با کاهش رطوبت احتمالاً به دلیل افزایش ویسکوزیته در اثر کاهش آب، صورت می‌گیرد [22]. پادمانابان و همکاران بیان کردند دو عامل موثر بر افزایش حجم فراورده‌های اکستروود شده شامل نیروی‌های الاستیک و همچنین نیروی رشد حباب به دلیل افزایش فشار بخار آب، می‌باشد [23].

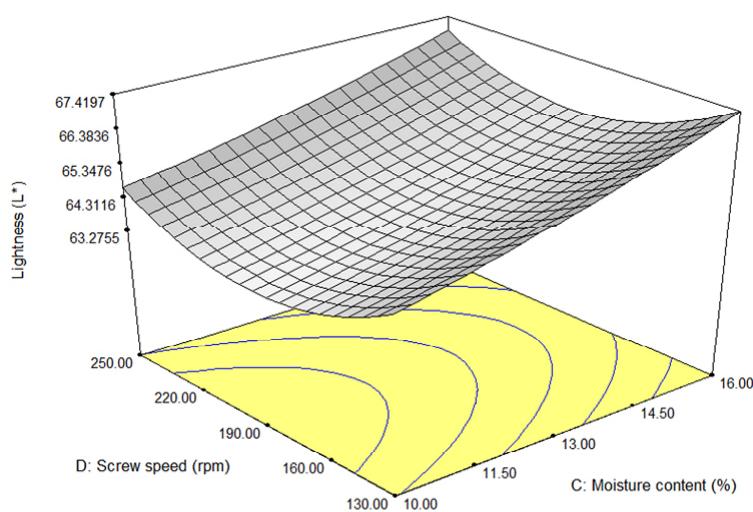
ایلو و همکاران گزارش کردند که افزایش رطوبت ورودی بر میزان انبساط فراورده اثر منفی دارد دلیل این امر، متلاشی شدن ماتریس سلولی، تحت فشار بخار بالا می‌باشد [24]. مسکیتا و همکاران نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی منجر به کاهش ضریب انبساط می‌شود و دلیل آن را متلاشی شدن ساختار ماده اکستروود شده ناشی از ویسکوزیته بیش از حد پایین خمیر مذاب است. در رطوبت‌های بالای ورودی، فراورده‌های اکستروود شده پس از سرد شدن، سختی بافت بیش‌تری نسبت به نمونه‌هایی با رطوبت ورودی پایین‌تر، نشان می‌دهند [15]. نتایج مشابهی توسط گوپتا و همکاران و دینگ و همکاران گزارش گردیدند [19، 25].

سرعت چرخش ماردون موجب افزایش تنش برشی در نقطه پخت با دمای بالا می‌شود و منجر به تغییرات رنگ در نمونه، به علت اثر بر روی واکنش‌های قهوه‌ای شدن، می‌گردد. همچنین تنش برشی ممکن است باعث تخریب پیگمان‌های کارتنوئید در پخت اکستروژن گردد و افزایش سرعت چرخش ماردون نیز موجب کاهش زمان اقامت و کاهش تغییرات رنگ می‌شود. افزایش فیبر باعث کاهش پیگمنت‌های قرمز و زرد می‌شود که به دلیل پیگمنت‌های موجود در سبوس است، که قرمزی و زردی کم‌تری دارد [27-28].

4- نتیجه‌گیری

ارزیابی اثرات متغیرهای فرایند پخت اکستروژن روی ویژگی‌های عملکردی پودر فوری بر پایه آرد گندم، نشان داد

که افزایش رطوبت ورودی، سرعت چرخش ماردون و میزان سبوس در فرمولاسیون، باعث کاهش میزان تخلخل و ضریب انبساط در فراورده می‌شوند. همچنین افزایش رطوبت ورودی و سرعت چرخش ماردون به ترتیب موجب افزایش و کاهش دانسیته توده می‌شود. یافته‌های حاصل از رنگ‌سنجی نشان دادند که افزایش رطوبت ورودی به‌طور خطی باعث افزایش میزان L می‌گردد. افزایش سرعت چرخش ماردون تا 190 دور در دقیقه، موجب کاهش شاخص L می‌شود، در حالی که در مقادیر بالاتر، شاخص L افزایش می‌یابد. شرایط بهینه فراوری در شرایط تحت بررسی با اهداف افزایش میزان تخلخل، ضریب انبساط، شاخص L و کاهش دانسیته توده، میزان سبوس 10 درصد، رطوبت ورودی 10 درصد و سرعت چرخش ماردون 130 دور در دقیقه، تعیین گردید.



شکل (4) تأثیر همزمان سرعت چرخش ماردون و رطوبت ورودی بر روی شاخص L

منابع

- [10] Sobota, A., Sykut-Domanska, E., Rzedzicki, Z. (2010). Effect of extrusion-cooking process on the chemical composition of corn-wheat extrudates, with particular emphasis on dietary fiber fractions. *Pol. J. Food Nut. Sci.*, 60(3), 251-259.
- [11] Ferreira, R.E., Chang, Y.K., Steel, C. J. (2012). Influence of wheat bran addition and of thermoplastic extrusion process parameters on physical properties of corn-based expanded extruded snacks. *Aliment. Nut. Araraq.*, 22(4), 507-520.
- [12] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). In: Official Methods of Analysis. Eighteenth ed. AOAC International, Gaithers-burg, Maryland, USA.
- [13] AACC, Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. (2000).
- [14] Akpauimam, M., A., Markakis, P. (1981). Physicochemical and nutritional aspects of cowpea flour. *J. Food Sci.*, 46(3), 972-973.
- [15] Mesquita, C.B., Leonel, M., Mishan, M.M. (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Sci. Tech.*, 33(3), 404-410.
- [16] Barrett, A.H., Peleg, M. (1992). Extrudate Cell Structure-Texture Relationships. *J. Food Sci.*, 57(5), 1253-1257.
- [17] O'Shea, N., Arendt E., Gallagher, E. (2014). State of the Art in Gluten-Free Research. *J. Food Sci.*, 79(6), 1067-1076.
- [18] Singh, N., Smith, A.C. (1997). A comparison of wheat starch, whole-wheat meal and oat flour in the extrusion process. *J. Food Eng.*, 34, 15-32.
- [19] 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
- [1] Abdul-Hamid, A., Luan, Y.S. (2000). Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran. *Food Chem.*, 68(1), 15-19.
- [2] Arcila, N., Mendoza, Y., Carabobo-Venezuela, Municipio B., E. (2006). Elaboration of an Instant Beverage Amaranth Seeds (*Amaranthus cruentus*) and its potential use in the human diet. *Rev. Agron.*, 23(1).
- [3] Sandberg, A.S., Andersson, H., Kivistö, B., Sandström, B. (1986). Extrusion cooking of a high-fibre cereal product. *Br. J. Nutr.*, 55(02), 245-254.
- [4] Lawton, J.W., Davis, A.B., Behnke, K.C. (1985). High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction. *Cereal Chem.*, 62, 267-271.
- [5] Wang, W.M., Klopfenstein, C.F., Ponte Jr, J.G. (1993). Baking Quality of the Wheat Bran. *Cereal Chem.*, 70(6), 707-711.
- [6] Charunuch, C., Boonyasirikool, P., Tiengpook, C. (2003). Using of Extrusion Process for Preparation of Instant Cereal Beverage Powders based on Corn and Soybean. *Kasetsart J. Nat. Sci.*, 37, 72-83.
- [7] Dust, J.M., Gajda, A. M., Flickinger, E. A., Burkhalter, T. M., Merchen, N.R., Fahey, G.C. (2004). Extrusion conditions affect chemical composition and in vitro digestion of select food ingredients. *J. Agric. Food Chem.*, 52(10), 2989-2996.
- [8] Gajula, H. (2007). Fiber-enriched wheat flour pre-cooked using extrusion processing: rheological, nutritional and sensory properties. MSc. Thesis. Kansas State University.
- [9] Pathania, S., Singh, B., Sharma, S., Sharma, A., Singla, S. (2013). Optimization of extrusion processing conditions for preparation of an instant grain base for use in weaning food. *Int. J. Eng. Res.*, 3(3), 1040-1049.

- the apparent viscosity and the properties of extrudates in twin-screw extrusion cooking of maize grits. *LWT-Food Sci. Tech.*, 29(7), 593-598.
- [25] Gupta, M., Bawa, A.S., Semwal, A.D. (2008). Effect of barley flour on development of rice-based extruded snacks. *Cereal Chem.*, 85(2), 115-122.
- [26] Grenus, K.M., Hsieh, F., Huff, H.E. (1993). Extrusion and extrudate properties of rice flour. *J. Food Eng.*, 18(3), 229-245.
- [27] Yuliani, S., Torley, P. J., D'Arcy, B., Nicholson, T., Bhandari, B. (2006). Extrusion of mixtures of starch and d-limonene encapsulated with β -cyclodextrin: Flavour retention and physical properties. *Food Res. Int.*, 39(3), 318-331.
- [28] Friedman, M. (1996). Food browning and its prevention: an overview. *J. Agric. Food Chem.*, 44(3), 631-653.
- [14] Akpapuimam, M., A., Markakis, P. (1981). Physicochemical and nutritional aspects of cowpea flour. *J. Food Sci.*, 46(3), 972-973.
- [15] Mesquita, C.B., Leonel, M., Mishan, M.M. (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Sci. Tech.*, 33(3), 404-410.
- [16] Barrett, A.H., Peleg, M. (1992). Extrudate Cell Structure-Texture Relationships. *J. Food Sci.*, 57(5), 1253-1257.
- [17] O'Shea, N., Arendt E., Gallagher, E. (2014). State of the Art in Gluten-Free Research. *J. Food Sci.*, 79(6), 1067-1076.
- [18] Singh, N., Smith, A.C. (1997). A comparison of wheat starch, whole-wheat meal and oat flour in the extrusion process. *J. Food Eng.*, 34, 15-32.
- [19] 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. *J. Food Eng.*, 73(2), 142-148.
- [20] Riaz, M.N. (2002). Extruders in food applications. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 225 p.
- [21] Chang, Y.K. Silva, M.R. Gutkoski, L.C. Sebio, L. Da Silva, M. (1998). Development of extruded snacks using Jatoba (*Hymenaea stigonocarpa* Mart) flour and cassava starch blends. *J. Sci. Food Agric.*, 78(1), 59 - 66.
- [22] Stojceska V., Ainsworth P., Plunkett A., Ibanoglu E., Ibanoglu, S. (2008). Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *J. Food Eng.*, 87, 554-563.
- [23] Padmanabhan A., Bhattacharya, M. (1989). Analysis of Pressure Drop in Extruder Dies. *J. Food Sci.*, 54(3), 709-713.
- [24] Ilo, S., Tomschik, U., Berghofer, E., Mundigler, N. (1996). The effect of extrusion operating conditions on