

تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر خصوصیات عملکردی و تغذیه‌ای سبوس گندم

الناز میلانی^a، غلامعلی گلی موحد^{b*}، مرتضی جعفری^c

^a استادیار گروه پژوهشی فرآوری غذایی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

^b مربی گروه پژوهشی فرآوری غذایی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۹

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۶

چکیده

مقدمه: سبوس گندم به‌عنوان منبع غنی از فیبر رژیمی، پروتئین (۱۴/۶ درصد)، مواد معدنی (۷ درصد)، اسید چرب غیراشباع (اسید اولئیک، لینولئیک و لینولئیک) (۱۷ درصد) و انواع ویتامین‌ها شناخته می‌شود اما سبوس گندم دارای ویژگی‌های حسی نامطلوب نظیر طعم تلخ یا احساس دهانی شنی است. از طرف دیگر، غلظت برخی مواد نامطلوب سبوس گندم نظیر اسید فیتیک بالا می‌باشد. هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر رطوبت خوراک ورودی و شرایط اکستروژن شامل دما و سرعت ماریپیج اکسترودر بر ویژگی‌های عملکردی، شیمیایی و تغذیه‌ای سبوس گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها: به‌منظور اصلاح خصوصیات تغذیه‌ای و تکنولوژیکی سبوس گندم، تأثیر رطوبت خوراک ورودی به اکسترودر (۱۸، ۲۱ و ۲۵ درصد) و شرایط اکستروژن شامل دما (۱۲۰، ۱۶۰ و ۲۰۰ °C) و دور ماریپیج (۱۷۰ rpm، ۲۳۵ و ۳۰۰) بر خصوصیات عملکردی (اندیس جذب آب، اندیس جذب حلالیت در آب و اندیس جذب روغن)، شیمیایی (فیبر محلول و نامحلول) و تغذیه‌ای (اسید فیتیک) سبوس گندم فراوری شده مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاکی از آن بود بیشترین مقدار شاخص جذب آب و همچنین کمترین مقدار شاخص حلالیت در آب در رطوبت خوراک ورودی ۲۵ درصد، دمای ۱۲۰ °C و دور ماریپیج ۱۷۰ rpm به دست آمد. همچنین بیشترین مقدار شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب روغن در رطوبت خوراک ورودی ۱۸ درصد، دمای ۲۰۰ °C و دور ماریپیج ۳۰۰ rpm مشاهده شد. بیشترین میزان کاهش اسید فیتیک در رطوبت خوراک ورودی ۲۱ درصد، دمای ۱۲۰ °C و دور ماریپیج ۳۰۰ دور بر دقیقه مشاهده شد (۳/۰۹ mg/100g).

نتیجه‌گیری: بررسی‌ها نشان داد فرایند اکستروژن سبب کاهش فیبر نامحلول به میزان ۶ درصد و افزایش فیبر محلول به میزان ۵۵ درصد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اسید فیتیک، اکستروژن، اندیس جذب آب، سبوس گندم، فیبر محلول

مقدمه

مصرف منظم فراورده‌های غذایی تهیه‌شده از آرد دانه کامل منجر به کاهش بیماری‌های مزمن از جمله بیماری‌های قلبی - عروقی، دیابت و سرطان می‌شود. از این رو تمایل به مصرف فیبرهای رژیمی در فراورده‌های غذایی افزایش یافته است. ۱۲-۱۵ درصد وزن دانه گندم را سبوس تشکیل می‌دهد. از طرفی، سبوس حاوی ۴۰-۵۰ درصد فیبر رژیمی است که مصرف آن بر سلامت دستگاه گوارش، تنظیم فلور طبیعی روده، کنترل فشارخون، جلوگیری از برخی انواع سرطان‌ها (سرطان روده بزرگ)، دیابت و چاقی مفرط نقش داشته و همچنین سبب پیشگیری از بیماری‌های قلبی می‌گردد (Nugent, 2005; Sandberg et al., 1986; Lawton et al., 1985). فیبر موجود در مواد غذایی شامل فیبر محلول و نامحلول است که هر دو برای تأمین رژیم غذایی سالم ضروری می‌باشند (Wang & Rosell, 2002). در واقع، سبوس گندم به‌عنوان منبع غنی از فیبر رژیمی، پروتئین (۱۴/۶ درصد)، مواد معدنی (۷ درصد)، اسید چرب غیراشباع (اسید اولئیک، لینولئیک و لینولنیک) (۱۷ درصد) و انواع ویتامین‌ها شناخته می‌شود (Lai et al., 1989).

به‌رغم ویژگی‌های مطلوب، سبوس گندم دارای ویژگی‌های حسی نامطلوب نظیر طعم تلخ یا احساس دهانی شنی بوده و غلظت برخی مواد نامطلوب نظیر اسید فیتیک در آن بالا است. این ترکیب در سلول‌های آلرون دانه گندم وجود دارد و بالغ بر ۷۰ درصد از مجموع فسفر گندم را تشکیل می‌دهد. این ماده دارای خاصیت قوی ترکیب با کاتیون‌های دو و چند ظرفیتی نظیر کلسیم، آهن، روی، منیزیم، کروم و مس بوده و باعث اختلال در جذب و دسترسی بیولوژیک به این عناصر در بدن انسان می‌شود. بنابراین محصولات غنی از فیبر گندم، علیرغم تأمین بخش عمده کالری، پروتئین، ویتامین‌ها، املاح و سایر عوامل مهم تغذیه‌ای، در ایجاد سوءتغذیه‌های ناشی از کمبود عناصر ضروری نقش زیادی دارند (Schlemmer et al., 2009; Persson et al., 1998; Wu et al., 2009). میزان اسید فیتیک موجود در سبوس در رقم‌های مختلف گندم و روش‌های اندازه‌گیری مختلف بین ۲۵ تا ۴۷ میلی‌گرم در گرم گزارش شده است (Schlemmer et al., 2009; Wu et al., 2009). اما با استفاده از فرایندهای شیمیایی و

فیزیکی مانند فرایندهای اسیدی و بازی یا فرایندهای جایگزین مانند خشک‌کردن، بخار مرطوب، فراصوت، ماکروویو، اُهمیک و پخت اکستروژن می‌توان فاکتورهای ضد تغذیه‌ای را حذف و سبوس را به یک منبع غذایی مناسب تبدیل نمود (ElMaki et al., 2007; Coda et al., 2014).

اکستروژن یک فرایند دمای بالا-زمان کوتاه است که در آن مواد تحت اثر ترکیبی از رطوبت، فشار، دما و برش مکانیکی قرار می‌گیرند. این فرایند دارای مزایایی مانند کاهش محتوای میکروبی، غیرفعال کردن برخی از آنزیم‌ها و فاکتورهای ضد تغذیه (کاهش فیتات در سبوس) و اصلاح ویژگی‌های حسی است (Gómez et al., 2011). خواص عملکردی مانند جذب آب، حلالیت در آب، چگالی توده، به‌طور قابل‌توجهی پس از پایداری با اکستروژن بهبود می‌یابد (Sharma et al., 2004). فرایند اکستروژن سبب برخی از تغییرات شیمیایی شامل ژلاتینه شدن مولکول نشاسته، اتصالات عرضی بین پروتئین، تولید عطر و طعم (Gómez et al., 2011) و افزایش فیبرهای محلول در سبوس می‌شود (Gualberto et al., 1997).

طبق تحقیقات Rashid و همکاران (2015) پخت اکستروژن اثر مثبت بر حلالیت، فیبر کل و فیبر محلول دارد. بدین ترتیب بالاترین مقدار فیبر کل و محلول و شاخص حلالیت در آب تحت شرایط رطوبت ۲۳٪، سرعت ماریچ ۴۰۰ دور در دقیقه و دمای ۱۳۰ °C به دست آمد. Wang و همکاران (1993) در بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر روی ویژگی‌های فیبر خام، نشان دادند با افزایش سرعت چرخش ماریچ، میزان فیبر محلول، جذب آب و میزان تأثیر آنزیم آلفاآمیلاز بر روی نشاسته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. Dust و همکاران (2004) نیز به بررسی تأثیر شرایط اکستروژن بر ویژگی‌های شیمیایی و قابلیت هضم سبوس گندم، سبوس جو، آرد سویا و فیبر موجود در آن‌ها پرداختند. نتایج بیانگر آن بود که فرایند اکستروژن باعث بهبود ویژگی‌های ظاهری سبوس گندم و سبوس جو شد. همچنین، Sobota و همکاران (2010) به بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر پایداری، حلالیت و ساختار شیمیایی اسنک تهیه‌شده از آرد گندم و ذرت پرداختند. نتایج نشان داد که در اثر فرایند اکستروژن میزان فیبر کل و فیبر نامحلول کاهش ولیکن فیبر محلول و حلالیت به‌طور

- روش‌ها

- بررسی خصوصیات عملکردی سبوس گندم اکستروود شده

- بررسی میزان جذب آب (WAI^2) و حلالیت در آب (WSI^3)

۲/۵ گرم نمونه در ۲۵ میلی‌لیتر آب در یک لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری پخش شده و اجازه داده شد تا مخلوط به مدت ۱۵ دقیقه در دمای $25^{\circ}C$ بماند، سپس نمونه با ۳۲۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شده و مقدار آب نگه‌داشته شده توسط مواد جامد اندازه‌گیری شد (Sharma et al., 2004).

در ادامه، مایع رویی^۴ برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول در آن در پلیت‌های از قبل توزین شده ریخته شد. سپس نمونه‌ها در آن دمای $105^{\circ}C$ تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفتند (Hagenimana et al., 2006).

$$WAI = \frac{M}{M_s} * 100 \quad (\text{معادله ۱})$$

WAI - شاخص جذب آب M_g - وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم M_s - وزن نمونه برحسب گرم

$$WSI = \frac{M}{M_s} * 100 \quad (\text{معادله ۲})$$

WSI - شاخص حلالیت در آب M_{ds} - وزن ماده خشک حاصل از آن گذاری مایع رویی پس از سانتریفیوژ برحسب گرم M_s - وزن نمونه برحسب گرم

- بررسی میزان جذب روغن

۲/۵ گرم نمونه در ۲۵ میلی‌لیتر روغن ذرت تصفیه شده در یک لوله سانتریفیوژ ۵۰ میلی‌لیتری پخش شد. مخلوط به مدت ۱ دقیقه با ورتکس هم زده و ۳۰ دقیقه به حال خود گذاشته شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۳۲۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید و در نهایت توسط رابطه زیر اندیس جذب روغن اندازه‌گیری شد (Lazou & Krokida, 2011).

معنی‌داری افزایش یافت. لذا یافته‌های اخیر بیانگر سودمندی فرایند اکستروژن در تغییر مفید ارزش سبوس گندم است. از این رو هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر رطوبت خوراک ورودی و شرایط اکستروژن شامل دما و سرعت مارپیچ اکسترودر بر ویژگی‌های عملکردی، شیمیایی و تغذیه‌ای سبوس گندم می‌باشد.

مواد و روش‌ها

- تهیه مواد اولیه

اندازه‌گیری رطوبت، پروتئین، خاکستر، چربی سبوس گندم (شرکت میثم مشهد) و آب مقطر (جدول ۱) به روش AACC, 2000 انجام شد (AACC, 2000).

جدول ۱- ویژگی‌های سبوس گندم

سبوس گندم	ترکیب
$12/21 \pm 0/14$	رطوبت (%)
$16/89 \pm 0/34$	پروتئین (%)
$7/49 \pm 0/22$	خاکستر (%)
$3/19 \pm 0/11$	چربی (%)

- انجام فرایند اکستروژن و تولید نمونه‌ها

سبوس گندم با رطوبت تنظیم‌شده توسط اکسترودر دو ماردونه با چرخش هم‌جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین مستقر در پایلوت تحقیقات نیمه‌صنعتی اکستروژن غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی فرآوری گردید. در این پژوهش اثر متغیرهای دما ($120^{\circ}C$ ، $160^{\circ}C$ و $200^{\circ}C$)، سرعت ماردون (170 ، 235 و 300 دور بر دقیقه) و میزان رطوبت خوراک (18 ، 21 و 25%) بر خصوصیات سبوس فرآوری‌شده مورد بررسی قرار گرفت. میزان سرعت خوراک‌دهی 40 کیلوگرم بر ساعت و قطر منفذ قالب^۱ 4 میلی‌متر تعیین گردید. محصولات اکستروود شده به‌منظور ثبات رطوبتی، بلافاصله پس از تولید به مدت ۲ ساعت در آن هوای گرم با دمای $35^{\circ}C$ قرار داده شد، و درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ضخیم قرار گرفته و دربندی شدند. نمونه‌ها تا انجام آزمایش‌های تکمیلی دور از نور و در دمای اتاق نگهداری شدند (Lazou & Krokida, 2011).

¹ Die² Water Absorption Index³ Water Solubility Index⁴ Supernatant

تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر خصوصیات سبوس گندم

مقدار فیبرهای محلول و نامحلول از نمونه‌های خشک و چربی‌گیری شده تعیین شد. برای این منظور از روش Proskey و همکاران (1985) استفاده شد. بعد از استخراج ترکیبات محلول توسط آب سرد و گرم، به مدت ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ (۹۵۰۰rpm) انجام شد. محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ به‌منظور ته‌نشین شدن ترکیبات محلول در اتانول ۸۰٪ به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده شد و سپس فیلتر شد. نمونه‌ها به مدت یک‌شب در زیر هود قرار گرفته، فریز درایر شده، در کیسه‌های پلاستیکی در فریزر نگهداری شدند. تعیین فیبرهای محلول و نامحلول بر اساس روش شناسایی کیت انجام شد. در این روش تیمار آنزیمی به‌وسیله آنزیم‌های آلفا-آمیلاز، پروتاز و آمیلوگلوکوزیداز و به‌منظور حذف نشاسته و پروتئین از نمونه انجام می‌شود.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل نتایج در چارچوب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی (۳^۳) با دو تکرار و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۹۵٪ با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد و همچنین آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 22 انجام شد.

یافته‌ها

خصوصیات عملکردی سبوس گندم

شاخص جذب آب

شاخص جذب آب برای سبوس معمولی ۱/۳۹g/g بود درحالی‌که این شاخص برای سبوس اکستروژن شده در بازه ۲/۳۴-۴/۷۹ بود. بیشترین مقدار شاخص جذب آب در رطوبت خوراک ورودی ۲۵٪، دمای ۱۲۰°C و دور مارپیچ ۱۷۰rpm مشاهده شد. همچنین کمترین مقدار شاخص جذب آب در رطوبت خوراک ورودی ۱۸٪، دمای ۲۰۰°C و دور مارپیچ ۳۰۰rpm حاصل شد. نتایج حاکی از آن بود شاخص جذب آب سبوس گندم اکستروژن شده با افزایش دمای اکستروژن کاهش و با افزایش رطوبت خوراک ورودی افزایش یافت.

$$OAI = \frac{M_g}{M_s} \quad (\text{معادله ۳})$$

OAI = شاخص جذب روغن M_g = وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم M_s = وزن نمونه برحسب گرم

بررسی خصوصیات شیمیایی و تغذیه‌ای سبوس گندم اکستروژن شده

اندازه‌گیری میزان اسید فیتیک

اندازه‌گیری میزان اسید فیتیک بر اساس روش García و همکاران (1999) و Karami & Safiari (2018) صورت پذیرفت. بدین گونه ابتدا نمونه‌های سبوس خشک شده و بعد از آسیاب کردن از الک ۰/۶ میلی‌متر رد شد. ۵ گرم نمونه آسیاب شده را در ۴۰ میلی‌لیتر محلول تهیه‌شده (۱۰ گرم سولفات سدیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر اسیدکلریدریک با غلظت ۰/۴ مول در لیتر) حل کرده و سه ساعت در دمای اتاق قرار داده شد تا استخراج صورت گیرد. محلول به مدت ۳۰ دقیقه و در ۵۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. محلول رویی برداشته و با کمک کاغذ صافی فیلتر گردید. ۱۰ میلی‌لیتر از محلول صاف‌شده را با ۱۰ میلی‌لیتر از هرکدام از محلول‌های اسیدسولفوسالیسیلیک ۲۰g/۱۰۰g، کلرید آهن III با غلظت ۰/۰۲ مول بر لیتر و اسیدکلریدریک ۰/۴ مول بر لیتر در ارلن مایر ریخته و درب ظرف را بسته و به آرامی تکان داده شد. محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در حمام آب جوش قرار داده‌شده و سپس سرد شد. این محلول مجدداً در سانتریفیوژ ۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده شد. محلول رویی جداشده و فاز جامد چند بار با کمی آب مقطر شسته شده و داخل محلول رویی ریخته شده و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. ۲۰ میلی‌لیتر از محلول فوق را برداشته با گلیسین در pH=۲±۰/۵ تنظیم نموده و به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. محلول تا دمای ۸۵°C گرم شده و پس از ۵ دقیقه با EDTA با غلظت ۵۰ میلی‌مول بر لیتر تیتر گردید و در پایان نسبت اتمی ۴/۶ برای آهن به فسفر به‌منظور محاسبه اسید فیتیک بکار رفت.

تعیین میزان فیبر محلول و نامحلول سبوس گندم

جدول ۲- تأثیر شرایط مختلف اکستروژن بر ویژگی‌های عملکردی سبوس گندم

تیمارها	WAI (g/g)	WSI (%)	OAI (g/g)
X ₁ Y ₁ Z ₁	۳/۴۹±۰/۱۳ ^{de}	۱۵/۲۳±۰/۱۸ ^f	۴/۴۸±۰/۲ ^e
X ₁ Y ₁ Z ₂	۳/۰۹±۰/۰۷ ^e	۱۵/۸۲±۰/۱۳ ^e	۵/۰۲±۰/۱۳ ^d
X ₁ Y ₁ Z ₃	۲/۸۶±۰/۱۳ ^f	۱۶/۰۶±۰/۱۷ ^e	۵/۴۳±۰/۰۹ ^c
X ₁ Y ₂ Z ₁	۳/۲۰±۰/۱۷ ^e	۱۵/۷۹±۰/۱۳ ^e	۴/۸۹±۰/۲۳ ^d
X ₁ Y ₂ Z ₂	۲/۹۸±۰/۱۸ ^f	۱۶/۳۱±۰/۱۳ ^d	۵/۲۴±۰/۳ ^c
X ₁ Y ₂ Z ₃	۲/۷۹±۰/۱۶ ^f	۱۶/۹۳±۰/۱۱ ^c	۵/۷۶±۰/۲۱ ^b
X ₁ Y ₃ Z ₁	۲/۷۷±۰/۱۶ ^f	۱۶/۴۲±۰/۱۷ ^d	۵/۳۳±۰/۱۳ ^c
X ₁ Y ₃ Z ₂	۲/۶۰±۰/۰۹ ^f	۱۶/۸۵±۰/۰۸ ^c	۵/۸۶±۰/۱۸ ^b
X ₁ Y ₃ Z ₃	۲/۳۴±۰/۱۱ ^e	۱۷/۹۱±۰/۱۹ ^a	۶/۰۷±۰/۱۶ ^b
Y ₁ Z ₁ X	۳/۹۸±۰/۱۳ ^c	۱۵/۰۹±۰/۱۸ ^f	۳/۹۲±۰/۲۳ ^f
Y ₁ Z ₂ X	۳/۷۴±۰/۱۷ ^{cd}	۱۵/۸۲±۰/۱۳ ^e	۴/۰۷±۰/۲۳ ^f
Y ₁ Z ₃ X	۳/۴۱±۰/۱۳ ^e	۱۶/۴۲±۰/۱۷ ^d	۴/۷۹±۰/۱۱ ^d
Y ₂ Z ₁ X	۳/۸۹±۰/۰۷ ^c	۱۵/۹۷±۰/۱۳ ^e	۴±۰/۲ ^f
Y ₂ Z ₂ X	۳/۵۷±۰/۰۸ ^d	۱۶/۲۴±۰/۲ ^d	۴/۳۶±۰/۱۵ ^e
Y ₂ Z ₃ X	۳/۳۹±۰/۱۶ ^e	۱۶/۹۳±۰/۱۸ ^c	۵/۱۷±۰/۱۷ ^c
Y ₃ Z ₁ X	۳/۶۴±۰/۲۱ ^d	۱۶/۷۶±۰/۰۹ ^c	۴/۱۲±۰/۲۳ ^f
Y ₃ Z ₂ X	۳/۳۲±۰/۱ ^e	۱۷/۰۶±۰/۱۳ ^c	۴/۸۸±۰/۲۵ ^d
Y ₃ Z ₃ X	۳/۱۷±۰/۱۵ ^e	۱۷/۴۳±۰/۱ ^b	۵/۳۶±۰/۱۶ ^c
Y ₁ Z ₁ X	۴/۷۹±۰/۱۳ ^a	۱۳/۱۷±۰/۱۶ ^h	۲/۶۵±۰/۱۳ ⁱ
Y ₁ Z ₂ X	۴/۳۶±۰/۱ ^b	۱۴/۱۲±۰/۱۳ ^g	۳/۰۲±۰/۱۳ ^h
Y ₁ Z ₃ X	۴/۳۱±۰/۲۲ ^b	۱۴/۸۵±۰/۱۷ ^f	۳/۷۹±۰/۱۸ ^a
Y ₂ Z ₁ X	۴/۴۸±۰/۲ ^b	۱۴/۱۱±۰/۱۳ ^g	۳/۱۲±۰/۱۹ ^h
Y ₂ Z ₂ X	۴/۴۲±۰/۰۸ ^b	۱۴/۶۲±۰/۲ ^g	۳/۶۱±۰/۱۳ ^g
Y ₂ Z ₃ X	۴/۳۷±۰/۱۶ ^b	۱۵/۰۸±۰/۲۳ ^f	۴/۰۸±۰/۱۸ ^f
Y ₃ Z ₁ X	۴/۴۴±۰/۱۷ ^b	۱۴/۳۷±۰/۱۷ ^g	۳/۶۹±۰/۱۳ ^g
Y ₃ Z ₂ X	۴/۳۹±۰/۱۸ ^b	۱۵/۰۴±۰/۱۲ ^f	۴/۱۰±۰/۰۹ ^f
Y ₃ Z ₃ X	۴/۳۹±۰/۰۸ ^b	۱۵/۶۳±۰/۲ ^c	۴/۵۷±۰/۰۹ ^e
شاهد	۱/۳۹±۰/۱۹ ^g	۱۳/۴۹±۰/۲۳ ^h	۷/۴۹±۰/۱۷ ^a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵٪ است. X₁: رطوبت ۱۸٪، X₂: رطوبت ۲۱٪، X₃: رطوبت ۲۵٪؛ Y₁: دمای ۱۲۰°C، Y₂: دمای ۱۶۰°C، Y₃: دمای ۲۰۰°C؛ Z₁: دور ماریچ ۱۷۰ rpm، Z₂: دور ماریچ ۲۳۵ rpm، Z₃: دور ماریچ ۳۰۰ rpm.

شاخص حلالیت در آب

بیشترین مقدار شاخص حلالیت در آب (۱۷/۹۱٪) در رطوبت خوراک ورودی ۱۸٪، دمای ۲۰۰°C و دور ماریچ ۳۰۰ rpm به دست آمد. این در حالی است که کمترین مقدار شاخص حلالیت در آب (۱۳/۱۷٪) در رطوبت خوراک ورودی ۲۵٪، دمای ۱۲۰°C و دور ماریچ ۱۷۰ rpm حاصل شد (جدول ۲).

با افزایش سرعت چرخش ماریچ میزان شاخص حلالیت در آب افزایش یافت. میزان شاخص حلالیت در آب در رطوبت خوراک ورودی ۲۵٪، دمای ۱۲۰°C و دور ماریچ ۱۷۰ rpm کمتر از سبوس معمولی بود (۱۳/۴۹٪). دلیل

این امر می‌تواند پخت ناکافی و سخت شدن ساختار سبوس باشد. همچنین مشخص شد با افزایش دمای اکستروژن شاخص حلالیت در آب افزایش و با افزایش رطوبت خوراک ورودی به اکستروژن این شاخص کاهش یافت.

شاخص جذب روغن

نتایج نشان داد تغییرات شاخص جذب روغن برای سبوس اکستروژن شده در بازه ۶/۰۷g/g - ۲/۶۵ و برای سبوس معمولی ۷/۴۹g/g بوده و روندی مشابه شاخص حلالیت در آب داشت. بدین گونه که با افزایش دما و سرعت ماریچ و کاهش محتوای رطوبتی خوراک ورودی

تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن بر خصوصیات سبوس گندم

که فقط دور ماریچ ۳۰۰rpm تأثیر معنی‌داری بر کاهش اسید فیتیک داشت ($p < 0.05$). در بین دماهای مورد بررسی، دمای 120°C بیشترین تأثیر را بر کاهش اسید فیتیک داشت. همچنین افزایش رطوبت خوراک ورودی تا ۲۱ درصد سبب کاهش میزان اسید فیتیک سبوس اکستروژن شده شد. به‌طور کلی بیشترین میزان کاهش اسید فیتیک در رطوبت خوراک ورودی ۲۱٪، دمای 120°C و دور ماریچ ۳۰۰ دور بر دقیقه مشاهده شد (جدول ۳)؛ به‌گونه‌ای که در این شرایط میزان اسید فیتیک حدود ۵۶٪ کاهش یافت.

به اکستروژن شاخص جذب روغن افزایش یافت. از این رو بیشترین شاخص جذب روغن در رطوبت خوراک ورودی ۱۸٪، دمای 200°C و دور ماریچ ۳۰۰rpm به دست آمد (جدول ۲).

- خصوصیات شیمیایی سبوس گندم اکستروژن شده
 - بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر میزان اسید فیتیک سبوس گندم
- نتایج نشان داد فرایند اکستروژن سبب کاهش مقدار اسید فیتیک سبوس شد. بررسی سرعت ماریچ نشان داد

جدول ۳- تأثیر شرایط مختلف اکستروژن بر ویژگی‌های تغذیه‌ای سبوس گندم

تیمارها	اسید فیتیک (mg/100g)	فیبر محلول (%)	فیبر نامحلول (%)
X ₁ Y ₁ Z ₁	۵/۹۳±۰/۲۳ ^{cd}	۴/۴۸±۰/۱۱ ^{bc}	۴۸/۳۸±۰/۴ ^c
X ₁ Y ₁ Z ₂	۵/۸۲±۰/۱۶ ^{cd}	۴/۵۲±۰/۱۶ ^{bc}	۴۸/۲۲±۰/۱۳ ^c
X ₁ Y ₁ Z ₃	۵/۴۸±۰/۱۲ ^e	۴/۱۲±۰/۱۳ ^d	۴۸/۳۹±۰/۰۶ ^c
X ₁ Y ₂ Z ₁	۵/۸۹±۰/۱۶ ^{cd}	۴/۰۴±۰/۰۴ ^d	۴۸/۲۱±۰/۴ ^a
X ₁ Y ₂ Z ₂	۵/۷۴±۰/۱۲ ^d	۴/۶۴±۰/۰۷ ^{bc}	۴۷/۷۴±۰/۱۲ ^{de}
X ₁ Y ₂ Z ₃	۵/۹۶±۰/۱۸ ^d	۴/۳۹±۰/۲ ^c	۴۷/۹۶±۰/۰۶ ^d
X ₁ Y ₃ Z ₁	۵/۹۲±۰/۰۶ ^d	۴/۵۲±۰/۳ ^{bc}	۴۸/۳۷±۰/۴ ^c
X ₁ Y ₃ Z ₂	۵/۸۶±۰/۱۷ ^d	۴/۹۳±۰/۲۸ ^a	۴۷±۰/۱۳ ^f
X ₁ Y ₃ Z ₃	۴/۹۸±۰/۱۳ ^f	۴/۸۶±۰/۱۹ ^a	۴۷/۱۳±۰/۰۶ ^f
X _۲ Y ₁ Z ₁	۴/۹۲±۰/۰۹ ^f	۳/۸۸±۰/۰۳ ^e	۴۸/۹۲±۰/۳ ^b
X _۲ Y ₁ Z ₂	۴/۸۷±۰/۱۳ ^f	۴/۱۷±۰/۱۳ ^d	۴۸/۸۸±۰/۱۳ ^{bc}
X _۲ Y ₁ Z ₃	۳/۰۹±۰/۱۹ ^h	۴/۱۸±۰/۱۶ ^d	۴۸/۷۹±۰/۰۶ ^{bc}
X _۲ Y ₂ Z ₁	۵/۵±۰/۱۳ ^c	۴/۰۲±۰/۲۳ ^{de}	۴۸/۰۵±۰/۴ ^d
X _۲ Y ₂ Z ₂	۵/۳۶±۰/۱۸ ^c	۴/۴۰±۰/۲۳ ^c	۴۸/۳۶±۰/۱۳ ^c
X _۲ Y ₂ Z ₃	۴/۴۳±۰/۱۴ ^e	۴/۴۱±۰/۱۶ ^c	۴۸/۴۳±۰/۰۶ ^c
X _۲ Y ₃ Z ₁	۵/۱۲±۰/۱۶ ^e	۴/۳۶±۰/۱۵ ^b	۴۷/۷۹±۰/۴ ^{de}
X _۲ Y ₃ Z ₂	۵/۸۸±۰/۱۹ ^d	۴/۷۶±۰/۱۳ ^a	۴۷/۸۸±۰/۱۲ ^{de}
X _۲ Y ₃ Z ₃	۴/۵۷±۰/۱۳ ^e	۴/۷۳±۰/۱۴ ^a	۴۷/۲۰±۰/۰۶ ^f
X _۳ Y ₁ Z ₁	۶/۳۵±۰/۱۴ ^c	۳/۲۹±۰/۱۸ ^f	۴۹/۴۵±۰/۰۴ ^b
X _۳ Y ₁ Z ₂	۶/۲۲±۰/۱۸ ^c	۳/۷۹±۰/۱۴ ^e	۴۹/۱۲±۰/۰۴ ^b
X _۳ Y ₁ Z ₃	۶/۰۹±۰/۱۷ ^c	۳/۸۵±۰/۰۸ ^e	۴۸/۸۹±۰/۰۶ ^{bc}
X _۳ Y ₂ Z ₁	۶/۸۲±۰/۱۳ ^b	۳/۸۰±۰/۰۴ ^e	۴۹/۱۳±۰/۰۴ ^b
X _۳ Y ₂ Z ₂	۶/۶۱±۰/۱۸ ^b	۳/۸۷±۰/۳ ^e	۴۸/۹۶±۰/۰۴ ^b
X _۳ Y ₂ Z ₃	۶/۰۸±۰/۱۷ ^c	۴/۰۹±۰/۰۶ ^d	۴۸/۸۸±۰/۰۶ ^{bc}
X _۳ Y ₃ Z ₁	۶/۶۹±۰/۱۴ ^b	۳/۹۷±۰/۱۳ ^{de}	۴۸/۶۹±۰/۰۴ ^c
X _۳ Y ₃ Z ₂	۶/۷۰±۰/۱۳ ^b	۴/۳۲±۰/۲۳ ^c	۴۷/۶۳±۰/۰۴ ^e
X _۳ Y ₃ Z ₃	۶/۱۷±۰/۱۶ ^c	۴/۳۷±۰/۱ ^c	۴۷/۴۸±۰/۰۶ ^{ef}
شاهد	۷/۱۲±۰/۲۳ ^a	۳/۱۷±۰/۲۶ ^f	۵۰/۰۹±۰/۰۵ ^a

حروف یکسان در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری در سطح ۹۵٪ است. X₁: رطوبت ۱۸٪؛ X₂: رطوبت ۲۱٪؛ X₃: رطوبت ۲۵٪؛ Y₁: دمای 120°C ؛ Y₂: دمای 160°C ؛ Y₃: دمای 200°C ؛ Z₁: دور ماریچ ۱۷۰ rpm؛ Z₂: دور ماریچ ۲۳۵ rpm؛ Z₃: دور ماریچ ۳۰۰ rpm.

– بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر میزان فیبر نامحلول و محلول سبوس گندم

بررسی‌ها نشان داد فرایند اکستروژن سبب کاهش فیبر نامحلول به میزان ۶٪ و افزایش فیبر محلول به میزان ۵۵٪ شد (جدول ۳).

بحث

– تأثیر فرایند اکستروژن بر شاخص جذب آب

این شاخص بیانگر میزان جذب آب توسط نشاسته است و می‌تواند نشانه ژلاتینه شدن در نظر گرفته شود. این شاخص با حجم ژل تشکیل شده متناسب است (Delgado-Licon *et al.*, 2009). میزان جذب آب سبوس‌های اکستروژن شده در جدول ۲ موجود است. افزایش سرعت ماریچج منجر به قطعه‌قطعه شدن بیشتر نشاسته و تخریب آمیلوز و آمیلوپکتین می‌گردد. علاوه بر این، تشکیل دکستترین و اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی ممکن است سبب کاهش شاخص جذب آب شود (Hagenimana *et al.*, 2006). شاخص جذب آب به در دسترس بودن گروه‌های هیدروفیل موجود در مواد غذایی وابسته است. مطابق نتایج محققین می‌توان انتظار داشت که در سرعت ماریچج پایین، زنجیره پلیمر نشاسته سالم‌تر و گروه‌های هیدروفیل در دسترس بیشتر باشد که منجر به اتصال بیشتر آب شده و در نتیجه شاخص جذب آب افزایش می‌یابد (Gómez *et al.*, 2011). رطوبت به دلیل نقش پلاستی سایزر سبب کاهش زمان ماند ماده داخل اکسترودر، کاهش تنش برشی ناشی از ماریچج و کاهش تأثیر دما بر ماده داخل اکسترودر شده و از این رو موجب کاهش دکسترینه شدن نشاسته می‌شود. بنابراین، ژلاتیناسیون نشاسته طی اکستروژن و در طرف مقابل آسیب کمتر پلیمرهای نشاسته با افزایش رطوبت خوراک ورودی سبب افزایش شاخص جذب آب سبوس گندم شد (Hagenimana *et al.*, 2006). این نتایج با مشاهدات سایر محققین نیز در تطابق است (Sharma *et al.*, 2004; Ralet *et al.*, 1990). این محققان نیز افزایش میزان ژلاتیناسیون نشاسته و آسیب کمتر به گرانول‌های نشاسته را دلیل اصلی افزایش جذب آب بیان کردند.

– تأثیر فرایند اکستروژن بر شاخص حلالیت در آب

شاخص حلالیت در آب به‌عنوان شاخص تخریب ترکیبات مولکولی در اثر فرایند اکستروژن در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب، شاخص حلالیت در آب با میزان مولکول‌های محلول و میزان پلی ساکارید آزاد شده از گرانول نشاسته متناسب بوده و به دکسترینه شدن آن اشاره دارد. این تغییرات علاوه بر نیروی برشی به دمای اکستروژن و رطوبت خوراک ورودی نیز بستگی دارد (Hagenimana *et al.*, 2006). در سرعت ماریچج بالا مولکول‌های نشاسته به اجزای کوچک‌تری تجزیه می‌شوند که حلالیت بیشتری در آب دارند. افزایش شاخص حلالیت در آب می‌تواند نشانه‌ای از افزایش فیبرهای محلول باشد. همان‌گونه که بیان شد افزایش رطوبت به دلیل نقش پلاستی سایزر خود سبب کاهش زمان ماند ماده در داخل اکسترودر شده و موجب کاهش دکسترینه شدن و آسیب به نشاسته می‌شود. در نتیجه، میزان شاخص حلالیت در آب نیز کاهش می‌یابد. ولیکن افزایش دما به دلیل تسهیل عمل دکسترینیزاسیون نشاسته، شاخص حلالیت در آب را افزایش می‌دهد (Lazou & Krokida, 2010). نتایج مشاهده شده با یافته‌های Rashid و همکاران (2015) و Sobota و همکاران (2010) نیز در تطابق است؛ به‌گونه‌ای که Rashid و همکاران (2015) بیان کردند اندیس حلالیت در آب سبوس گندم اکستروژن شده با افزایش دما و سرعت ماریچج اکسترودر افزایش یافت. این محققان افزایش نیروی برشی در شرایط مذکور را دلیل افزایش اندیس حلالیت در آب دانستند.

– تأثیر فرایند اکستروژن بر شاخص جذب روغن

شاخص جذب روغن نشانگر میزان آب‌گریزی ماده بوده که به دکسترینیزاسیون نشاسته، مقدار آمینواسیدهای غیر قطبی و پیوند میان نشاسته، پروتئین و لیپید بستگی دارد (Drago *et al.*, 2007). افزایش دما و سرعت ماریچج و کاهش محتوای رطوبتی با تسهیل دکسترینیزاسیون نشاسته منجر به تشکیل مولکول‌های کوچک‌تر می‌گردد. حضور این مولکول‌ها می‌تواند مسئول افزایش شاخص جذب روغن باشد. Lazou و Krokida (2010) نیز نتایج مشابهی در مطالعه بر روی آرد ذرت و آرد ذرت-عدس اکستروژن شده مشاهده کردند.

تأثیر فرایند اکستروژن بر میزان اسید فیتیک

نتایج مشاهده شده در رابطه با اسید فیتیک با نتایج سایر محققین نیز در تطابق است (Sharma *et al.*, 2004; Gualberto *et al.*, 1997; Ralet *et al.*, 1990; Kaur *et al.*, 2013). Sharma و همکاران (2004) و Ralet و همکاران (1990) بیان کردند مقدار اسید فیتیک سبوس برنج و گندم در اثر فرایند اکستروژن به طور معنی داری کاهش یافت. Kaur و همکاران (2013) در بررسی تأثیر متغیرهای دمای اکستروژن (۱۱۵، ۱۴۰ و ۱۶۵ درجه سانتی‌گراد) و رطوبت خوراک ورودی (۱۴، ۱۷ و ۲۰٪) بر ترکیبات ضد تغذیه‌ای سبوس غلات بیان کردند که فرایند اکستروژن، اسید فیتیک را به میزان ۵۴/۵۱٪ کاهش داد. بیشترین میزان کاهش مواد ضد تغذیه‌ای در دمای ۱۱۵°C و رطوبت ۲۰٪ مشاهده شد. Gualberto و همکاران (1997) نیز بیان کردند سرعت ماریچ با تأثیر معنی داری بر میزان اسید فیتیک سبوس‌های گندم، جو دوسر و برنج نداشت. تقلیل مقدار اسید فیتیک در اثر فرایند اکستروژن به تجزیه شدن مولکول فیتات در این شرایط برمی‌گردد. تحت شرایط اکستروژن اینوزیتول هگزافسفات (فیتات) به ترکیبات حد واسط با وزن مولکولی پایین (ترکیبات پنج، چهار و سه فسفات) هیدرولیز شده و کمپلکس‌های نامحلول با سایر ترکیبات تشکیل می‌دهد. در نتیجه، قابلیت در دسترسی فیتات کاهش می‌یابد (Anton *et al.*, 2009; El-Hady & Habiba, 2003).

بررسی تأثیر فرایند اکستروژن بر میزان فیبر نامحلول و محلول سبوس گندم

Gualberto و همکاران (1997) بیان کردند کاهش میزان فیبر نامحلول به دلیل نیروی برشی ماریچ است و این عمل در سرعت بالای ماریچ بیشتر رخ می‌دهد. مکانیسم‌های توجیهی برای تغییر میزان فیبر نامحلول در اثر تنش برشی شامل این موارد می‌شود:

۱- در معرض تنش برشی قرار گرفتن مولکول‌های بزرگ نامحلول فیبر موجب شکستن پیوندهای شیمیایی و ایجاد ذرات کوچک‌تر محلول در آب می‌شود (Jones, 1992):

۲- در سرعت‌های کم ماریچ، فشار داخل اکسترودر بیشتر بوده و در نتیجه تأثیر بیشتری بر حلالیت فیبر نسبت

به سرعت ماریچ بالا دارد (Camire *et al.*, 1990):

۳- تشکیل نشاسته مقاوم به تجزیه توسط آنزیم آلفا-آمیلاز سبب افزایش فیبر رژیمی می‌شود (Bjorck & Nyman, 1984; Asp NG, 1986).

۴- کمپلکس‌های ایجاد شده بین پلی‌ساکارید و لیپید که توسط آنزیم‌های آلفا-آمیلاز یا آمیلوگلوکوزیداز شکسته نشده و به وسیله هگزتان استخراج نمی‌شوند و در نتیجه به عنوان فیبر نامحلول در نظر گرفته می‌شوند (Camire *et al.*, 1990). شواهد حاکی از آن است که در سرعت ماریچ بیشتر، چربی کمتری توسط هگزتان استخراج می‌شود که پدیده اخیر بیانگر تشکیل کمپلکس بیشتر بین چربی و سایر ترکیبات است.

در سرعت‌های خیلی بالای اکسترودر، ممکن است مقدار فیبرهای محلول کاهش یابد (Gualberto *et al.*, 1997). این پدیده ممکن است به دلیل تجزیه فیبرهای محلول در اثر نیروی برشی باشد. در این باره می‌توان بیان کرد که در شرایط مذکور نیروی برشی سبب شکستن فیبرهای محلول به تکه‌های کوچک می‌شود که این مولکول‌های کوچک به مولکول‌های فیبر نامحلول متصل می‌شوند. Camire و همکاران (1990) بیان کردند با اعمال فرایند اکستروژن توزیع مجدد فیبر نامحلول به اجزا و قطعات فیبر محلول در آب اتفاق می‌افتد. از طرف دیگر، افزایش فیبر محلول در سبوس گندم اکسترودر شده به آزاد شدن همی سلولز از فیبرهای نامحلول نسبت داده می‌شود (Gualberto *et al.*, 1997). در مطالعه دیگری، Westerlund و Theander (1984) بیان کردند فرایند اکستروژن در محصولات بر پایه‌ی نشاسته مانند گندم و سیب‌زمینی سبب افزایش فیبرهای رژیمی شد. سایر محققان Sobota و همکاران (۲۰۱۰) و Rashid و همکاران (۲۰۱۵) نیز بیان کردند فرایند اکستروژن تأثیر مثبتی بر میزان فیبر کل و محلول داشت؛ ولیکن فیبر نامحلول کاهش یافت. این محققان بیان کردند افزایش فیبر محلول و کاهش فیبر نامحلول احتمالاً به دلیل تخریب باندهای کووالانسی و غیر کووالانسی کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها است که منجر به ایجاد مولکول‌های محلول کوچک می‌شود.

نتیجه گیری

به کارگیری مؤثر فناوری‌های رایج برای توسعه صنعتی کشورهای درحال توسعه، امری ضروری است. در نیم قرن اخیر، فناوری اکستروژن به واسطه راندمان بالا، کیفیت مطلوب، عدم دارا بودن فاضلاب، مصرف کم آب در طول پروسه و به ویژه طیف متنوع فرآورده‌های تولیدی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. سبوس گندم اکستروژ شده به دلیل افزایش جذب آب، حلالیت در آب و فیبر محلول و کاهش اندیس جذب روغن، فیبر نامحلول و اسید فیتیک آن پتانسیل بالایی برای جایگزینی با سبوس معمولی را دارد. مطابق نتایج بهترین شرایط برای کاهش اسید فیتیک، رطوبت خوراک ورودی ۲۱ درصد، دمای ۱۲۰ °C و دور ماریچ ۳۰۰ rpm تعیین گردید. به طور کلی، فرایند اکستروژن به دلیل کاهش فاکتورهای ضد تغذیه‌ای و افزایش فیبرهای محلول پتانسیل بالایی برای کاربرد در محصولات رژیمی و سلامت بخش دارد. همچنین این مطالعه نشان داد فرایند اکستروژن با بهبود ویژگی‌های تکنولوژیکی سبوس گندم می‌تواند امکان استفاده از آن را در محصولات نانوبی میسر سازد.

منابع

- AACC. (2000). Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, methods 44-15A (moisture), 08-01(ash), 30-10(fat), 76-12(starch), 46-08 (protein).
- Anton, A. A., Fulcher, R. G. & Arntfield, S. D. (2009). Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*, 113(4), 989-996.
- Asp, N. G. (1986). Effects of extrusion cooking on the nutritional value of foods. In C Mercier, C Cantarelli (eds), *Pasta and extruded cooked foods*. London: Elsevier, 9-13.
- Bjorck, I., Nyman, M. & Asp, N. G. (1984). Extrusion cooking and dietary fiber: effects on dietary fiber content and on degradation in the rat intestinal tract. *Cereal Chemistry*, 61, 174-179.
- Camire, M. E., Camire, A. & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Review of Food Science and Nutrition*, 29, 35-57.
- Coda, R., Rizzello, G., Curiel, J. A., Poutanen, K. & Katina K. (2014). Effect of bioprocessing and particle size on the nutritional properties of wheat bran fractions. *Innovative Food Science*, 25, 19-27.
- Delgado-Licon, E., Ayala, A. L. M., Rocha-Guzman, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Atienzo-Lazos, M., Drzewiecki, J., Martínez-Sánchez, C. E. & Gorinstein, S. (2009). Influence of extrusion on the bioactive compounds and the antioxidant capacity of the bean/corn mixtures. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 522-532.
- Drago, S. R., Velasco-González, O. H., Torres, R. L., González, R. J. & Valencia, M. E. (2007). Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(2), 43-48.
- 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 Chemistry*, 52(10), 2989-2996.
- El-Hady, E. A. & Habiba, R. (2003). Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *LWT-Food Science and Technology*, 36(3), 285-293.
- ElMaki, H. B., AbdelRahaman, S. M., Idris, W. H., Hassan, A. B., Babiker, E. E. & El Tinay, A. H. (2007). Content of antinutritional factors and HCl-extractability of minerals from white bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars: Influence of soaking and/or cooking. *Food Chemistry*, 100(1), 362-368.
- García-Estépa, R. M., Guerra-Hernández, E. & García-Villanova, B. (1999). Phytic acid content in milled cereal products and breads. *Food Research International*, 32(3), 217-221.
- Gómez, M., Jiménez, S., Ruiz, E. & Oliete, B. (2011). Effect of extruded wheat bran on dough rheology and bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2231-2237.
- Gualberto, D., Bergman, C., Kazemzadeh, M. & Weber, C. (1997). Effect of extrusion processing on the soluble and insoluble fiber, and phytic acid contents of cereal brans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 51(3), 187-198.
- Hagenimana, A., Ding, X. & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

- Jones, W. (1992) Extrusion Specialist, Wenger Co., pers. Comm.
- Karami, M. & Safiyari, M. (2018). Comparison of Phytic Acid, Sensory Properties and Microscopic Microstructure of Industrial Breads in Kermanshah. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 14 (72), 121-132.
- Kaur, S., Sharma, S., Singh, B. & Dar, B. N. (2013). Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1670-1676.
- Lai, C. S., Hosene, R. C. & Davis, A. B. (1989). Effects of wheat bran in bread making. *Cereal Chemistry*, 66, 217-219.
- Lawton, J.W., Davis, A. B. & Behnke, K.C. (1985). High-temperature, short-time extrusion of wheat gluten and a bran-like fraction. *Cereal Chemistry*, 62, 267-271.
- Lazou, A. & Krokida, M. (2011). Thermal characterisation of corn-lentil extruded snacks. *Food Chemistry*, 127(4), 1625-1633.
- Lazou, A. & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International*, 43(2), 609-616.
- Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30(1), 27-54.
- Persson, H., Turk, M., Nyman, M. & Sandberg, A.S. (1998). Binding of Cu²⁺, Zn²⁺, and Cd²⁺ to Inositol Tri-, Tetra-, Penta-, and Hexakisphosphate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 3194-3200.
- Prosky, L., Asp, N. G., Furda, I., Devries, J. W., Schweizer, T. F. & Harland, B. F. (1985). Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *Journal - Association of Official Analytical Chemists*, 68, 677-679.
- Ralet, M. C., Thibault, J. F. & Della Valle, G. (1990). Influence of extrusion-cooking on the physico-chemical properties of wheat bran. *Journal of Cereal Science*, 11(3), 249-259.
- Rashid, S., Rakha, A., Anjum, F. M., Ahmed, W. & Sohail, M. (2015). Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates. *International journal of food Science & Technology*, 50(7), 1533-1537.
- Sandberg, A.V.S., Andersson, H., Kivistö, B. & Sandström, B. (1986). Extrusion cooking of a high-fibre cereal product. *British Journal of Nutrition*, 55(02), 245-254.
- Schlemmer, U., Wenche Frlich, W., Prieto, R. M. & Grases, F. (2009). Phytate in foods and significance for humans. Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, 330-375.
- Sharma, H., Chauhan, G. & Agrawal, K. (2004). Physico-chemical characteristics of rice bran processed by dry heating and extrusion cooking. *International Journal of Food Properties*, 7(3), 603-614.
- 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. Journal of Food Nutrition Science*, 60(3), 251-259.
- Theander, O. & Westerlund, E. (1984). Chemical modification of starch by heat treatment and further reactions of the products formed. In P Zeuthen, JC Cheftel, C Eriksson, M Jul, H Leniger, P Linko, G Varela, G Vos (eds), thermal processing and quality of foods. New York: Elsevier, 202-207.
- Wang, J. & Rosell, C. M. (2002). Effect of the addition of different fibers on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
- Wang, W. M., Klopfenstein, C. F. & Ponte Jr, J. G. (1993). Baking Quality of the Wheat Bran. *Cereal Chemistry*, 70(6), 707-711.
- Wu, P., Tian, J. C., Walker, C. E. & Wang, F. C. (2009). Determination of phytic acid in cereals-a brief review. *International Journal of Food Science and Technology*, 44, 1671-76.