

مروری بر تأثیر فرآیند اکستروژن بر ویژگی های آرد حبوبات

A review of the effect of extrusion process on the properties of legume flour

نسترن اکبرزاده: دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

فخری شهیدی: عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

محمدجواد وریدی: عضو هیئت علمی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد

الناز میلانی: استادیار، گروه پژوهشی فناوری مواد غذایی جهاددانشگاهی مشهد

چکیده

حبوبات در بسیاری از مناطق دنیا به دلایلی کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله این دلایل طولانی بودن زمان لازم برای پخت غذا های حاوی حبوبات و همچنین وجود ترکیبات ضد تغذیه ای و نفاخ در آن ها می باشد. فاکتور های ضد تغذیه ای که در حبوبات وجود دارند مانند اسید فیتیک، بازدارنده های تریپسین و تانن ها نامطلوب بوده و منجر به کاهش دسترسی به مواد معدنی موجود در آن ها می شوند لذا تلاش برای افزایش استفاده از حبوبات، منجر به ایجاد طیف وسیعی از تکنیک های اصلاحی به منظور افزایش ارزش تغذیه ای این دانه ها شده است. از جمله این تکنیک ها می توان به تکنولوژی پخت اکستروژن اشاره کرد. اکستروژن منجر به بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی، حسی و تغذیه ای حبوبات و همچنین تولید محصولاتی با ظاهر متفاوت و جدید می شود. آرد اکستروژن شده می تواند در فرمولاسیون های مختلف فرآورده های غلات مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: اکستروژن، حبوبات، فیزیکوشیمیایی، تغذیه ای، حسی

Abstract

Legumes are an underutilized commodity in most regions of the world due to the length of time needed to prepare a legume-based meal and, the belief that legumes are of low nutritive value due to the presence of flatulence and anti-nutritional factors. antinutritional factors such as phytic acid, trypsin inhibitors and tannins, which are present in them was considered undesirable for obstructing the bioavailability of minerals. Attempts to increase the utilization of legumes have employed a wide range of processing techniques such as extrusion cooking. Extrusion lead improved physicochemical, sensory and nutrition properties of legumes and produce of product with new appearance. extrudate flour can use for different application in cereal products.

Keywords: extrusion, legumes, physicochemical, nutritional, sensory

مقدمه:

شیوع بیماری‌های مربوط به گردش خون در کشورهای آسیایی بسیار کمتر از سایر کشورها می‌باشد که این امر به دلیل مصرف بالای حبوبات در این کشورهاست (Kahlon, Smith, Shao, 2005). با این حال حبوبات در بسیاری از مناطق دنیا به دلایلی کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله این دلایل طولانی بودن زمان لازم برای پخت غذا‌های حاوی حبوبات و همچنین وجود ترکیبات ضد تغذیه‌ای و نفاخ در آن‌ها می‌باشد (Ravindran, Carr, Hardacre, 2011). حبوبات می‌توانند به صورت دانه کامل، پخته شوند و مورد استفاده قرار گیرند یا به آرد و فراکسیون‌های مختلف مانند نشاسته، فیبر، کنسانتره پروتئین و ایزوله پروتئینی تفکیک شوند. این دسته از مواد غذایی دارای ترکیبات زیست فعال می‌باشند (Tiwari, Gowen, McKenna, 2011). که دارای اثرات سلامتی بخش هستند. این گروه از مواد غذایی دارای مقادیر بالایی از پروتئین، فیبرهای رژیمی، کمپلکس‌های کربوهیدراتی و ایزوفلاوون‌ها نیز هستند و مقادیر چربی و سدیم آن‌ها پایین است (Nayak, Berrios, Powers, Tang, 2011). این ترکیبات خصوصیات عملکردی منحصر به فردی از خود نشان می‌دهند. پروتئین حبوبات در وارپته‌های مختلف در محدوده ۳۰-۲۰ درصد بر مبنای وزن خشک قرار دارد. پروتئین غلات از نظر اسیدهای آمینه ضروری به ویژه لیزین دارای کمبود هستند، در حالی که پروتئین حبوبات حاوی مقدار کافی از لیزین

می‌باشند (Qayyum, Butt, Anjum, Nawaz, 2014). در واقع حبوبات از نظر اسیدهای آمینه ضروری غنی هستند و لذا با اضافه کردن آن‌ها به غلات می‌توان محصولات غنی‌سازی شده‌ی جدیدی تولید کرد. به منظور بهبود کیفیت تغذیه‌ای، بافتی و سایر ویژگی‌های عملکردی محصول و یا به دلایل اقتصادی از این پروتئین‌ها در تولید محصولات جدید استفاده می‌شود. از جمله کاربردهای آرد حبوبات و فراکسیون‌های مختلف آن می‌توان به استفاده از آن‌ها در محصولات نانوائی، سوپ، پاستا، نودل، محصولات کنسروی، محصولات گوشتی، غلات صبحانه و اسنک‌ها اشاره کرد (Tiwari et al., 2011). تولید و استفاده از مشتقات حبوبات شامل آرد، فیبر، نشاسته و پروتئین به عنوان یک صنعت با سوددهی بالا در حال رشد می‌باشد. در واقع به دلیل ویژگی‌های سلامتی بخش این ترکیبات و نیاز مصرف‌کننده به داشتن یک زندگی سالم، توجه به حبوبات بسیار افزایش یافته است. مصرف حبوبات منجر به کاهش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت و سرطان‌های مربوط به دستگاه گوارش می‌شود (Simons et al., 2014).

اما فاکتورهای ضد تغذیه‌ای که در حبوبات وجود دارند مانند اسید فیتیک، بازدارنده‌های تریپسین و تانن‌ها نامطلوب بوده و منجر به کاهش دسترسی به مواد معدنی موجود در آن‌ها می‌شوند (Rathod, Annapure, 2016). سال ۲۰۱۶ از سوی سازمان جهانی غذا و دارو به عنوان سال جهانی حبوبات اعلام شده است که این امر نشان‌دهنده اهمیت مصرف حبوبات در سبد خانوار می‌باشد.

باشد. لذا تلاش برای افزایش استفاده از حبوبات، منجر به ایجاد طیف وسیعی از تکنیک‌های اصلاحی به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای این دانه‌ها شده است. از جمله این تکنیک‌ها می‌توان به جوانه زنی، پوست‌گیری، پختن، برشته کردن، اتوکلاو گذاری، تخمیر و تکنولوژی پخت اکستروژن اشاره کرد (Alonso, Orue, Marzo, 1998).

فرآیند اکستروژن در حقیقت فرآیند پردازش با دمای بالا در زمان کوتاه است که به وسیله عمل ترکیبی رطوبت، حرارت، انرژی مکانیکی و فشار صورت می‌گیرد. طی این عمل تجزیه ریز مغزی‌ها تحت اثر حرارت به حداقل ممکن می‌رسد. در

حالی که قابلیت هضم محصول در اثر ژلاتینه شدن نشاسته، دناتوره شدن پروتئین و غیرفعال شدن ترکیبات نامطلوب نظیر آنزیم‌ها و عوامل غیرمغذی افزایش می‌یابد. پخت اکستروژن مواد نشاسته‌ای تبدیل به یک تکنیک رایج جهت تولید طیف وسیعی از محصولات نظیر اسنک، غلات صبحانه و ... شده است. طی این عملکرد فنی، خوراک تحت افزایش پیوسته‌ی فشار، فراوری، اکستروژن و پخته می‌شود و سپس به دلایل افت ناگهانی فشار منبسط می‌گردد (Anton, Fulcher, Arntfield, 2009).

ویژگی‌های قابل توجه در فرآیند اکستروژن پیوسته بودن آن است که در یک حالت پایدار دینامیکی عمل می‌نماید به طوری که میزان مواد ورودی معادل میزان مواد جامد خروجی است و رطوبت در این فرآیند، پایین (بین ۱۰ تا ۴۰٪ براساس وزن مرطوب) می‌باشد. علاوه بر مزایای معمول معمول خوراک تولیدی توسط فرآیند

تشکیل باند های پپتیدی یا از بین رفتن اسید آمینه در اثر واکنش میلارد نمی شود. کاهش انحلال پذیری پروتئین های اکسترود شده در محلول بافری شامل اوره نشان داد که حفظ ساختار نمونه های اکسترود شده به طور عمده به باند های دی سولفید کووالانسی و به میزان کمتر به برهم کنش های غیر کووالانسی مربوط می شود.

Hood-Niefer و همکاران (۲۰۱۰) اثر مقدار پروتئین (۰/۶٪، ۱/۲٪ و ۱/۸٪ بر مبنای وزن خشک)، محتوای رطوبت (۰/۲۱٪، ۰/۱۸٪ و ۰/۱۵٪)، دما (دمای قسمت های انتهایی محفظه اکسترودر ۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه سانتی گراد) و یک عامل حجم دهنده (۰/۵٪ سدیم بی کربنات) را بر ویژگی های انبساط آرد نخود با استفاده از یک اکسترودر دو مارپیچه که مارپیچ ها در جهت هم می چرخند، مورد بررسی قرار دادند. نشاسته نخود (۰/۶٪ پروتئین و ۰/۸۵٪ نشاسته) و آرد نخود (۰/۲۴٪ پروتئین و ۰/۵۶٪ نشاسته) با هم مخلوط شد. اکسترودر آرد نخود شامل ۰/۶٪ پروتئین و ۰/۱۵٪ رطوبت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی گراد، ضریب انبساط ۳/۳ در غیاب و ۳/۶ در حضور عوامل حجم دهنده را نشان می دهد. با افزایش محتوای پروتئین یا محتوای رطوبت ضریب انبساط کاهش، دانسیته ذره و توده و سختی افزایش یافت. میزان از دست رفتن لیزین در مقادیر بالاتری از پروتئین و رطوبت به تناسب کمتر بود.

در ۱۰-۲ pH در محلول های نمکی بیشتر از آب بوده است. اکسترودر در بافر (pH=7) حلالیت پروتئین آرد نخود و لوبیا قرمز را به میزان زیادی کاهش می دهد، اما استخراج با بافر ۲- مرکاپتواتانول یا سدیم دودسیل سولفات به تنهایی یا در ترکیب با هم، به میزان زیادی قابلیت استخراج پروتئین را افزایش می دهد. انحلال پذیری در بافر سدیم دو دسیل سولفات و ۲- مرکاپتواتانول برای هر دو نمونه اولیه و اکسترود شده نزدیک به ۱۰۰ در صد بود. کل گروه های سولفیدریل آزاد و دی سولفید بعد از پخت اکسترودر به طور معنی داری کاهش یافت. علاوه بر این تیمار اکسترودر باعث ایجاد تغییرات بزرگی در الگوهای اتصال فراکسیون های آلبومین و گلوبولین می شود که با استفاده از SDS-PAGE به دست آمد. WAC و WSI نمونه های اکسترود شده به طور معنی داری در مورد هر دو نمونه ی نخود و لوبیا قرمز افزایش یافت و کاهش معنی داری در میزان OAC در آرد لوبیای قرمز اکسترود شده نیز مشاهده شد.

Osen و همکاران (۲۰۱۵) اثر پخت اکسترودر با رطوبت بالا را بر برهمکنش های پروتئین-پروتئین در ایزوله پروتئین نخود مورد بررسی قرار دادند. سه ایزوله پروتئینی نخود تجاری تهیه شد و محصولات اکسترود شده حاصل از آنها از نظر ترکیب اسید آمینه، توزیع وزن مولکولی و بر هم کنش های پروتئین-پروتئین مورد بررسی قرار گرفتند. بررسی ها نشان داد که اکسترودر بر روی درجه ی هیدرولیز هیچ اثری ندارد و ترکیب اسید آمینه نشان می دهد که انرژی حرارتی و مکانیکی در طی اکسترودر منجر به

اکسترودر مانند مزه ی مطلوب، عدم تفکیک مواد تشکیل دهنده، تغذیه ی راحت و کاهش ضایعات هنگام تغذیه، اکسترود در مقایسه با سایر فرآیندها دارای مزایایی از جمله ژلاتینه شدن نشاسته و افزایش ظرفیت جذب آب و در نتیجه افزایش قابلیت هضم آن، تولید خوراکی متخلخل با بافتی نرم، تولید محصولاتی با شکل های مختلف با استفاده از قالب های خروجی مختلف، تخریب فاکتورهای ضدتغذیه ای، افزایش حلالیت فیبر های رژیمی و کاهش اکسید لیپید و میکروارگانیزم های آلوده کننده می باشد.

حبوبات به عنوان منبعی از پروتئین های گیاهی با محتوای فیبر بالا و کربوهیدرات های پیچیده، دارای اندیس گلیسمی پایین نیز هستند و می توانند در فرمولاسیون های مختلف برای پخت اکسترودر مورد استفاده قرار گیرند (Morales et al., 2015).

پیشینه پژوهش:

Alonso و همکاران (۲۰۰۰) اثر شرایط پخت اکسترودر بر روی بافت و خصوصیات عملکردی آرد نخود و لوبیا قرمز را مورد بررسی قرار دادند. و حلالیت پروتئین در pH های مختلف و حلال های مختلف را ارزیابی کردند. آنالیز فراکسیون های پروتئینی به وسیله الکتروفورز در ژل (SDS-PAGE) انجام شد و گروه های سولفیدریل و دی سولفید، ظرفیت نگهداری آب (WHC)، شاخص حلالیت در آب (WSI) و ظرفیت جذب روغن (OAC) نیز تعیین شد. هیچ تغییری در میزان نیتروژن کل در دانه های نخود و لوبیا قرمز به عنوان پیامد فرایند حرارتی اتفاق نیفتاد. حلالیت پروتئین ها

۱۷/۵٪ و اندازه ذرات کوچکتر از ۱۲ برای تولید اسنک مناسب می باشد.

Suksomboon و همکاران (۲۰۱۰) اثر شرایط اکستروژن را بر ویژگی های فیزیکیوشیمیایی اسنک بر پایه ی مخلوط برنج بنفش (Hom Nil) و آرد سوبا را مورد بررسی قرار دادند. آردسوبا در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵٪ به آرد برنج بنفش اضافه شد و در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد و سرعت مارپیچ ۳۵۰ دور در دقیقه اکستروژن گردید. کیفیت اسنک تولیدی با افزایش محتوای آرد سوبا، کاهش یافت با این حال کیفیت محصول زمانی که سطح آرد سویای استفاده شده، ۵٪ بود بهینه بود. اثر محتوای

رطوبت (۱۵، ۱۷ و ۱۹٪ بر اساس وزن مرطوب)، دمای محفظه (۱۵۰، ۱۷۰ و ۱۹۰ درجه سانتی گراد) و سرعت مارپیچ (۳۵۰، ۴۰۰ و ۴۵۰ دور بر دقیقه) بر ویژگی های فیزیکیوشیمیایی اسنک های تولیدی مورد بررسی قرار گرفت. این ویژگی ها شامل میزان انبساط، دانسیته، شاخص جذب آب (WAI)، شاخص حلالیت در آب (WSI) و سختی می باشد. اسنکی که در رطوبت ۱۵٪، دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد و سرعت مارپیچ ۴۵۰ دور در دقیقه تولید شد، از نظر پذیرش مصرف کننده بالاترین امتیاز را داشت.

Nayak و همکاران (۲۰۱۱) اثر اکستروژن بر ویژگی های آنتی اکسیدانی و رنگی محصول اکستروژن شده حجیم حاصل از مخلوط آرد سیب زمینی بنفش و نخود زرد را مورد بررسی قرار دادند. در واقع سه فرمولاسیون مختلف از آرد سیب زمینی بنفش و نخود زرد تهیه و با استفاده از یک اکستروژر دو مارپیچ اکستروژن شد. میزان

مقایسات نشان داد که ترکیب شیمیایی اولیه پروتئین ها بر ویسکوزیته پروتئین در طی فاز گرمایی اولیه فرایند اکستروژن موثر است. خصوصیات بافتی محصول به دمای پخت وابسته بود و اساسا در بین پروتئین های مختلف مشابه است. اگرچه به طور قابل ملاحظه ای انرژی ورودی متفاوتی در خلال بافت دار شدن مشاهده شد. یافته ها نشان دادند که ایزوله ی پروتئین نخود قابلیت این را دارد که به عنوان ماده اولیه در تولید آنالوگ گوشت مورد استفاده قرار گیرد.

Dandamrongrak و همکاران (۲۰۱۱) اسنک بر پایه ی مخلوط آرد برنج و ماش تولید کردند و ضمن بهینه سازی پارامتر های تولید، ویژگی اسنک تولید شده را نیز بررسی نمودند. در این پژوهش از ماش و برنج جاسمین به عنوان ماده اولیه استفاده شد. دستگاه اکستروژر تک مارپیچ و از نوع آزمایشگاهی بود. سه سطح رطوبت اولیه مختلف برای دانه هایی که اندازه های مختلف بر اساس سایز مش داشتند (اندازه ی کمتر از سایز ۱۴، بین ۱۲ تا ۱۴ و بزرگتر از ۱۲)، شامل ۱۵، ۱۷/۵ و ۲۰٪ در نظر گرفته شد. میزان انبساط در دمای محفظه ثابت ۱۹۰ درجه سانتی گراد بود. روش پاسخ سطح برای به دست آوردن شرایط بهینه ی رطوبت و اندازه ی ذرات مورد استفاده قرار گرفت. کمترین محتوای رطوبتی ویژگی های بهتری از نظر میزان انبساط ایجاد می کنند و میزان دانسیته ظاهری و سختی کمتر است. اندازه ذرات در کمترین حالت مورد آزمون منجر به ایجاد خصوصیات انبساطی و بافتی بهتر شد. در نتیجه محتوای رطوبت مناسب در شرایط بهینه کمتر از

Fang و همکاران (۲۰۱۴) اثر انرژی مکانیکی مخصوص اکستروژن را بر خصوصیات فیزیکیوشیمیایی شامل پارامتر های رنگ (L^* ، a^* ، b^* و $E\Delta$)، ویژگی های بافتی (قدرت کشش پذیری، سختی، قابلیت جویدن و میزان بافت دار بودن)، ویسکوزیته لحظه ای در قالب، حلالیت پروتئین و توزیع وزن مولکولی پروتئین سویای بافت داده شده مورد بررسی قرار دادند. افزایش انرژی مکانیکی مخصوص اکستروژن منجر به ایجاد بافتی با L^* کمتر اما a^* و $E\Delta$ ، قدرت کش آمدن و سختی بیشتر می شود. هنگامی که انرژی مکانیکی مخصوص اکستروژن از ۸۱۹/۷۰ به ۱۲۵۸/۷۰ کیلوژول/کیلوگرم افزایش یافت، ویسکوزیته خمیر در قالب اکستروژر از ۹۹۷/۱۷ به ۸۶۷/۲۹ پاسکال ثانیه کاهش یافت. افزایش انرژی مکانیکی مخصوص منجر به افزایش حلالیت پروتئین در محلول بافر فسفات به اندازه ۱۵/۳۰٪ می شود همچنین افزایش انرژی مکانیکی مخصوص، قسمت فراکسیون های کوچک تر پروتئین را افزایش می دهد و میزان زیر واحد های با وزن مولکولی پایین را در SDS-PAGE افزایش می دهد و منجر به تیرگی بیشتر و قدرت کشش پذیری بیشتر در محصول می شود.

Osen و همکاران (۲۰۱۴) ایزوله پروتئین نخود را در شرایط پخت اکستروژن با رطوبت بالا اکستروژن کردند و فاکتور هایی چون ویژگی های مواد اولیه، پاسخ های اکستروژر و ویژگی های بافتی محصول را بررسی کردند. سه نوع ایزوله پروتئینی نخود تجاری فراهم شد تا تعیین شود که کدام ویژگی پروتئین نخود بر روی پاسخ های اکستروژر و ویژگی های بافتی محصول موثر است. نتایج

انبساط محصول اکستروژن شده بین ۳/۹۳-۴/۷۵ متغیر بود. ظرفیت آنتی اکسیدانی و محتوای فنولی کل محاسبه گردید و برای ارزیابی رنگ هم میزان محتوای آنتوسیانین مورد بررسی قرار گرفت. بعد از فرایند اکستروژن محتوای آنتوسیانین کاهش ۷۰-۶۰ درصدی از خود نشان داد. اما پخت اکستروژن با مهار رادیکال‌های آزاد باعث حفظ ظرفیت آنتی اکسیدانی محصول اکستروژن شده نسبت به ماده اولیه می شود.

Rathod و همکاران (۲۰۱۶) اثر فرایند اکستروژن را بر فاکتورهای ضد تغذیه ای و قابلیت هضم نشاسته و پروتئین بلغور عدس بررسی کردند. در این پژوهش از روش پاسخ سطح برای ارزیابی خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی محصول اکستروژن شده استفاده شد. اثر محتوای رطوبت مختلف (۱۴، ۱۸ و ۲۲٪) و دمای محفظه (۱۸۰-۱۴۰ درجه سانتی گراد) بر غیرفعال سازی فاکتورهای ضد تغذیه ای عدس شامل بازدارنده های تریپسین، فیتیک اسید و تانین ها و همچنین قابلیت هضم پروتئین و نشاسته مورد بررسی قرار گرفت. سرعت مارپیچ در این پژوهش در محدوده ۱۵۰-۲۵۰ دور در دقیقه بوده و نتایج نشان داد که پخت اکستروژن باعث کاهش ۹۹/۵۴ درصدی بازدارنده تریپسین، ۹۹/۳۰ درصدی فیتیک اسید و ۹۸/۸۳ درصدی تانین می شود بدون این که تغییری در محتوای پروتئینی ایجاد کند. تیمار حرارتی اعمال شده در واقع منجر به افزایش هضم پروتئین به میزان ۸۹٪ و نشاسته به میزان ۹۶٪ می شود.

Alonso و همکاران (۱۹۹۸) اثر اکستروژن و سایر روش ها را بر روی محتوای پروتئین و فاکتورهای ضد تغذیه ای دانه های نخود فرنگی سبز مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش اثر فرایند اکستروژن با سایر روش های قراردادی بر روی پروتئین، اسید فیتیک، تانن ها، پلی فنول ها تریپسین، کیموتریپسین و بازدارنده های α -آمیلاز و فعالیت هم آگلوتینین ها در سه گونه ی مشخص نخود سبز شامل Renata, Solara و Ballet مورد بررسی قرار گرفت. گونه Ballet بالاترین میزان پروتئین، اسید فیتیک، تانن، پلی فنول و بازدارنده های تریپسین و کیموتریپسین را داشت. همه این گونه ها دارای بازدارنده های تریپسین و کیموتریپسین بودند ولی فقط گونه Solara دارای بازدارنده های α -آمیلاز بود. تحت شرایط اکستروژن در دمای ۱۴۸ درجه سانتی گراد، محتوای رطوبت ۲۵٪ و سرعت مارپیچ ۱۰۰ دور در دقیقه، بیشترین اثر گذاری بر ترکیبات ضد تغذیه ای و بازدارنده های موجود مشاهده شد این امر بدون این که تغییر یا اصلاحی در محتوای پروتئین اتفاق بیفتد به انجام رسید در حالی که در فرایند هایی مثل پوست گیری، خیساندن و جوانه زنی محتوای پروتئینی دستخوش تغییر قرار گرفت.

Meng و همکاران (۲۰۱۱) اثر شرایط اکستروژن را بر پارامترهای سیستم و خصوصیات فیزیکی اسنک بر پایه آرد نخود را مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش از روش پاسخ سطح برای بررسی اثر محتوای رطوبت (۱۸-۱۶٪) سرعت مارپیچ (۳۲۰-۲۵۰ دور در دقیقه) و دمای محفظه (۱۷۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد) بر پارامتر

های سیستم شامل دمای محصول، فشار قالب خروجی، گشتاور موتور و انرژی مکانیکی مخصوص (SME) و همچنین بر خصوصیات انبساط، دانسیته ظاهری و سختی اسنک بر پایه آرد نخود، استفاده شد. دمای محصول و فشار قالب توسط هر سه متغیرهای فرایند، تحت تاثیر قرار گرفت، در حالی که گشتاور موتور و SME فقط به وسیله سرعت مارپیچ و دمای محفظه تحت تاثیر قرار گرفت. هر سه متغیر به طور معنی داری بر پاسخ محصول اثر گذاشتند. محصول با ویژگی های مطلوب شامل میزان انبساط بالا، دانسیته ظاهری و سختی کم، در محتوای

رطوبتی پایین، سرعت مارپیچ بالا و دمای محفظه ی متوسط رو به بالا به دست آمد. این امر نشان می دهد که می توان از نخود به منظور تولید اسنک با خصوصیات تغذیه ای مناسب استفاده کرد.

Balandran-Quintana و همکاران (۱۹۹۸) خصوصیات عملکردی و تغذیه ای محصول اکستروژن شده حاصل از بلغور کامل لوبیا چیتی را مورد بررسی قرار دادند. بلغور لوبیا چیتی در رطوبت های ۱۸، ۲۰ و ۲۲٪، در سه دمای ۱۴۰، ۱۶۰ و ۱۸۰ درجه سانتی گراد با سرعت مارپیچ های ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ دور در دقیقه در یک اکستروژر آزمایشگاهی تک مارپیچ، اکستروژن گردید. شاخص انبساط، دانسیته ظاهری، شاخص جذب آب و حلالیت در آب، قابلیت هضم پروتئین و فعالیت بازدارنده تریپسین اندازه گیری شد. دما و رطوبت اولیه بر شاخص انبساط، شاخص جذب آب و قابلیت هضم پروتئین، اثر معنی دار داشتند. شاخص حلالیت در آب فقط به وسیله دما تحت تاثیر قرار گرفت. بازدارنده تریپسین در

and antinutritional factor contents in pea seeds". *Food Chemistry*, Vol.63, No.4, Pp. 505-512

3. Anton, A.A., Fulcher, R.G. and 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*, Vol.113, No.4, Pp.989-996

4. Balandran-Quintana, R.R., Barbosa-Canovas, G.V., Zazueta-Morales, J.J., Anzaldúa-Morales, A. and Quintero-Ramos, A. (1998). "Functional and nutritional properties of extruded whole pinto bean meal (*Phaseolus vulgaris* L.)". *Journal of Food Science*, Vol.63, No.1, Pp. 113-116

5. Dandamrongrak, R., Young, G. and Senadeera, W. (2011). "Experimental investigation on extruded snack products from rice and mung bean: Optimization of parameters". In Proceedings of the 5th Nordic Drying Conference. 1-5

6. da Silva, E.M.M., Ascheri, J.L.R., de Carvalho, C.W.P., Takeiti, C.Y. and Berríos, J.D.J. (2014). "Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend". *LWT-Food Science and Technology*, Vol.58, No.2, Pp. 620-626

7. Fang, Y., Zhang, B. and Wei, Y. (2014). "Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking". *Journal of Food Engineering*, Vol.121, Pp.32-38

8. Hood-Niefer, S.D. and Tyler, R.T. (2010). "Effect of protein, moisture content and barrel temperature on the

مارپیچ ۵۲۰ دور در دقیقه بود. محصول حاوی آرد نخود کفتری دارای رنگ زرد تر، پروتئین بیشتر، دانسیته ظاهری بالاتر و شاخص جذب آب بالاتر و میزان انبساط و شاخص حلالیت در آب پایین تری بود. محصول اکستروژن شده حاوی ۹۵٪ آرد کاساوا-۵٪ آرد نخود کفتری، تردی و بافت سخت مطلوب و مناسبی داشت. همه محصولات پوشش داده شده با طعم های مختلف، از نظر پذیرش در سطح متوسط تا خیلی خوب قرار گرفتند. محصول اکستروژن شده با طعم شکلاتی از نظر طعم و رنگ بیشتر از طعم پاپریکا، گردوی آمریکایی و پنیر- پیاز مورد پذیرش قرار گرفت.

نتایج:

با توجه به ارزش تغذیه ای بالای حبوبات استفاده از این گروه مواد غذایی در سبب خانوار حائز اهمیت می باشد اما به دلیل مشکلاتی که در استفاده از این ترکیبات وجود دارد تمایل به مصرف آن ها بسیار پایین است. تکنولوژی اکستروژن به عنوان یک فرآیند نوین می تواند با ایجاد محصولاتی با ویژگی های تغذیه ای، عملکردی، حسی و بافتی مناسب منجر به افزایش استفاده از این مواد غذایی در سبب خانوار شود.

منابع:

1. Alonso, R., Aguirre, A. and Marzo, F. (2000). "Effects of extrusion and traditional processing methods on antinutrients and in vitro digestibility of protein and starch in faba and kidney beans". *Food Chemistry*, Vol.68, No.2, Pp.159-165

2. Alonso, R., Orue, E. and Marzo, F. (1998). "Effects of extrusion and conventional processing methods on protein

همه شرایط آزمون، کاملاً غیر فعال شد. سرعت مارپیچ بر هیچ یک از متغیرهای وابسته اثر نداشت. بهترین محصول در رطوبت ۲۲٪ و دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد تولید شد.

da Silva و همکاران (۲۰۱۴) ویژگی های فیزیکی محصول اکستروژن شده حاصل از مخلوط آرد ذرت و لوبیا چیتی پوست گیری شده را مورد بررسی قرار دادند. اکستروژن مورد استفاده از نوع تک مارپیچ بود و از طرح مرکب مرکزی برای ارزیابی اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل سرعت مارپیچ ۳۹۲/۹-۳۱۸/۹ دور در دقیقه، رطوبت ۲۱-۱۰/۹٪ (بر مبنای وزن مرطوب) و سطوح آرد لوبیا (۴/۸-۵۵/۲)٪، بر SEM، شاخص انبساط محلی (SEI)، شاخص انبساط طولی (LEI)، شاخص انبساط حجمی (VEI) و دانسیته محصول (D) استفاده شد. متغیرهای مستقل اثر معنی داری بر ویژگی های فیزیکی محصول (SEI, VEI و دانسیته) به جز SME و LEI داشتند. SEI با افزایش سرعت مارپیچ افزایش یافت اما رطوبت های بالا و افزایش آرد لوبیا باعث کاهش در میزان SEI و VEI می شوند. افزایش رطوبت و آرد لوبیا باعث افزایش دانسیته محصول نیز می شوند. سطوح بهینه متغیرها، به ویژگی های مورد انتظار از محصول بستگی دارد.

Rampersad و همکاران (۲۰۰۳) خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی اسنک طعم دار حاصل از مخلوط آرد کاساوا و نخود کفتری را مورد بررسی قرار دادند. آرد لوبیای کفتری در سطوح ۰، ۵، ۱۰ و ۱۵٪ به آرد کاساوا اضافه و به رطوبت ۱۲٪ بر اساس وزن خشک رسانده شد. دمای اکستروژن ۱۲۵-۱۲۰ درجه سانتی گراد و سرعت

15. Qayyum, M.M.N., Butt, M.S., Anjum, F.M. and Nawaz, H. (2012). "Composition analysis of some selected legumes for protein isolates recovery". *The Journal of Animal and Plant Sciences*, Vol.22, No.4
16. Rathod, R.P. and Annapure, U.S. (2016). "Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits". *LWT-Food Science and Technology*, Vol.66, Pp.114-123
17. Rampersad, R., Badrie, N. and Comissiong, E. (2003). "Physico-chemical and Sensory Characteristics of Flavored Snacks from Extruded Cassava/Pigeonpea Flour". *Journal of Food Science*, Vol.68, No.1, Pp.363-367
18. Ravindran, G., Carr, A. and Hardacre, A. (2011). "A comparative study of the effects of three galactomannans on the functionality of extruded pea-rice blends". *Food Chemistry*, Vol.124, No.4, Pp.1620-1626
19. Simons, C.W., Hall, C., Tulbek, M., Mendis, M., Heck, T. and Ogunyemi, S. (2014). "Acceptability and characterization of extruded pinto, navy and black beans". *Journal of the Science of Food and Agriculture*
20. Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., Sangnark, A., Thititumjariya, K. and Noomhorm, A. (2011). "Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend". *International Journal of Food Science & Technology*, Vol.46, No.1, Pp.201-208
21. Tiwari, B.K., Gowen, A. and McKenna, B. eds. (2011). "Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications". Academic Press
- physicochemical characteristics of pea flour extrudates". *Food Research International*, Vol.43, No.2, Pp.659-663
9. Kahlon, T.S., Smith, G.E. and Shao, Q. (2005). "In vitro binding of bile acids by kidney bean (*Phaseolus vulgaris*), black gram (*Vigna mungo*), bengal gram (*Cicer arietinum*) and moth bean (*Phaseolus aconitifolius*)". *Food Chemistry*, Vol.90, No.1, Pp.241-246
10. Meng, X., Threinen, D., Hansen, M. and Driedger, D. (2010). "Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack". *Food Research International*, Vol.43, No.2, Pp.650-658
11. Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R.M., Reis, F.S., Barros, L., Berrios, J.D.J., Ferreira, I.C. and Cámara, M. (2015). "Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity". *Journal of Functional Foods*, Vol.19, Pp.537-544
12. Nayak, B., Berrios, J.D.J., Powers, J.R. and Tang, J. (2011). "Effect of extrusion on the antioxidant capacity and color attributes of expanded extrudates prepared from purple potato and yellow pea flour mixes". *Journal of Food Science*, Vol.76, No.6, Pp.C874-C883
13. Osen, R., Toelstede, S., Eisner, P. and Schweiggert-Weisz, U. (2015). "Effect of high moisture extrusion cooking on protein-protein interactions of pea (*Pisum sativum L.*) protein isolates". *International Journal of Food Science & Technology*, Vol.50, No.6, Pp.1390-1396
14. Osen, R., Toelstede, S., Wild, F., Eisner, P. and Schweiggert-Weisz, U. (2014). "High moisture extrusion cooking of pea protein isolates: Raw material characteristics, extruder responses, and texture properties". *Journal of Food Engineering*, Vol.127, Pp.67-74