

# تأثیر شرایط فرایند اکستروژن پخت بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فراورده حجیم‌شده سورگوم

مرتضی جعفری<sup>۱</sup>، آرش کوچکی<sup>۲</sup>، الناز میلانی<sup>۳\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار، گروه پژوهشی فراوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۱۰)

## چکیده

سورگوم گیاهی مقاوم به خشکی بوده و غنی از نشاسته، پروتئین (کفیرین) و ترکیبات فیتوشیمیایی است و به دلیل طعم ملایم، رنگ روشن و نشاسته و فیبر فراوان، می‌تواند در فرمولاسیون‌های غذایی استفاده گردد. در این پژوهش اثر رطوبت ماده‌ی اولیه (۱۴، ۱۶ و ۱۹٪) و دور ماریپیچ اکسترودر (۱۴۰، ۱۷۰ و ۱۹۰rpm) بر ویژگی‌های بافتی و فیزیکوشیمیایی سورگوم واریته سفید (bicolour L)، مورد ارزیابی قرار گرفت. رطوبت اولیه‌ی آرد سورگوم و سرعت ماریپیچ تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری داشتند. در این مطالعه مشخص شد بین تأثیر رطوبت و سرعت ماریپیچ اکسترودر رابطه‌ی عکس وجود دارد. با افزایش میزان رطوبت ماده اولیه دانسته‌ی توده‌ای، اندیس جذب آب و میزان سختی افزایش یافت درحالی‌که با افزایش سرعت ماریپیچ پارامترهای ذکر شده کاهش یافتند. افزایش رطوبت ماده اولیه سبب کاهش اندیس حلالیت در آب، کاهش ضریب انبساط شونگی و تخلخل فراورده حجیم شد. همچنین فرایند اکستروژن پخت سبب کاهش شاخص‌های روشنایی ( $L^*$ ) و افزایش شاخص‌های قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) در فراورده‌ی نهایی شد. نتایج ارزیابی حسی مشخص کرد که شرایط رطوبت ۱۴٪ و دور ماریپیچ ۱۹۰rpm برای تولید فراورده‌ی حجیم‌شده مناسب بوده و بیشترین پذیرش کلی را دارد.

کلید واژگان: اکسترودر دو ماریپیچ، پردازش تصویر، سلامتی

\* مسئول مکاتبات: e\_milani81@yahoo.com

## ۱- مقدمه

اکستروژن پخت مواد غذایی به واسطه تولید طیف وسیعی از فراورده‌های غذایی نظیر پاستا، غلات صبحانه، اسنک، انواع پروتئین بافت داده‌شده، آرد و نشاسته اصلاح‌شده مخصوص سوپ، غذای کودک، غذای حیوانات خانگی و پودر نوشیدنی فوری به یکی از مشهورترین فرآیندهای کاربردی و اقتصادی در نیم‌قرن اخیر تبدیل شده است. فرآیند اکستروژن پخت، به صورت مداوم است و در آن دمای بالا و زمان کوتاه اعمال می‌شود. در حین فرآیند اکستروژن پخت، انرژی حرارتی حاصل، همراه با انرژی مکانیکی (برشی) تغییرات فیزیکوشیمیایی سریعی در ماده اولیه ایجاد می‌کند. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فرآیند اکستروژن پخت، پف دادن به فرآورده است که بافت ماده غذایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تولیدکنندگان مواد غذایی به دنبال ایجاد تنوع و عرضه محصولات جدید می‌باشند. بر این اساس انواع مختلف فرآورده‌های اکستروژنی نیز تولید شده است که از این بین می‌توان به اسنک‌های پفکی بر پایه برنج، ذرت، سیب‌زمینی، سویا، اسفناج، کلم بروکلی و هویج اشاره کرد. اکستروژن پخت آرد کامل غلات نظیر جو، چاودار، سورگوم و تریتیکاله موضوع جدیدی در زمینه فرآوری مواد غذایی محسوب می‌شود. سورگوم گیاهی مقاوم به خشکی بوده و در شرایط مختلف خاک قابلیت رشد دارد. با توجه به غنی بودن سورگوم از نشاسته و پروتئین (کفیرین)، می‌تواند یکی از جایگزین‌های مناسب غلات برای تهیه اسنک‌های آماده مصرف باشد. سورگوم از لحاظ ویژگی‌های عملکردی شبیه به برنج است و در اسنک‌ها، غلات صبحانه‌ای و آبگوشت<sup>۱</sup> کاربرد دارد. علاوه بر این سورگوم به دلیل طعم ملایم<sup>۲</sup>، رنگ روشن و پف کردن خوب، به عنوان جایگزین برنج در فراورده‌های حجیم‌شده مطرح است [۱]. سورگوم یک منبع غنی از مواد فیتوشیمیایی مانند فنولیک اسیدها، آنتوسیانین‌ها، فیتواسترول‌ها و پلی‌کوزانول‌ها<sup>۳</sup> هست و از لحاظ خصوصیات

فیزیکوشیمیایی مشابه آرد گندم هست. سورگوم در مقایسه با سایر غلات دارای ترکیبات فنولیکی بالاتری است [۲]. ترکیبات پلی فنولیک ممکن است از طریق جلوگیری و ممانعت از هضم آنزیمی در ماهیت هضم آهسته نشاسته سورگوم، نقش داشته باشند [۳]. در بعضی از جنبه‌ها ارزش تغذیه‌ای سورگوم نسبت به گندم، برنج و ذرت بالاتر است. برای مثال، مقدار پروتئین و کلسیم سورگوم بالاتر از برنج و ذرت است. مقدار آهن آن بیشتر از گندم، برنج و ذرت آمریکایی است. هضم پایین نشاسته سورگوم سبب افزایش کاربرد آن در فرمولاسیون‌های غذایی به‌ویژه افراد دیابتی و چاق گردیده است [۴]. پژوهش‌های مختلف بیانگر افزایش حلالیت پروتئین موجود در سورگوم تحت تأثیر فرایند اکستروژن پخت هست. فرایند اکستروژن پخت سبب ژلاتینه شدن نشاسته و افزایش مقدار نشاسته‌های آسیب‌دیده می‌گردد. همچنین کاهش اکسیداسیون چربی‌ها به دلیل غیرفعال کردن آنزیم‌ها و غیرفعال سازی جزئی آنزیم‌ها و بعضی مواد ضد تغذیه‌ای، افزایش فیبرهای محلول در سبوس غلات از دیگر مزایای فناوری اکستروژن پخت می باشد [۵]. مطابق بررسی انجام‌شده تاکنون پژوهش مدونی در زمینه اکستروژن پخت آرد کامل سورگوم داخل کشور انجام نشده است؛ باین حال در سایر کشورهای توسعه‌یافته پژوهش‌هایی پیرامون موضوع منتشر شده است. بر این اساس لیوپارت و همکاران [۵] تأثیر دمای اکستروژن و رطوبت خوراک ورودی را بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی سورگوم قرمز بررسی نمودند. در پژوهش دیگری، تأثیر اندازه‌های مختلف آرد سورگوم سفید، سرعت ماریچ، درجه حرارت اکستروژن و رطوبت آرد ورودی (۱۶-۲۴٪) بر ویژگی فرآورده بافت داده‌شده مورد ارزیابی قرار گرفت [۶]. ماهاسوخون تاچات و همکاران [۷] سینتیک هضم نشاسته و خصوصیات آرد سورگوم اکستروژنی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین وارگاس-سولارزانو و همکاران [۸] نیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فرآورده ی حجیم شده ی سورگوم را مورد ارزیابی قرار دادند. هدف از انجام پژوهش، تولید میان وعده حجیم از آرد کامل سورگوم و تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و

1. Porridge  
2. Bland flavor  
3. Policosanols

## ۲-۵- تخلخل

برای اندازه‌گیری تخلخل، از روش پردازش تصویر استفاده شد. برای این منظور، نمونه‌های اسنک ابتدا به وسیله‌ی چاقوی تیزی با احتیاط به صورت طولی به دو نیم تقسیم شدند. تصویربرداری با استفاده از دوربین CANON مدل Canon EOS 1000D در اتاقک مخصوص این کار که دارای دیواره‌های سیاه بود انجام شد. تصاویر گرفته‌شده به نرم‌افزار فتوشاپ CS5 منتقل بافته 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 منتقل یافت. ابتدا تصاویر به فرمت ۸ بیتی درآمدند. از منوی process تصاویر به حالت نرمالیزه درآمدند و با انتخاب منوی threshold و در نهایت منوی Analyze، میزان تخلخل تصاویر محاسبه گردید [۱۱].

## ۲-۶- جذب آب و حلالیت در آب

۰/۵g از نمونه آسیاب شده در لوله فالكون ۱۵ml ریخته و ۱۰cc آب مقطر به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به هم زده شد. سپس در دستگاه سانتیفریوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت ۳۰۰۰\*g سانتیفریوژ گردید [۱۲].

$$WAI = \frac{M_g}{M_s}$$

Mg = وزن ژل هیدراته شده برحسب گرم

Ms = وزن نمونه برحسب گرم

حلالیت در آب بر اساس معادله زیر و با استفاده از آون هوای

داغ در C ۱۰۵ محاسبه شد.

$$WSI = \frac{M_{ds}}{M_s} * 100$$

Mds = وزن ماده جامد خشک برحسب گرم

## ۲-۷- جذب روغن

۰/۵ g از نمونه آسیاب شده در لوله فالكون ۱۵ml ریخته و ۱۰cc روغن ذرت به آن افزوده شد. نمونه به مدت ۲۰ دقیقه به

فرایند شامل رطوبت ماده ورودی و دور ماریچ اکسترودر بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی فرآورده بود.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- آماده‌سازی ماده اولیه

دانه سورگوم به وسیله آسیاب کن آزمایشگاهی، آسیاب گردید. به منظور دانه‌بندی یکنواخت، آرد آسیاب شده، از الک با مش ۳۰ عبور داده شدند. برای اندازه‌گیری رطوبت (۹٪)، خاکستر (۱/۴٪)، فیبر (۲/۱۵٪)، پروتئین (۱۰/۵٪) و چربی (۳/۲۵٪) آرد سورگوم از روش استاندارد AOAC استفاده گردید [۹].

### ۲-۲- پخت اکستروژن پخت

پخت اکستروژن پخت توسط اکسترودر دو ماریچ با چرخش هم‌جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین انجام پذیرفت. با افزودن آب مقطر به آرد سورگوم رطوبت تنظیم شد. برای کاهش کلوخه‌های تشکیل‌شده، پس از افزودن آب، آرد از الک عبور داده شد. در این پژوهش، فرایند اکستروژن پخت در سرعت ماریچ ۱۴۰ و ۱۷۰ و ۱۹۰rpm، رطوبت آرد ورودی ۱۴ و ۱۶ و ۱۹٪، سرعت خوراک ورودی ۴۲ g min<sup>-1</sup> و در دمای ثابت C ۱۵۰ انجام شد. در نهایت فرآورده‌ی حجیم‌شده به مدت ۲ ساعت در C ۵۰ برای رسیدن به رطوبت ۶٪ خشک گردید.

### ۲-۳- میزان انبساط

میزان انبساط از تقسیم قطر فرآورده‌های حجیم‌شده به قطر دای<sup>۴</sup> اکسترودر تعیین گردید. از هر تیمار به صورت تصادفی ۱۰ نمونه انتخاب گردید و میانگین آن‌ها گزارش شد [۱۰].

### ۲-۴- دانسیته ی توده‌ای

دانسیته اسنک با روش جابجایی با دانه‌های ارزن طبق روش استاندارد (۲۰۰۰) AACC به شماره ۱۰-۰۵ انجام شد [۹].

خصوصیات مورد ارزیابی با عدد بیشتر از ۵ مورد قبول قرار گرفت [۱].

## ۲-۱۰- تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل نتایج در چارچوب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با دو تکرار و مقایسه میانگین‌ها در سطح ۹۵٪ با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Spss22 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel انجام شد.

## ۳- نتایج و بحث

### ۳-۱- تغییرات ضریب انبساط شونده‌گی

میزان انبساط محصول بر فاکتورهای دانسیته، شکنندگی<sup>۰</sup> و نرمی فرآورده‌ی حجیم تأثیرگذار است. بنابراین ارزیابی این پارامتر برای اسنک‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج نشان داد با افزایش رطوبت ماده ورودی و سرعت ماریچ، اندیس انبساط فرآورده حجیم به ترتیب کاهش و افزایش یافت نتایج مشابهی توسط جادهاو و همکاران [۱] نیز مشاهده شد. همچنین نتایج مشابهی نیز توسط سایر پژوهشگران در مطالعه بر روی نشاسته گندم، آرد کاساوا و سیب‌زمینی هندی گزارش شده است. مطابق گزارش هاگه نیمانا و همکاران [۱۴] میزان انبساط فرآورده رابطه مستقیمی با ژلاتینیزاسیون نشاسته دارد. از این رو با توجه به اینکه افزایش رطوبت سبب کاهش اثر دما بر ماده می‌شود از این رو میزان ژلاتینیزاسیون نشاسته کاهش یافته و در نتیجه میزان انبساط فرآورده‌ی حجیم کاهش می‌یابد. در سوی مقابل رطوبت کم در مواد نشاسته‌ای ممکن است جریان مواد داخل مخزن اکسترودر را محدود کند. پدیده اخیر، سبب افزایش زمان ماند فرآورده در داخل اکسترودر و سرعت برشی در زمان ماند گردیده و ممکن است درجه ژلاتینیزاسیون و انبساط افزایش یابد [۱۵]. براهاما و همکاران [۱۶] در مطالعه اثر اکستروژن پخت بر خصوصیات آرد

هم زده شد. سپس در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۲۵ دقیقه و با سرعت  $3000 \text{ g}$  سانتریفیوژ گردید [۱۲].

$$OAI = \frac{M_g}{M_s}$$

$Mg$  = وزن ژل دارای روغن بر حسب گرم

### ۲-۸- سختی

برای اندازه‌گیری سختی بافت، ابتدا نمونه به وسیله آون تا رسیدن به رطوبت ۶٪ خشک گردید. زیرا این رطوبت برای اندازه‌گیری بافت مطلوب در نظر گرفته می‌شود. اندازه‌گیری سختی با دستگاه بافت سنج مدل (AMETEK lloyd, TA-Plus instruments Ltd, USA) و با کمی اصلاح نسبت به روش دولیر و همکاران [۱۳] انجام شد. از هر تیمار ۸ نمونه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب گردید. نمونه‌ها به وسیله‌ی پروب استوانه‌ای ۲mm و با load cell ۱۰۰N و با سرعت نفوذ  $1 \text{ mm/s}$  به میزان ۷۰٪ قطر نمونه اولیه تحت فشار قرار گرفت.

### ۲-۹- رنگ

جهت تعیین رنگ فرآورده‌های تولیدشده از دستگاه هانتر لب استفاده شد. بر این اساس می‌بایست نمونه‌های پودر شده و همگن، در ظرف مخصوص دستگاه ریخته شده تا سطح آن کاملاً پوشانده شود. سپس محفظه تاریک بر روی ظرف گذاشته شد و در سیستم  $L^*a^*b^*$  CIE، پارامترهای رنگی تعیین شدند. مقادیر  $L^*$  به‌عنوان شاخص روشنایی هست و بین صفر (سیاه‌رنگ) تا ۱۰۰ (سفیدرنگ) متغیر است، همچنین مقادیر  $a^*$  شاخص قرمزی و مقادیر  $a^*$  شاخص سبزی نمونه‌ها هست و  $b^*$  برای شاخص زردی نمونه‌ها و  $b^*$  برای شاخص رنگ آبی نمونه‌ها گزارش می‌شود.

### ۲-۱۰- خصوصیات حسی

ارزیابی حسی به وسیله ۲۰ پانلیست انجام شد. خصوصیات حسی شامل رنگ، بافت، طعم، تردی و پذیرش کلی براساس مقیاس هدونیک ۹ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عدد ۱ به معنای عدم پسندیدن و عدد ۹ به معنای پسندیدن کامل است.

فراورده‌ی حجیم رابطه‌ی عکس وجود دارد. از این رو نتیجه به دست آمده از پارامتر ضریب انبساط شونده‌گی نتایج دانسیته‌ی توده‌ای را تصدیق می‌کند. هاگه نیمانا و همکاران [۱۴] بیان کردند افزایش سرعت ماریپیچ، دانسیته‌ی توده‌ای فراورده‌ی حجیم را احتمالاً به دلیل افزایش ژلاتینیزاسیون کاهش می‌دهد. با افزایش ژلاتینیزاسیون نشاسته، حجم فراورده‌های حجیم شده افزایش و دانسیته‌ی توده‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه افزایش رطوبت با کاهش اثر دما بر فراورده همراه است، از این رو میزان ژلاتیناسون کاهش یافته و منجر به کاهش دانسیته‌ی توده‌ای می‌شود. آندرسون و هدلاند [۲۱] بیان کردند افزایش رطوبت سبب تولید محصول متراکم‌تر می‌شود و از این رو دانسیته‌ی توده‌ای فراورده کاهش می‌یابد.

### ۳-۳- تغییرات میزان تخلخل فراورده حجیم

سلول‌های هوایی در طی اکستروژن پخت با تعداد و اندازه‌های مختلف ایجاد می‌شوند [۸]. تخلخل ایجاد شده در طی اکستروژن پخت می‌تواند برای توصیف ویژگی‌های فراورده‌ی حجیم شده، استفاده شود. با افزایش رطوبت، تخلخل فراورده‌ی حجیم کاهش ( $P < 0.05$ ) و با افزایش سرعت ماریپیچ، افزایش یافت ( $P < 0.05$ ). همان‌گونه که بیان شد افزایش رطوبت سبب افزایش تراکم در فراورده می‌شود که در نتیجه میزان تخلخل فراورده کاهش می‌یابد. همچنین افزایش رطوبت به دلیل کاهش میزان ژلاتینیزاسیون نشاسته و افزایش دور ماریپیچ اکسترودر به دلیل افزایش میزان تخلخل فراورده می‌شوند. در واقع افزایش میزان انبساط فراورده بواسطه افزایش میزان ژلاتینیزاسیون سبب افزایش تخلخل در فراورده می‌شود.

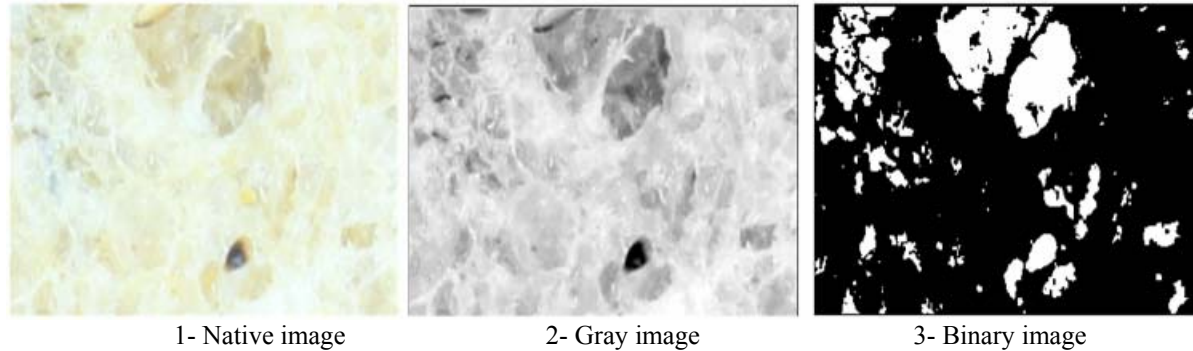
دانه کامل جودوسر، بیان کردند میزان انبساط با افزایش سرعت ماریپیچ اکسترودر افزایش یافت. سرعت ماریپیچ بالاتر مقدار انرژی بیشتری را به خمیر (توده‌ی ذوب شده در داخل مخزن اکسترودر) وارد می‌کند و ممکن است سبب تبخیر سریع‌تر رطوبت در قسمت خروجی اکسترودر شده؛ از این رو انبساط فراورده افزایش یابد. پادمانابهان و باهاتاجاریا [۱۷] بیان کردند در میزان انبساط فراورده‌های حجیم، دو نیروی غالب شامل نیروی الاستیک و نیروی حاصل از رشد حباب‌ها در اثر فشار بخار آب دخالت دارند. رشد حباب‌ها در نتیجه‌ی تفاوت فشار بین فشار داخل حباب‌ها و فشار اتمسفری اتفاق می‌افتد. در حقیقت افزایش رطوبت به دلیل کاهش دمای مخزن اکسترودر سبب کاهش فشار بخار می‌شود و از این رو میزان انبساط کاهش می‌یابد. مطابق نتایج بدری و ملووس [۱۵] کاهش انبساط آرد کاساوا با افزایش رطوبت می‌تواند ناشی از کندانس شدن آب بدام افتاده در فراورده‌ی حجیم در حین سرد شدن باشد. عوامل بسیاری در میزان انبساط فراورده‌های حجیم نقش دارند. از جمله‌ی این عوامل مقدار فیبر ماده می‌باشد. در واقع فیبر دیواره‌ی حباب‌های هوا را شکسته و از این طریق از انبساط بیشتر فراورده جلوگیری می‌کند. سایر ترکیبات نظیر پروتئین و لیپید نیز می‌توانند از طریق رقابت با نشاسته برای جذب آب موجود در سیستم، در توانایی انبساط نشاسته ترموپلاستیک ذوب شده و بقای سلول‌های هوایی بزرگ دیواره‌نازک<sup>۶</sup> در هنگام خروج از اکسترودر مداخله نموده و بر میزان انبساط فراورده تأثیر گذار باشند [۱۸].

### ۳-۲- تغییرات دانسیته‌ی توده‌ای

دانسیته توده معیاری از شدت انبساط فراورده حجیم است [۱۹]. دانسیته‌ی توده‌ای فراورده‌های حجیم به دلیل ارتباط آن با قابلیت شناوری<sup>۷</sup>، ترسیب در آب و احتیاجات بسته‌بندی، مهم است. دانسیته توده‌ای با افزایش رطوبت، افزایش ( $P < 0.05$ ) و با افزایش سرعت ماریپیچ، کاهش یافت ( $P < 0.05$ ). اونیانگو و همکاران [۲۰] بیان کردند بین دانسیته‌ی توده‌ای و اندیس انبساط

6. large thin-walled air cells

7. Floating



1- Native image

2- Gray image

3- Binary image

**Table 2** Effect of feed moisture and screw speed on Expansion index, Bulk density, Porosity and Firmness of extruded sorghum

Firmness (N)	Porosity (%)	Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	Expansion index	Screw speed (rpm)	Moisture (%)
2.98±0.01 <sup>b</sup>	48.42±0.23 <sup>d</sup>	0.42±0.01 <sup>f</sup>	2.99±0.02 <sup>c</sup>	140	14
2.23±0.01 <sup>c</sup>	52.95±0.12 <sup>b</sup>	0.35±0.01 <sup>g</sup>	3.35±0.31 <sup>b</sup>	170	
1.96±0.03 <sup>f</sup>	54.86±0.06 <sup>a</sup>	0.33±0.03 <sup>h</sup>	3.39±0.04 <sup>a</sup>	190	
3.21±0.01 <sup>b</sup>	46.12±0.07	0.48±0.03 <sup>b</sup>	2.86±0.93 <sup>d</sup>	140	16
2.99±0.02 <sup>b</sup>	48.93±0.32 <sup>d</sup>	0.45±0.00 <sup>d</sup>	2.94±0.65 <sup>c</sup>	170	
2.48±0.00 <sup>d</sup>	50.37±0.34 <sup>c</sup>	0.43±0.02 <sup>e</sup>	2.98±0.09 <sup>c</sup>	190	
3.55±0.02 <sup>a</sup>	43.29±0.02 <sup>f</sup>	0.52±0.01 <sup>a</sup>	2.61±0.06 <sup>f</sup>	140	19
3.12±0.00 <sup>b</sup>	45.32±0.11 <sup>e</sup>	0.47±0.03 <sup>c</sup>	2.73±0.4 <sup>e</sup>	170	
2.86±0.01 <sup>c</sup>	48.63±0.05 <sup>d</sup>	0.45±0.01 <sup>d</sup>	2.79±0.35 <sup>e</sup>	190	

Reported values correspond to the mean±standard deviation. Different letters in the same column indicate significant differences (P<0.05).

زمان ماند ماده در داخل مخزن اکسترودر سبب کاهش تجزیه‌ی گرانول‌های نشاسته شده و اندیس جذب آب افزایش می‌یابد.

### ۳-۵- تغییرات اندیس حلالیت در آب

اندیس حلالیت در آب مستقیماً نشان‌دهنده میزان پخت در آردهای اکسترودی (در کل متن) است همچنین اندیس حلالیت در آب به گسیختگی و پارگی در ساختار گرانول نشاسته مرتبط است [۲۲]. علاوه بر این، در شرایط ملایم اکستروژن پخت (دمای پایین، سرعت مارپیچ پایین، رطوبت بالا) پخش شدن مولکول‌های آمیلوز و آمیلوپکتین در اثر ژلاتینیزاسیون علت افزایش اندیس حلالیت فرآورده‌های حجیم شده است. درحالی که در شرایط شدید اکستروژن پخت (دمای بالا، سرعت مارپیچ بالا، رطوبت پایین) ایجاد مولکول‌ها با وزن مولکولی کم اتفاق می‌افتد [۱۳]. میزان اندیس حلالیت در آب برای آرد سورگوم اکسترودی ۱۴/۳۷g/g تا ۳۲/۳۶ و برای آرد سورگوم معمولی ۴/۴۳g/g بود.

### ۳-۴- تغییرات اندیس جذب آب

جذب آب به در دسترس بودن گروه‌های هیدروفیل و توانایی ایجاد ژل توسط ماکرو مولکول‌ها بستگی دارد [۱۴]. میزان جذب آب بیانگر حضور نشاسته‌های آسیب‌دیده به همراه دنانوراسیون و ایجاد ماکرو مولکول‌های جدید است. میزان جذب آب برای ماده اکسترودی بین ۵/۰۱ تا ۶/۴۶ g/g و برای آرد سورگوم معمولی ۳/۱۷g/g بود. جذب آب با افزایش رطوبت، افزایش (P < ۰/۰۵) و با افزایش سرعت مارپیچ، کاهش یافت. نتایج مشابهی نیز برای سورگوم اکسترودی [۸]، کاساوا اکسترودی [۱۵] و آرد برنج اکسترودی [۱۴] مشاهده شد. گومز و آگیلرا [۴] بیان کردند اندیس جذب آب بالا در نشاسته ذرت ژلاتینه شده به دلیل حضور زنجیره‌های پلیمری غیر آسیب‌دیده و در دسترس بیشتر گروه‌های هیدروفیلیک (آب‌دوست) است که می‌تواند با مولکول‌های آب پیوند داده و سبب افزایش اندیس جذب آب شوند. درواقع رطوبت به دلیل نقش روان‌کنندگی آب و کاهش

سورگوم معمولی  $g/g$  ۸/۹۶ بود. با افزایش رطوبت ماده‌ی ورودی اندیس جذب روغن فراورده کاهش ( $P < 0/05$ ) و با افزایش سرعت ماریچ، اندیس جذب روغن افزایش یافت ( $P < 0/05$ ). دراگو و همکاران [۲۴] بیان کردند افزایش دما سبب افزایش درجه پخت شده و در نتیجه‌ی دکستریزاسیون نشاسته، مولکول‌های کوچک‌تر ایجاد می‌شود که وجود این مولکول‌های کوچک‌تر، ممکن است مسئول افزایش جذب روغن باشد. افزایش رطوبت به دلیل نقش پلاستی‌سایزری سبب کاهش اثر دما بر ماده شده و در نتیجه درجه‌ی پخت و میزان دکستریزاسیون کاهش می‌دهد و به دلیل کمتر شدن مولکول‌های کوچک مسئول جذب روغن، اندیس جذب روغن کاهش می‌یابد. همچنین افزایش رطوبت به دلیل کاهش زمان ماند ماده در داخل اکسترودر تجزیه‌ی مولکولی و در نتیجه اندیس جذب روغن را کاهش می‌دهد. در سوی مقابل افزایش سرعت ماریچ نیز ممکن است به دلیل افزایش تنش برشی و افزایش دکستریزاسیون نشاسته موجب افزایش اندیس جذب روغن شود. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی آرد ذرت و آرد ذرت-عدس اکسترودی مشاهده شد [۲۵]. در مورد مکانیسم جذب چربی توسط ماده دو دیدگاه عمده وجود دارد: مکانیسم جذب چربی به صورت به دام افتادن فیزیکی روغن که این دیدگاه بیشتر در مورد حبوبات اکسترودی بیان شده است. گوجسکا و خان [۲۲] بیان کردند آمیختن پروتئین به فراورده‌ی اکسترودی، سبب کاهش جذب روغن شد و مکانیسم جذب چربی را به صورت به دام افتادن فیزیکی روغن در نظر گرفته‌اند. در مقابل این دیدگاه برخی دیگر از دانشمندان [۲۶]، ظرفیت جذب روغن را به قسمت غیر قطبی زنجیره پروتئینی مربوط دانستند. غلظت‌های مختلف پروتئین، مقدار آمینواسیدهای غیر قطبی، خصوصیات کونفورماسیون مختلف و پیوند نشاسته-پروتئین-لیپید، می‌تواند دلیل تفاوت در جذب روغن باشد [۲۷].

اندیس حلالیت در آب با افزایش درصد رطوبت، کاهش ( $P < 0/05$ ) و با افزایش سرعت ماریچ ( $P < 0/05$ )، افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز در مطالعه بر روی آرد کاساوا‌ی اکسترودی، سیب‌زمینی هندی و آرد برنج اکسترودی مشاهده شد. بیشترین اندیس حلالیت در آب برای سیب‌زمینی هندی اکسترودی در شرایط شدید اکستروژن پخت (رطوبت پایین، دمای بالا) بود [۱۸]. این موضوع ممکن است به دلیل ژلاتینیزاسیون بیشتر، تجزیه‌ی گرانول‌های نشاسته و دپلمیریزاسیون نشاسته در رطوبت پایین باشد که سبب افزایش اندیس حلالیت در آب می‌شود [۱۸]. رطوبت بیشتر ماده‌ی ورودی به اکستروژن پخت، احتمالاً به دلیل نقش پلاستی‌سایزری آب، سبب کاهش اثر برشی و در نتیجه کاهش تجزیه‌ی نشاسته می‌شود. بروز پدیده اخیر افزایش جذب آب و کاهش اندیس حلالیت را دربر خواهد داشت [۱۹]. در واقع با افزایش مقدار رطوبت ماده اولیه زمان ماند در داخل اکسترودر کاهش یافته و از این رو میزان اثر برشی، تجزیه و دپلمیریزه شدن نشاسته کاهش می‌یابد که سبب کاهش اندیس حلالیت در آب می‌شود. برای سیب‌زمینی هندی اکسترودی با افزایش سرعت ماریچ و کاهش رطوبت ماده خوراک ورودی، اندیس حلالیت در آب افزایش یافت که گواهی بر آن هم پاشیدگی نشاسته در شرایط شدید اکستروژن پخت است. اندیس حلالیت در آب به دکستریزاسیون نشاسته در شرایط شدید اکستروژن پخت مربوط است [۱۳]. افزایش برش مکانیکی با افزایش سرعت ماریچ سبب تجزیه مولکول‌های بزرگ به مولکول‌های کوچک و کاهش وزن مولکولی می‌شود که در نتیجه اندیس حلالیت در آب افزایش می‌یابد.

### ۳-۶- تغییرات بر اندیس جذب روغن

جذب روغن می‌تواند نشانگر ماهیت آب‌گریزی ماده باشد و در واقع اندیس جذب روغن قابلیت محصول در به دام انداختن روغن تعریف می‌شود [۲۳]. میزان اندیس جذب روغن برای فراورده‌ی اکسترودی بین  $g/g$  ۴/۷۷ تا ۷/۴۱ و برای آرد

**Table 3** Effect of feed moisture and screw speed on Water absorption index, Water solubility index and Oil absorption index of extruded sorghum

Moisture (%)	Screw speed (rpm)	WAI (g/g)	WSI (g/g)	OAI (g/g)
14	140	5.35±0.06 <sup>d</sup>	30.23±0.24 <sup>c</sup>	6.49±0.09 <sup>c</sup>
	170	5.24±0.13 <sup>c</sup>	31.15±0.08 <sup>b</sup>	6.89±0.15 <sup>c</sup>
	190	5.01±0.08 <sup>f</sup>	32.36±0.09 <sup>a</sup>	7.41±0.06 <sup>b</sup>
16	140	5.63±0.26 <sup>c</sup>	23.49±0.09 <sup>c</sup>	5.38±0.08 <sup>f</sup>
	170	5.39±0.07 <sup>d</sup>	28.14±0.12 <sup>d</sup>	5.87±0.01 <sup>e</sup>
	190	5.25±0.31 <sup>c</sup>	30.38±0.08 <sup>c</sup>	6.23±0.07 <sup>d</sup>
19	140	6.46±0.4 <sup>a</sup>	14.37±0.07 <sup>g</sup>	4.77±0.16 <sup>h</sup>
	170	6.12±0.12 <sup>b</sup>	15.34±0.01 <sup>f</sup>	5.03±0.03 <sup>g</sup>
	190	6.07±0.06 <sup>b</sup>	17.91±0.14 <sup>c</sup>	5.34±0.05 <sup>f</sup>
control		3.17±0.08 <sup>g</sup>	4.43±0.04 <sup>h</sup>	8.96±0.09 <sup>a</sup>

Reported values correspond to the mean±standard deviation. Different letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

### ۳-۷- تغییرات میزان سختی فراورده حجیم

سختی یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که بر قابلیت پذیرش حسی محصول تأثیر می‌گذارد. با افزایش میزان رطوبت، میزان سختی فراورده حجیم افزایش ( $P < 0/05$ ) و با افزایش سرعت ماریچ، کاهش ( $P < 0/05$ ) یافت. نتایج ضریب انبساط شوندگی نتیجه‌ی به‌دست‌آمده در این قسمت را تصدیق می‌کند. با افزایش درصد رطوبت، سختی فراورده افزایش یافت که ممکن است به دلیل کاهش اندیس ضریب انبساط شوندگی و ایجاد ساختار متراکم و سخت‌تر باشد که منجر به افزایش سختی فراورده حجیم می‌شود. همچنین با توجه به اینکه میزان انبساط فراورده به میزان ژلاتینیزاسیون نشاسته مربوط است می‌توان نتیجه‌گیری کرد افزایش رطوبت با کاهش میزان ژلاتینیزاسیون و در نتیجه کاهش اندیس انبساط شوندگی موجب افزایش سختی فراورده می‌شود. نتایج مشابهی برای کاساوی اکسترودی [۱۵] و سورگوم اکسترودی [۱] نیز گزارش شده است. همچنین مازومدر و همکاران [۲۸] بیان کردند مقاومت بافت اسنک ذرت در مقابل فشرده شدن با افزایش رطوبت افزایش یافت. افزایش سرعت ماریچ اکسترودر نیز ممکن است با تأثیر بر میزان ژلاتینیزاسیون نشاسته و تجزیه‌ی مولکولی بر میزان سختی فراورده تأثیر بگذارد.

### ۳-۸- تغییرات پارامترهای رنگی

رنگ یکی از ویژگی‌های مهم محصولات است. تغییرات رنگ می‌تواند اطلاعات مهمی درباره‌ی واکنش‌های قهوه‌ای شدن و آمینواسیدها مایلارد، کاراملیزاسیون، درجه پخت و تخریب پیگمانت در طول فرایند اکستروژن پخت در اختیار بگذارد [۱]. لیزین و سایر آمینواسیدهای که در مواد اولیه وجود دارند ممکن است با قندهای احیا واکنش داده و با وقوع واکنش مایلارد سبب تیره‌تر شدن رنگ محصولات اکسترودی شوند [۱۴]. با افزایش رطوبت ماده اولیه تا ۱۶٪، شاخص روشنایی ( $L^*$ ) فراورده‌های حجیم‌شده افزایش و بعدازآن کاهش یافت. درحالی‌که افزایش سرعت ماریچ سبب کاهش روشنایی فراورده شد. رابین [۲۹] بیان کرد افزایش سرعت ماریچ به دلیل تسهیل واکنش بین پروتئین و قندهای احیا سبب تیره‌تر شدن رنگ فراورده‌های اکسترودی می‌شود. همچنین کاهش مقدار رطوبت به دلیل اثرات رقابتی مختلف، روشنایی را کاهش می‌دهد. در حقیقت دمای بالا همراه با رطوبت پایین، شرایط تشدید کنندگی واکنش مایلارد هستند [۱۴].



**Table 4** Effect of feed moisture and screw speed on color parameters of extruded sorghum

Moisture (%)	Screw speed (rpm)	L*	a*	b*
14	140	71.43±0.04 <sup>d</sup>	6.18±0.09 <sup>c</sup>	24.18±0.15 <sup>bc</sup>
	170	71.33±0.03 <sup>d</sup>	6.02±0.01 <sup>c</sup>	23.92±0.08 <sup>c</sup>
	190	70.42±0.11 <sup>e</sup>	5.82±0.03 <sup>d</sup>	23.42±0.11 <sup>d</sup>
16	140	74.42±0.09 <sup>b</sup>	5.69±0.13 <sup>d</sup>	22.73±0.04 <sup>e</sup>
	170	72.86±0.04 <sup>c</sup>	5.34±0.08 <sup>e</sup>	22.34±0.07 <sup>f</sup>
	190	72.54±0.12 <sup>c</sup>	5.11±0.06 <sup>f</sup>	22.11±0.03 <sup>f</sup>
19	140	68.32±0.02 <sup>f</sup>	6.30±0.07 <sup>b</sup>	24.32±0.14 <sup>ab</sup>
	170	68.27±0.08 <sup>f</sup>	6.66±0.17 <sup>a</sup>	24.52±0.03 <sup>a</sup>
	190	68.22±0.16 <sup>f</sup>	6.82±0.04 <sup>a</sup>	24.89±0.04 <sup>a</sup>
Control		80.37±0.14 <sup>a</sup>	4.18±0.07 <sup>g</sup>	18.46±0.08 <sup>g</sup>

Reported values correspond to the mean±standard deviation. Different letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

مارپیچ به طور کلی پذیرش بافت و تردی را بهبود بخشید. این ممکن است به دلیل این واقعیت باشد که با افزایش رطوبت، بافت محصول متراکم و در نتیجه پذیرش آن کاهش می‌یابد. همچنین افزایش سرعت مارپیچ به دلیل اثر برشی، از میزان سختی فراورده کاسته و تردی آن را افزایش داد. نتایج پذیرش کلی نشان داد فراورده‌ی اکستروژن در رطوبت ۱۴٪ و سرعت مارپیچ rpm ۱۹۰ بیشترین پذیرش کلی را داشت. جاده‌ها و همکاران [1] نیز نتایج مشابهی برای آرد سورگوم اکستروژن مشاهده کردند.

### ۳-۹- خصوصیات حسی

خصوصیات حسی مورد ارزیابی در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان داد رطوبت خوراک ورودی و سرعت مارپیچ اکستروژن پخت تأثیر چشمگیری بر خصوصیات مورد ارزیابی داشت. پذیرش رنگ بین ۶/۶-۶، بافت بین ۷/۳۵-۴/۹، طعم بین ۳/۴۲-۶/۸۲، تردی بین ۳/۱-۶/۸۶ و پذیرش کلی بین ۳/۴۲-۶/۸۲ متغیر بود. نتایج نشان داد به طور کلی از لحاظ رنگ و طعم تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌ها وجود نداشت. افزایش رطوبت، پذیرش بافت و تردی را کاهش داد؛ این در حالی است که افزایش دور

**Table 4** Effect of feed moisture and screw speed on sensory properties of extruded sorghum

Moisture (%)	Screw speed (rpm)	color	Texture	Flavor	Crispiness	Overall acceptability
14	140	6.12 <sup>bc</sup>	6 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	6.11 <sup>b</sup>	6.59 <sup>a</sup>
	170	6 <sup>c</sup>	6.12 <sup>b</sup>	6.32 <sup>a</sup>	6.22 <sup>b</sup>	6.8 <sup>a</sup>
	190	6.36 <sup>a</sup>	7.35 <sup>a</sup>	6.17 <sup>ab</sup>	6.86 <sup>a</sup>	6.82 <sup>a</sup>
16	140	6 <sup>c</sup>	5.4 <sup>c</sup>	6.1 <sup>b</sup>	5 <sup>d</sup>	5.6 <sup>c</sup>
	170	6.23 <sup>ab</sup>	5.61 <sup>c</sup>	6.13 <sup>ab</sup>	5.61 <sup>c</sup>	6 <sup>bc</sup>
	190	6.4 <sup>a</sup>	6.20 <sup>b</sup>	6 <sup>b</sup>	6.25 <sup>b</sup>	6.13 <sup>b</sup>
19	140	6.09 <sup>bc</sup>	4.9 <sup>c</sup>	6.34 <sup>a</sup>	3.1 <sup>f</sup>	3.42 <sup>e</sup>
	170	6.17 <sup>b</sup>	5 <sup>de</sup>	6.18 <sup>ab</sup>	4.35 <sup>c</sup>	4.91 <sup>d</sup>
	190	6.39 <sup>a</sup>	5.14 <sup>d</sup>	6.1 <sup>b</sup>	5.18 <sup>cd</sup>	5 <sup>d</sup>

Reported values correspond to the mean±standard deviation. Different letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

گرفت. مشخص شد رطوبت اولیه‌ی آرد سورگوم و سرعت مارپیچ تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری داشتند. شرایط فرایند اکستروژن پخت و میزان رطوبت ماده اولیه با تأثیر بر میزان ژلاتینی‌زاسیون نشاسته، زمان ماند محصول در داخل اکستروژر و اثر برشی مارپیچ بر ویژگی‌های محصول نهایی تأثیر می‌گذارند. با افزایش میزان رطوبت ماده اولیه دانسیته‌ی توده‌ای

### ۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق نشان داد که آرد سورگوم به خوبی می‌تواند در تولید فراورده‌های آماده مصرف، استفاده شود. خصوصیات کاربردی و بافتی و همچنین میزان انبساط، دانسیته‌ی توده‌ای و متغیرهای رنگی فراورده‌ی حجیم‌شده‌ی سورگوم مورد اندازه‌گیری قرار

- properties of twin-screw extruded sorghum. *Journal of Cereal Science* 2010; 51: 392-401.
- [8] Vargas-Solórzano J.W, Carvalho C.W.P, Takeiti C.Y, Ascheri J.L.R, Queiroz V.A.V. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. *Food Research International* 2014; 55: 37-44.
- [9] AACC C. Approved methods of the American association of cereal chemists 2000; 54-21.
- [10] González R, Torres R. L, De Greef D, Tosi E, Re E. Effects of popping and extrusion processes on some hydration properties of amaranth. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 2002; 19(4): 391 - 395.
- [11] Ilo S, Liu Y, Berghofer E. Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT-Food Science and Technology* 1999; 32(2): 79-88.
- [12] Anderson R, Conway H, Peplinski A. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. *Starch - Stärke* 1970; 22(4): 130-135.
- [13] Doublier J, Colonna P, Mercier C. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. II. Rheological characterization of starch pastes. *Cereal Chem* 1986; 63(3): 240-246.
- [14] Hagenimana A, Ding X, Fang T. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 2006; 43(1): 38-46.
- [15] Badrie N, Mellowes W. Effect of extrusion variables on cassava extrudates. *Journal of Food Science* 1991; 56(5): 1334-1333.
- [16] Brahma S, Weier S. A, Rose D. J. Effects of selected extrusion parameters on physicochemical properties and in vitro starch digestibility and  $\beta$ -glucan extractability of whole grain oats. *Journal of Cereal Science* 2016; 70: 85-90.
- [17] Padmanabhan M, Bhattacharya M. Extrudate expansion during extrusion cooking of foods. *Cereal foods world (USA)* 1989.
- [18] Sebio L, Chang Y. Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. *Food/Nahrung* 2000; 44(2): 96-101.
- [19] Haralick R. M, Shanmugam K. Textural features for image classification. *IEEE* و اندیس جذب آب افزایش یافت. همچنین افزایش رطوبت ماده اولیه با کاهش اثر برشی اکستروژن پخت و میزان تجزیه نشاسته سبب کاهش اندیس حلالیت در آب، کاهش ضریب انبساط شوندگی و تخلخل فرآورده حجیم شد. افزایش رطوبت به دلیل ایجاد ساختار متراکم در فرآورده افزایش سختی شد. همچنین افزایش رطوبت سبب کاهش اثر دما بر ماده داخل اکسترودر شده و واکنش‌های قهوه‌ای شدن و مایلارد کاهش می‌یابد که از این طریق بر شاخص‌های رنگی تأثیر می‌گذارد. با آنالیز ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مشخص گردید که در مجموع شرایط رطوبت ۱۴٪ و دور ماریج ۱۹۰rpm برای تولید فرآورده‌ی حجیم‌شده از آرد سورگوم مناسب بوده و بیشترین پذیرش کلی را دارد.

## ۵- منابع

- [1] Jadhav M. V, Annapure U. S. Effect of extrusion process parameters and particle size of sorghum flour on expanded snacks prepared using different varieties of sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science and Technology* 2013; 31(2): 71 -79.
- [2] Awika J. M, Rooney L. W. Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry* 2004; 65(9): 1199-1221.
- [3] Rooney L, Pflugfelder R. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. *Journal of Animal Science* 1986; 63(5): 1607-1623.
- [4] Gomez M, Aguilera J. Changes in the starch fraction during extrusion - cooking of corn. *Journal of Food Science* 1983; 48(2): 378-381.
- [5] Llopart E. E, Drago S. R, De Greef D. M, Torres R. L, González R. J. Effects of extrusion conditions on physical and nutritional properties of extruded whole grain red sorghum (*sorghum spp*). *International journal of food sciences and nutrition* 2014; 65(1): 34-41.
- [6] Lazou A, Krokida M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International* 2010; 43(2): 609-616.
- [7] Mahasukhonthachat K, Sopade P, Gidley M. Kinetics of starch digestion and functional

- flour. *Plant foods for human nutrition* 2007; 62(2): 43-48.
- [25] Lazou A, Krokida M. Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International* 2010; 43(2): 609-616.
- [26] Bencini M. C. Functional Properties of Drum - Dried Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Flours. *Journal of Food Science* 1986; 51(6): 1518-1521.
- [27] Gutkoski L, El-Dash A. Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant foods for human nutrition* 1999; 54(4): 315-325.
- [28] Mazumder P, Roopa B, Bhattacharya S. Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering* 2007; 79(2): 511 -516.
- [29] Robin G. *Extrusion Cooking. Technology and Applications*. 1st, NW: Wood head Publishing Limited and CRC Press, Inc, Boca Raton 2001; 20(1): 2022-2025.
- Transactions on systems, man, and cybernetics* 1973; (6): 610-621.
- [20] Onyango C, Noetzold H, Bley T, Henle T. Proximate composition and digestibility of fermented and extruded uji from maize-finger millet blend. *LWT-Food Science and Technology* 2004; 37(8): 827- 832.
- [21] Andersson Y, Hedlund B. Extruded wheat flour: correlation between processing and product quality parameters. *Food quality and preference* 1990; 2(4): 201 -216.
- [22] Gujska E, Khan K. Functional properties of extrudates from high starch fractions of navy and pinto beans and corn meal blended with legume high protein fractions. *Journal of Food Science* 1991; 56(2): 431 -435.
- [23] Eke, O, Akobundu E. Functional properties of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) seed flour as affected by processing. *Food chemistry* 1993; 48(4): 337-340.
- [24] Drago S, Velasco-González O, Torres R, González R, Valencia M. Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean

## Effect of extrusion variable on physicochemical properties of extruded sorghum

Jafari, M. <sup>1</sup>, Koocheki, A. <sup>2</sup>, Milani, E. <sup>3\*</sup>

1. MSc student, Department of Food Science, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran

(Received: 2016/09/21 Accepted:2017/11/01)

Sorghum is a tolerant grain against droughtness and rich source of starch, protein (kafirin) and physicochemical components. Sorghum can be used in an extruded products because of its bland flavor, light color and good expansion. According to factorial design, whole grain sorghum was extruded to evaluation the effect of moisture (14, 16 and 19 %) and screw speed (140, 170 and 190 rpm) at constant temperature (150°C) on textural and physicochemical properties. The most value of porosity (56.24 %), expansion (3.39), water absorption (6.67 g g<sup>-1</sup>) and hardness and also the lowest value of bulk density (.344 g cm<sup>3</sup>) and oil absorption (4.77 g g<sup>-1</sup>) was obtained from 19% - 140 rpm. The most value of water solubility (32%) was obtained from 14% - 190 rpm and the lowest value of L\* (68.22) was obtained from 19% - 170 rpm. Sensory analyses showed that sorghum flour extruded at 190 rpm with 14% feed moisture had most general acceptability.

**Keywords:** Twin-screw extruder, Image processing, Healthy

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: e\_milani81@yahoo.com