



تأثیر شرایط فرایند اکستروژن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میان وعده حجیم بر پایه ماش جوانه‌زده و بلغور ذرت

نسرین فیاض^۱، محبت محبی^۲، الناز میلانی^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۶/۵/۲۱، تاریخ پذیرش: ۹۶/۶/۵)

چکیده

بحث کمبود پروتئین به‌ویژه در جوامع درحال توسعه در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در سال‌های اخیر به دلیل افزایش نیاز به مواد غذایی پروتئینی از حبوبات به‌عنوان یک منبع غذایی ارزشمند استفاده می‌شود؛ بنابراین کاربرد انواع حبوبات جوانه‌زده در فرمولاسیون‌های غذایی یکی از مهم‌ترین روش‌های فراوری در بهبود خصوصیات تغذیه‌ای به‌شمار می‌رود. در این پژوهش تأثیر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل دما °C ۱۲۰-۱۷۰ و سرعت چرخش مارپیچ rpm ۱۲۰-۲۰۰ بر برخی ویژگی‌های میان وعده حجیم‌شده بررسی گردید. برای کلیه نمونه‌ها سطوح افزودن ماش جوانه‌زده ۲۰٪ و رطوبت خوراک ورودی ۱۶٪، ثابت در نظر گرفته شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل میزان منبسط شوندگی، تخلخل، سفتی بافت و شاخص‌های رنگی (روشنایی، قرمزی و زردی) بود. نتایج نشان داد که با افزایش دما و سرعت چرخش مارپیچ، افزایش روشنایی، منبسط شوندگی، سفتی بافت و تخلخل مشاهده گردید. هم‌چنین افزایش سرعت چرخش مارپیچ موجب کاهش شاخص قرمزی و زردی میان وعده حجیم‌شده شد. مطابق نتایج بهینه‌یابی برای تولید فراورده مطلوب با میزان بیشینه منبسط شوندگی ۵/۳۹۵، بیشینه تخلخل ۰/۹۱۶، کمینه سفتی بافت ۲/۷۹۱، شاخص روشنایی ۶۶/۲۴۵، شاخص قرمزی ۲/۱۹۰ و شاخص زردی ۲۴/۶۳۲ شرایط فرایند شامل دمای اکستروژن °C ۱۲۰ و سرعت چرخش مارپیچ rpm ۲۰۰ تعیین گردید. فراورده حجیم‌شده بر پایه ذرت و ماش جوانه‌زده دارای ویژگی‌های مطلوب فیزیکوشیمیایی بوده و می‌تواند جایگزین مناسبی برای میان وعده‌های حجیم موجود در بازار به‌ویژه برای کودکان باشد.

واژه‌های کلیدی: اکستروژن، میان وعده، ویژگی‌های رنگی و بافت، ماش جوانه‌زده.

۱. مقدمه

خوراک، سرعت چرخش و درجه حرارت می‌توان به طیف متنوعی از محصولات دست یافت. سیستم اکسترودر قابلیت انجام تعدادی عملیات واحد را به‌طور پیوسته دارد. این‌گونه عملکرد موجب افزایش بهره‌وری، صرفه‌جویی در نیروی کار و کاهش انرژی مصرفی می‌گردد [۶]. از فرآورده‌های غذایی اکسترودر شده می‌توان در آماده‌سازی غذای کودک، تهیه نان‌های ترد، بیسکویت و شیرینی، محصولات پاستا با پخت سریع، پیش پخت فوری غذاهای شیری، آردهای پیش حرارت دیده، پودینگ برنج و سوپ‌های خشک مخلوط، اسنک سیب‌زمینی و ذرت استفاده نمود [۷]. شرایط اکستروژن بر روی ویژگی‌های بافتی و ساختار اسنک میان وعده‌های فراسودمند تأثیرگذار است [۸].

در این تحقیق از ماش جوانه‌زده به‌منظور غنی‌سازی اسنک حجیم ذرت استفاده شد. جوانه حبوبات به علت این که منبع غنی از پروتئین رژیمی، کربوهیدرات، ویتامین‌ها و مواد معدنی می‌باشد، از سال‌ها قبل مورد استفاده قرار می‌گرفته است. دانه ماش حاوی فیبرهای رژیمی، پروتئین، مواد شیمیایی گیاهی فعال است. سطح بالایی از اسیدآمین، پلی فنول‌ها و الیگوساکاریدها در این دانه باعث ایجاد خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب و ضد سرطانی می‌شود [۹، ۱۰]. حبوبات به‌دلیل زمان پخت طولانی و قابلیت هضم پایین، منجر به مصرف زیاد انرژی، از دست دادن پروتئین و دسترسی پایین به لیزین می‌شود [۱۱]. جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین و ارزان‌ترین تکنیک‌های کاربردی برای کاهش فاکتورهای ضد تغذیه‌ای در حبوبات است. طی جوانه‌زنی رطوبت، خاکستر و پروتئین کل افزایش پیدا می‌کند و مواد ضد تغذیه‌ای به‌ویژه هم‌گلوتنین و اسید فیتیک کاهش پیدا می‌کنند [۵].

افزایش تعدد پژوهش‌ها طی سال‌های اخیر بیانگر لزوم اهمیت کاربرد حبوبات در فرمولاسیون میان وعده حجیم غذایی می‌باشد. راتود و آناپور، وانی و همکاران، پاتیل و همکاران و مین و همکاران تأثیر فرایند اکستروژن را در خواص فیزیکی‌شیمیایی اسنک میان وعده حجیم بر پایه حبوبات مورد بررسی قرار دادند. [۱۵-۱۲]. بدین منظور در این پژوهش اثرات متغیرهای فرایند اکستروژن (دمای اکستروژن و سرعت چرخش ماریچ) بر میزان منبسط شوندگی، تخلخل، سفتی بافت و شاخص‌های رنگی میان وعده حجیم‌شده فراسودمند مورد ارزیابی قرار گرفت.

امروزه به‌دلیل پیشرفت فناوری و افزایش دانش تغذیه‌ای هم‌زمان با اصلاح الگوی مصرف، تمایل پژوهشگران در حوزه تولید میان وعده‌های اکسترودر شده فراسودمند رو به افزایش است. تولیدکنندگان مواد غذایی به دنبال ایجاد تنوع و عرضه فرآورده‌های جدید می‌باشند. طبق نظر دیارتمان کشاورزی آمریکا، کودکان آمریکایی بیش از ۲۰٪ انرژی روزانه خود را از طریق اسنک‌ها تأمین می‌کنند. ایجاد مشکلاتی مانند اضافه‌وزن در کودکان زیر هشت سال، دیابت نوع دوم، پوسیدگی دندان، بیماری‌های قلبی و مزمن از مشکلات رو به رشد جامعه امروز است [۱، ۲]. بسیاری از کودکان تمایل به مصرف صبحانه ندارند که می‌توان با ارائه غذاهای اکسترودر شده دربرگیرنده ترکیبات ضروری رژیم غذایی کودکان، تمایل آن‌ها را برای مصرف صبحانه افزایش داد.

حبوبات پس از غلات دومین منبع مهم غذایی برای انسان به شمار می‌آید. دانه ماش بانام علمی *Vigna radiate* حاوی ۲۴-۲۰٪ پروتئین، ۳٪ خاکستر، ۱٪ چربی و ۵-۴٪ فیبر است [۳]. پروتئین‌های گلوبولین و آلبومین دو پروتئین غالب در ماش بوده که قابلیت هضم بالایی دارند، بنابراین از دانه ماش به‌صورت مخلوط با سایر غلات با هدف غنی‌سازی محتوای پروتئینی استفاده می‌شود [۴]. هم‌چنین درصد بالای فیبرهای رژیمی، ۲۱-۰/۱۸٪ مواد معدنی، ویتامین‌ها و پلی فنول‌ها در دانه ماش باعث ایجاد خواص ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهاب و ضد سرطانی می‌شود [۲]. انواع الیگوساکارید در ماش قابلیت هضم پایینی دارند. از این رو اندیس گلیسمیک در ماش کم‌تر از سایر غلات است که این ویژگی منحصر به‌فرد برای افراد دیابتی حائز اهمیت است. جوانه‌زنی سریع‌ترین و ارزان‌ترین راهکار به‌منظور بهبود ویژگی‌های تغذیه‌ای حبوبات به شمار می‌رود. جوانه زنی سبب بروز تغییراتی در دانه نظیر رطوبت، خاکستر، پروتئین کل، آمینواسیدهای آزاد، کربوهیدرات، فیبر رژیمی، ظرفیت جذب آب، فعالیت آنزیمی و میزان پروتئین‌های قابل‌هضم می‌شود [۵].

اکستروژن قابلیت تولید محصولات با اشکال و فرمولاسیون‌های متنوع را داشته، اغلب با تغییراتی نظیر تغییر قطر دای، دبی ورودی، تغییر رطوبت خوراک ورودی، فرمول



۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- آماده‌سازی ماش جوانه‌زده

۲-۱-۱- مرحله ضد عفونی کردن و خیساندن

برای ضد عفونی کردن، دانه‌های ماش به مدت ۳ تا ۴ دقیقه در محلول ۰/۵٪ هیپوکلرید سدیم خیسانده، سپس جهت حذف محلول ضد عفونی با آب فراوان شست‌وشو داده شد. دانه‌های ماش با آب دیونیزه به مدت ۶ ساعت خیسانده شد [۱۶].

۲-۱-۲- مرحله جوانه‌زنی

پس از خیساندن، آب اضافی دور ریخته شد و دانه‌ها در سینی ریخته و با پارچه خیس پوشانده و در دمای 35°C به مدت ۳ روز در انکوباتور Binder ساخت کشور آلمان قرار داده شد. طی انکوباتور گذاری به‌طور مرتب دانه‌ها زیر و رو شد تا تنفس به‌درستی صورت گیرد و پارچه مرتباً مرطوب گردید. دمای داخل انکوباتور با ترمومتر دیجیتال کنترل شد [۸].

۲-۱-۳- خشک کردن و آرد کردن

بعد از اتمام زمان انکوباتور گذاری، تمامی نمونه‌ها در آون هوای گرم مدل FD115 شرکت Binder ساخت کشور آلمان با دما 40°C به مدت ۲۴ ساعت خشک و در نهایت در آسیاب نیمه صنعتی توس‌شکن آرد و برای رسیدن به دانه بندی یکنواخت، آرد از الک با مشی با قطر ۱ mm عبور داده شد. آردها برای آزمون‌های بعدی در سردخانه در دمای 4°C نگهداری شدند [۱۷].

۲-۲- آماده‌سازی فرمولاسیون خوراک اولیه

رطوبت بلغور ذرت و آرد ماش جوانه‌زده با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج مادون‌قرمز مدل Sartorius MA35 ساخت کشور آلمان که در دمای 105°C برای مدت‌زمان ۱۵ دقیقه تنظیم شده بود، اندازه‌گیری شد. سپس به بلغور ذرت، آب اضافه شد تا رطوبت به‌طور یکسان در آن پراکنده شود. سپس ماش جوانه‌زده به آن اضافه و برای رسیدن مخلوط به رطوبت مطلوب از مربع پیرون استفاده شد. در نهایت مخلوط به دستگاه اکستروژن دو مارپیچ منتقل گردید.

۲-۳- فرایند پخت اکستروژن

مخلوط بلغور ذرت با ماش جوانه‌زده (با رطوبت از پیش تنظیم‌شده) توسط اکستروژر دو مارپیچ با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت Jinan Saxin کشور چین مستقر در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد اکستروژد. در این پژوهش بر پایه طرح مرکب مرکزی چرخش اثر متغیرهای فرایند اکستروژن شامل دما 120°C - 170°C ، سرعت مارپیچ 120rpm - 200rpm ، در فراورده حجیم حاوی نسبت ۲۰٪ ماش جوانه‌زده به بلغور ذرت و رطوبت خوراک ورودی ۱۶٪ بر پایه ماده خشک مورد بررسی قرار گرفت. شایان‌ذکر است در پیش تیمارهای انجام‌شده درصد مطلوب افزودن جوانه ماش و رطوبت خوراک ورودی تعیین گردید. میزان دبی خوراک‌دهی 30 Kg بر ساعت در نظر گرفته شد. محصولات اکستروژد بلافاصله بعد از تولید برای ۲ ساعت وارد آون با هوای گرم 40°C شدند. خشک کردن نمونه‌ها تا رطوبت ۳٪ انجام گردید. پس از سرد شدن، درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ضخیم قرار گرفت. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش دور از نور و در دمای اتاق نگهداشته شدند [۱۷].

۲-۴- آزمون‌های فیزیکوشیمیایی مواد اولیه

اندازه‌گیری خاکستر مطابق استاندارد AACC 08-01-01 انجام شد. با توجه به روش AOAC 955.04 در سال ۲۰۰۲ به کمک دستگاه کلدال اتوماتیک مدل VAP20 ساخت شرکت Gerhardt اندازه‌گیری پروتئین انجام شد (ضریب تبدیل پروتئین ۶/۲۵ است). هم‌چنین اندازه‌گیری چربی با توجه به روش A.A.C.C 30-25 صورت گرفت [۱۸]. اندازه‌گیری فیبر آرد ماش جوانه‌زده مطابق روش مصوب AACC به شماره ۱۷-۳۲ دستگاه Tecator ساخت کشور سوئد در آزمایشگاه خاک بهین آزما در تهران انجام شد.

۲-۵- آزمون‌های خصوصیات فیزیکوشیمیایی

۲-۵-۱- تعیین ضریب منبسط‌شوندگی

به‌طور تصادفی از هر تیمار ۱۰ عدد از محصول اکستروژد انتخاب شد. سپس جهت اندازه‌گیری نسبت منبسط‌شوندگی قسمتی از دو انتهای محصول اکستروژد جدا شد تا نمونه مورد آزمون کامل استوانه‌ای شکل شود. با استفاده از کولیس آلمانی

مقادیر a^* - شاخص سبزی نمونه‌ها و مقادیر b^* + برای شاخص زردی نمونه‌ها و b^* - برای شاخص رنگ آبی نمونه‌ها گزارش می‌شود [۲۴، ۲۳].

۲-۵-۵- طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل آماری پژوهش

در این پژوهش از روش سطح پاسخ (RSM) جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 6.0.2 انجام شد. روش سطح پاسخ به دلیل پیش‌بینی بهینه روند طبیعی بهینه‌سازی و کاهش روش‌های پرهزینه بهینه‌سازی بسیار مورد استفاده است. این روش جهت توصیف اثرات منفرد و متقابل متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. اثر متغیرهای مستقل شامل دمای اکستروژن $120-170^{\circ}\text{C}$ ، سرعت چرخش مارپیچ $120-200\text{ rpm}$ ، که در جدول (۱) آمده است. تغییرات منبسط شونده‌گی، تخلخل، بافت سنجی و شاخص‌های رنگی به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ترکیبات شیمیایی مواد اولیه

نتایج ترکیب شیمیایی مواد اولیه مورد استفاده در جدول (۲) قابل مشاهده است. نتایج حاصل از آنالیز واریانس میان وعده حجیم در جدول (۳) آمده است.

۳-۲- تأثیر شرایط فرایند بر شاخص منبسط شونده‌گی^۱ اسنک‌های حجیم حاوی جوانه ماش

از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای شاخص منبسط شونده‌گی، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود. مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح شده به ترتیب 0.9497 و 0.9190 بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص منبسط شونده‌گی بین $3/33$ و $6/33$ محاسبه گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که عبارات معنی‌دار مدل شامل اثرات خطی دما و اثرات متقابل دما و سرعت مارپیچ و اثر درجه دوم دمای اکستروژن، سرعت مارپیچ بود. با توجه به شکل (۱) در کم‌ترین میزان سرعت چرخش مارپیچ با افزایش درجه

Rostfrei Gehartet با دقت $0/01$ قطر نمونه‌های اکستروژن شده و قطر قالب دستگاه اکستروژن اندازه‌گیری و در نهایت توسط رابطه (۱) منبسط شونده‌گی محاسبه شد [۲۰، ۱۹].

$$(1) \quad \text{نسبت منبسط شونده‌گی} = \frac{\text{قطر نمونه اکستروژن شده}}{\text{قطر قالب}}$$

۲-۵-۲- تخلخل

در ابتدا حجم نمونه‌های اسنک سالم اندازه‌گیری و سپس ۵ عدد اسنک آسیاب شد. در مرحله بعد حجم نمونه‌های آسیاب شده اسنک با استفاده از مزور 500 ml اندازه‌گیری و تخلخل نمونه‌های اسنک با توجه به حجم نمونه‌های اسنک در قبل و بعد از آسیاب از طریق رابطه (۲) محاسبه شد [۲۱].

$$(2) \quad \text{تخلخل} = \frac{\text{حجم نمونه های اسنک بعد از آسیاب} - \text{حجم نمونه های اسنک قبل از آسیاب}}{\text{حجم نمونه های اسنک قبل از آسیاب}}$$

۲-۵-۳- آزمون بافت سنجی

جهت تجزیه تحلیل بافت نمونه‌های اکستروژن از دستگاه آنالیز بافت AMETEK Lloyd مدل TA-Plu، ساخت کشور آمریکا توسط اعمال نیروی وزن سنج 50 Kg استفاده گردید. در این آزمون پروب استوانه‌ای به قطر 2 mm و با سرعت 5 mm/s وارد نمونه گردید. عمق نفوذ در نمونه 8 cm بود. نتیجه آزمون، میانگین 10 تکرار بود و در نهایت Maximum Load (N) توسط دستگاه به‌عنوان میزان سختی اعلام شد [۲۲].

۲-۵-۴- تعیین شاخص‌های رنگی محصول

از دستگاه هانتربل مدل 45/0 ساخت کشور آمریکا جهت تعیین شاخص‌های رنگی اسنک‌های تولید شده استفاده شد. مقدار کافی از نمونه‌های پودر شده اسنک به کاپ مخصوص انتقال یافت به گونه‌ای که سطح پایینی کاپ به‌طور کلی پوشیده شود. در نهایت مقادیر L^* ، a^* و b^* با ۴ تکرار ثبت شدند [۱۸]. مقادیر L^* به‌عنوان شاخص روشنی است و بین صفر (سیاه‌رنگ) تا 100 (سفیدرنگ) متغیر است. هم‌چنین مقادیر a^* شاخص قرمزی و

جدول (۱) نمایش متغیرهای مستقل فرایند و مقادیر آنها

Table 1 displaying independent process variables and their values

کد و سطح مربوطه			نماد ریاضی	متغیر مستقل
Code				
+1	0	-1	Math symbol	independent variable
35	22.5	10	X ₁ (A)	دمای اکستروژن Temperature
170	145	120	X ₂ (B)	سرعت چرخش مارپیچ Screw

جدول (۲) ترکیب شیمیایی مواد اولیه (آرد ماش جوانه‌زده و بلغور ذرت)(g/100g)

Table 2 Chemical composition of raw materials (germinated flour and corn grits) (g / 100g)

کربوهیدرات	رطوبت	فیبر	چربی	پروتئین	خاکستر	ترکیب مواد غذایی
Carbohydrate	Moisture	Fiber	Fat	Protein	Ash	Food composition
54.5336	6.5	4	0.95	30.22	3.7964	آرد ماش جوانه‌زده sprouted mung bean flour
74.42	11.8	2/54	3.4	7.3	0.54	بلغور ذرت corn

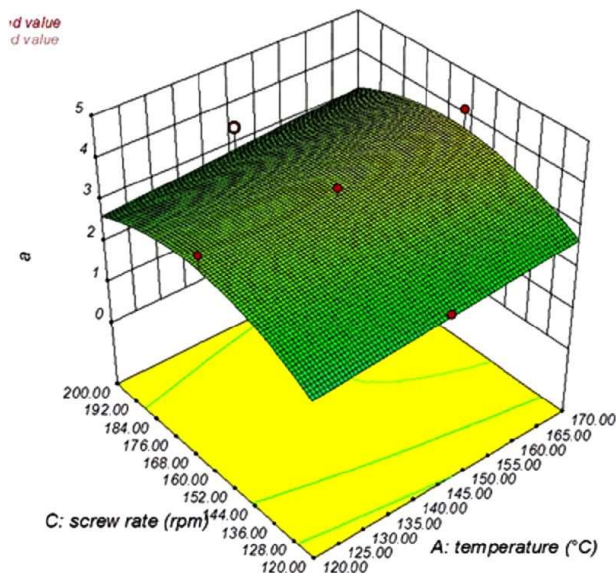
جدول (۳) نتایج حاصل از آنالیز واریانس میان وعده حجیم

Table 3 shows the results of analysis of variance of bulk snack

شاخص زردی (b*)	شاخص قرمزی (a*)	شاخص روشنایی (L*)	سختی بافت Hardness	تخلخل Porosity	منبسط شونده Expansion rate	
<0.0001**	0.0439	0.0037**	<0.0001**	0.1864 ^{ns}	0.0620**	سرعت چرخش مارپیچ Screw speed
0.0505	0.0241	0.0072	0.0034**	0.2873 ^{ns}	0.0311**	دمای اکستروژن Temperature
<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	0.0001** <	<0.0001**	مدل Model
0.9662 ^{ns}	0.4504 ^{ns}	0.6483 ^{ns}	0.0725 ^{ns}	0.3347 ^{ns}	0.8866 ^{ns}	عدم برازش Lack of fit
0.9454	0.8620	0.8541	0.8985	0.8698	0.9497	ضریب تبیین R-Squared
0.9245	0.8094	0.8237	0.8528	0.7902	0.9190	ضریب تبیین تصحیح شده Adj R-Squared

*معنی داری در سطح ۰.۰۵٪، **معنی داری در سطح ۰.۰۱٪ و ns عدم معنی داری

حرارت میزان منبسط شونده به صورت خطی افزایش یافت، اما به تدریج با افزایش هم زمان دما اکستروژن و سرعت چرخش مارپیچ به ویژه از شدت چرخش rpm ۱۴۰ تا ۲۲۰ حجم فرآورده اکستروژن کاهش یافت. در تفسیر بروز این پدیده می توان گفت، ابتدا با افزایش دما، الاستیسیته افزایش، بافت نرم تر شده، گرانیوی و ویسکوزیته نمونه ها کاهش یافته، ژلاتیناسیون و جذب آب



شکل (۱) نمایش سه بعدی اثر سرعت مارپیچ و دمای اکستروژن بر میزان منبسط شونده‌ی اسنک حجیم.

Fig.1 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on expansion rate of Snacks.

۳-۳- تأثیر شرایط فرایند بر تخلخل^۲ اسنک‌های حجیم حاوی جوانه ماش

از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای تخلخل، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود. مقادیر بالای ضریب تبیین ۰/۸۶۹۸ نشان‌دهنده تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص تخلخل بین ۰/۵۲۴ و ۰/۸۳۲ تعیین گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل دما و سرعت مارپیچ و اثر درجه دوم دما، سرعت مارپیچ، معنادار بود ($p < 0/05$). با بررسی اثر متقابل دمای اکستروژن و سرعت چرخش مارپیچ بر تخلخل مشاهده شد سرعت چرخش باعث افزایش تخلخل در نمونه‌های اسنک‌های تولیدی گردیدند، هم‌چنین در دما بالاتر این شاخص افزایش پیدا کرد (شکل ۲).

مطابق گزارش ماجومدار و سینگ با افزایش دمای اکستروژن، ویسکوزیته کاهش، میزان الاستیسته خمیر بیش‌تر شده و توانایی خمیر در نگهداری و رشد حباب‌های کوچک هوا در داخل ساختار فرآورده افزایش پیدا می‌کند، در نتیجه افزایش تخلخل را در پی دارد. به همین دلیل با افزایش دما، سلول‌های هوایی تشکیل شده در فرایند اکستروژن در اثر دمای بالا، تولید خلل و فرج با اندازه‌های متفاوت در ساختار اسنک نموده که در تردی فرآورده موثر است. هم‌چنین افزایش سرعت مارپیچ به دلیل افزایش تنش

افزایش یافته و با افزایش تبخیر آب رشد حباب‌ها در مخلوط اکستروژن ادامه و نسبت انبساط شونده‌گی افزایش می‌یابد [۲۵]، [۲۶]. با افزایش هم‌زمان دمای اکستروژن و سرعت چرخش مارپیچ، میزان منبسط شونده‌گی کاهش یافت. دلیل این کاهش را می‌توان به افزایش دکسترینه شدن نشاسته و تضعیف ساختار گرانولی نسبت داد [۲۶].

جاکونس-فاجاردو و همکاران تاثیر شرایط فرایند اکستروژن را بر ویژگی‌های فیزیکی‌وشیمیایی اسنک نخود بررسی کردند. نتایج این محققان نشان داد که افزایش سرعت چرخش مارپیچ و دمای اکستروژن موجب افزایش شاخص منبسط شونده‌گی گردید [۲۷]. منگ و همکاران تاثیر شرایط اکستروژن را منبسط شونده‌گی اسنک بر پایه آرد نخود مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با افزایش دمای اکستروژن تا دمای ۱۶۸ °C منبسط شونده‌گی افزایش یافت، درحالی که بعد از این دما میزان شاخص منبسط شونده‌گی کاهش یافت [۲۵]. دلیل احتمالی کاهش منبسط شونده‌گی انبساط طولی بیش‌تر محصول است. ترکیب دمای بالای اکستروژن با سرعت چرخش مارپیچ بالا موجب کاهش دانسیته گردید. نتایج تحقیقات مورارو و کوکینی، منگ و همکاران و انی ورث و همکاران با نتایج پژوهش اخیر مطابقت داشت [۲۵، ۲۸، ۲۹].

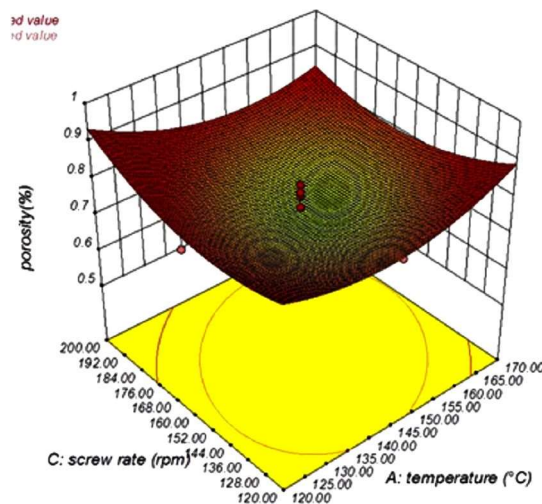
با بررسی اثر مستقل سرعت چرخش مارپیچ و دمای اکستروژن مشخص گردید که با افزایش هر دو فاکتور، سختی بافت کاهش پیدا کرد. بررسی اثر متقابل سرعت مارپیچ و دمای اکستروژن مشخص گردید که با افزایش هر دو پارامتر، شاخص بافت کاهش پیدا کرد (شکل ۳). میزان سختی بافت با ضریب منبسط شونده رابطه معکوس دارد. در این پژوهش بیشترین میزان سختی بافت $14/8008 \text{ N}$ در دمای 120°C و سرعت چرخش 120 rpm مشاهده گردید.

احتمالاً افزایش دمای اکستروژن، موجب افزایش تعدد سلول‌های هوا با دیواره سلولی نازک‌تر می‌شود که در نهایت موجب تولید اسنکی با بافت نرم‌تر می‌گردد [۸]. همچنین با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، ویسکوزیته خمیر کاهش می‌یابد و ژلاتینه شدن نشاسته افزایش می‌یابد که این امر موجب به افزایش رشد حباب‌های فراورده می‌گردد و در نتیجه فراورده تردی تولید می‌شود [۳۳]. راتود و آنپور طی تحقیقات خود بر نودل اکستروژن شده بر پایه عدس به نتایج مشابه با این پژوهش رسیدند [۳۴]. همچنین جاکوئس-فاجاردو و همکاران تأثیر شرایط اکستروژن در فراورده اکستروژن‌شده مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش سرعت چرخش مارپیچ به‌ویژه در دماهای بالا موجب کاهش سختی گردید. دمای همبستگی قوی بین انبساط یا تخلخل

برشی به فراورده در حال اکستروژن منجر به کاهش ویسکوزیته و الاستیسیته خمیر شده که در نهایت موجب افزایش تخلخل در فراورده‌های اکستروژن گردید [۳۰]. جاکوئس-فاجاردو و همکاران طی تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که افزایش دمای اکستروژن و سرعت چرخش مارپیچ تأثیر مثبتی بر افزایش تخلخل فراورده اکستروژن داشت. نتایج مشابه توسط هاشمی و همکاران و ماجومدار و سینگ گزارش گردید [۳۱، ۳۲].

۳-۴- تأثیر شرایط فرایند بر سختی بافت اسنک‌های حجیم حاوی جوانه ماش

از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای بافت، مدل چندجمله‌ای درجه دوم بود. مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح‌شده به ترتیب $0/8985$ و $0/8528$ بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص سختی بافت بین $0/4978$ و $14/8008$ محاسبه گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر خطی دما، سرعت چرخش مارپیچ و اثر متقابل دمای اکستروژن و سرعت مارپیچ معنادار است و اثر سرعت چرخش مارپیچ نسبت به دما بیش‌تر است. ($p < 0/05$).



شکل (۲) نمایش سه بعدی اثر سرعت مارپیچ و دمای اکستروژن بر میزان تخلخل اسنک حجیم.

Fig.2 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on porosity of Snacks.

میزان مشتری پذیری و خصوصیات فیزیکی محصولات اکستروژده تاثیر گذار است. از نظر اماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای شاخص روشنایی، مدل چندجمله‌ای بود. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر مستقل دما، سرعت چرخش مارپیچ معنادار بود ($p < 0.05$). دما اثر تخریبی روی رنگ‌دانه‌های مخلوط داشته، به طوری که با افزایش این پارامتر، رنگ نمونه روشن می‌شود (شکل ۴). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و دما، شاخص روشنایی افزایش پیدا کرد. هم‌چنین مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح‌شده به ترتیب 0.8541 و 0.8237 بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص روشنایی بین $59/76$ و $68/8$ محاسبه گردید.

مسکوئیتا و همکاران نشان دادند که افزایش دما $90-130$ °C تأثیر مثبت روی شاخص روشنایی داشت [۳۶]. هم‌چنین لئونل و فریتاس نشان دادند که در نشاسته کاساوا اکستروژده شده با افزایش دمای اکستروژده، شاخص روشنایی افزایش پیدا کرد [۳۷]. نظیر و همکاران در تحقیقات خود نشان داد که با افزایش پودر زردآلو و افزایش دمای اکستروژده به فرمولاسیون اسنک بر پایه آرد برنج، شاخص روشنایی کاهش پیدا کرد. در این تحقیق دلیل این کاهش را قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی توسط قندی که به مواد

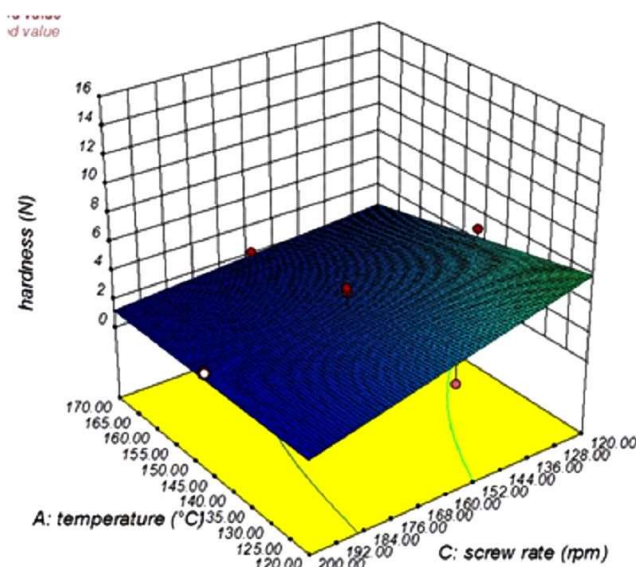
و بافت وجود دارد. محدوده سختی در این پژوهش بین $N 10/66 - 7/3$ گزارش گردید [۲۷].

چایاکول و همکاران تأثیر شرایط اکستروژن بر ویژگی‌های اسنک برنجی را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این محققان نشان داد که افزایش دما کاهش سختی بافت گردید. تحت شرایط دمای 180 °C، شاخص منبسط شونده‌ی بالا، دانسیته پایین، سختی پایین $N/mm 0/64$ مشاهده گردید [۳۵].

لازو و همکاران ویژگی‌های ساختاری و بافتی اسنک بر پایه عدس را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، افزایش دمای اکستروژده، موجب افزایش سلول‌های هوا با دیواره سلولی نازک‌تر شده و در نهایت موجب تولید اسنکی با بافت نرم‌تر گردید. کم‌ترین سختی در مقادیر کمینه سرعت خوراک ورودی $2/52$ kg/h و بیشینه دما 240 °C مشاهده گردید [۸]. نتایج تحقیقات راتود و آناپور، لازو و همکاران، جاکوئس-فاجاردو و همکاران، لازو و همکاران و چایاکول و همکاران با نتایج پژوهش اخیر مطابقت داشت.

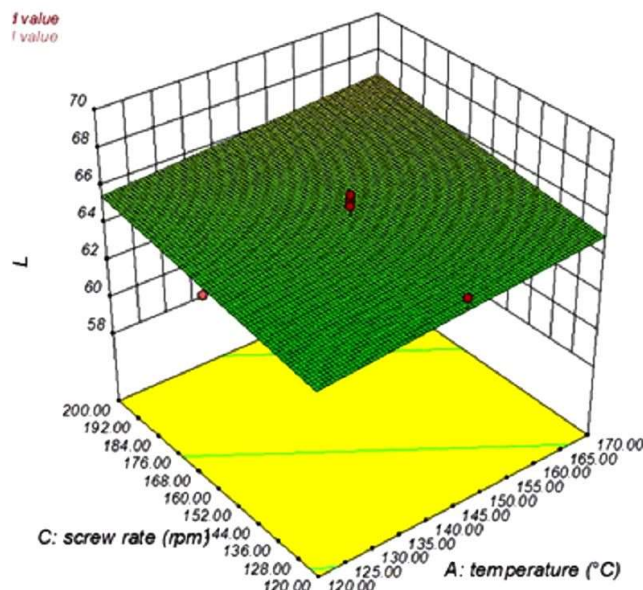
۳-۵- تأثیر شرایط فرایند بر شاخص روشنایی اسنک‌های حجیم حاوی جوانه ماش

رنگ، یک فاکتور بسیار مهم است که به‌طور مستقیم بر روی



شکل (۳) نمایش سه بعدی اثر سرعت مارپیچ و دمای اکستروژن بر میزان سختی بافت اسنک حجیم.

Fig. 3 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on hardness of Snacks.



شکل (۴) نمایش سه بعدی اثر سرعت ماریچ و دمای اکستروژن بر میزان شاخص روشنایی اسنک حجیم.
 Fig.4 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on the lighting index of Snacks.

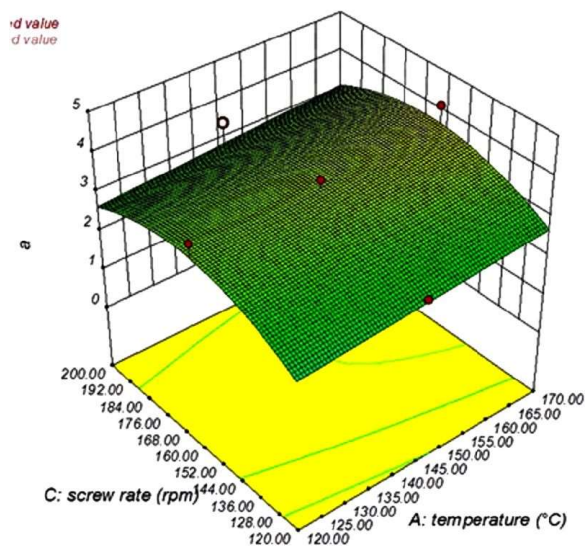
نشان‌دهنده عدم معنی‌داری آن است افزایش دما منجر به افزایش شاخص قرمزی گردید و با افزایش سرعت ماریچ، شاخص قرمزی در ابتدا افزایش و سپس اندکی کاهش پیدا کرد (شکل ۵). دلیل این پدیده را می‌توان این‌طور بیان نمود که با افزایش بیش از حد دور ماریچ، تخریب ترکیبات رنگی و تولیدشده در طی فرایند اکستروژن نظیر ملانین و ملانوئیدین افزایش یافته و همین عامل باعث کاهش شاخص قرمزی هست.

نظیر و همکاران تأثیر شرایط اکستروژن را بر اسنک صبحانه بر پایه برنج را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش دمای اکستروژن به دلیل واکنش قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون در دمای بالا، باعث افزایش شاخص قرمزی و زردی گردید؛ اما افزایش سرعت چرخش ماریچ شاخص قرمزی و زردی را کاهش می‌دهد [۳۸]. دلیل این کاهش به زمان اقامت و درجه پری اکستروژن بر می‌گردد [۴۰]. افزایش دما منجر به اکسید شدن رنگ‌دانه‌های حبوبات شده و با ایجاد رنگ‌دانه‌های قهوه‌ای بر شاخص قرمزی تأثیر گذاشته و موجب افزایش قرمزی محصول گردید [۳۸].

اضافه می‌شود و تخریب رنگ‌دانه‌ها بیان کردند. افزایش سرعت چرخش به دلیل کاهش زمان نگه‌داری، موجب افزایش شاخص روشنایی گردید [۳۸]. درحالی‌که استوجکسکا و همکاران نشان دادند که افزایش سرعت چرخش ماریچ تأثیر معناداری بر روی روشنایی دانه مخصوص آب جو نداشت [۳۹]. نتایج تحقیقات نظیر و همکاران، لئونل و فریتاس و مسکوئیتا و همکاران، استوجکسکا و همکاران با نتایج پژوهش اخیر مطابقت داشت.

۳-۶- تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر شاخص قرمزی اسنک‌های تولیدی

از نظر آماری مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار برای شاخص قرمزی، مدل درجه دوم بود. هم‌چنین مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح‌شده به ترتیب ۰/۸۶۲۰ و ۰/۸۰۹۴ بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص روشنایی بین ۰/۶۳ و ۴/۷۳ محاسبه گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر مستقل دما و سرعت ماریچ و اثر درجه دوم سرعت چرخش ماریچ معنادار بود ($p < 0.05$). چنان‌چه مشاهده می‌شود، آزمون عدم برازش مدل



شکل (۵) نمایش سه بعدی اثر سرعت ماریچ و دمای اکستروژن بر میزان شاخص قرمز اسنک حجیم.
 Fig. 5 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on the red index of Snacks.

رنگی می‌گردد [۳۶]. محققان دلیل این کاهش را دو واکنش قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی و تخریب رنگ‌دانه‌ها دانستند. همچنین ممکن است بعضی از این کاروتنوئیدها توسط فرایند حرارتی تخریب شوند [۲۷]. مسکوئیتا و همکاران نشان دادند که تحت شرایط دمای بالا و رطوبت پایین و یا دمای بالا و سرعت چرخش پایین، شاخص زردی افزایش پیدا کرد [۳۶].

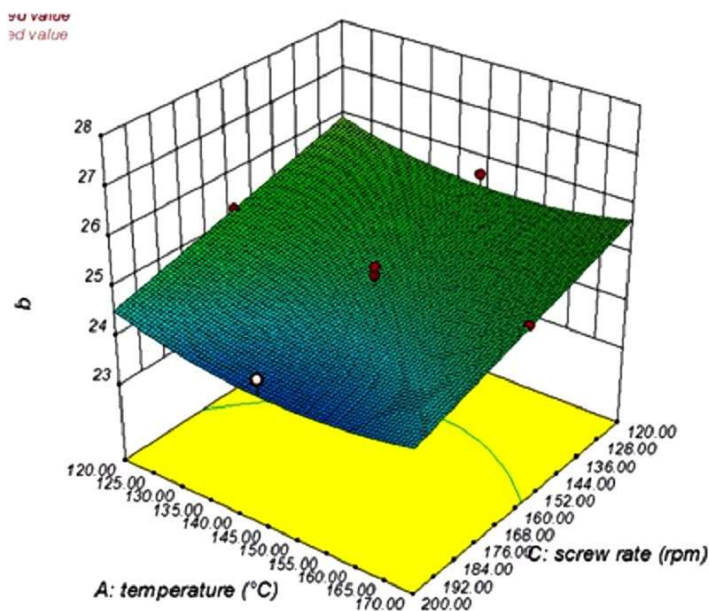
۳-۸- بهینه‌یابی شرایط فرایند اکستروژن در تولید فراورده حجیم

نتایج بهینه‌یابی جهت تولید فراورده‌ای با ویژگی میزان کمینه سختی بافت، شاخص زردی و قرمزی و مقادیر بیشینه تخریب منبسط شونده و شاخص روشنایی در جدول (۴) قابل مشاهده است. بر این اساس دمای بهینه اکستروژن در ۱۲۰ °C و سرعت چرخش ماریچ ۲۰۰ rpm تعیین گردید. پس از تعیین تیمار بهینه مجدد تحت شرایط بهینه اکستروژن نمونه تولید شد. بر این اساس ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه بهینه شامل ۸/۱۰٪ پروتئین و ۲/۱۴٪ رطوبت بود.

۳-۷- تأثیر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط فرایند بر شاخص زردی اسنک‌های تولیدی

بر اساس جدول آنالیز واریانس مدل پیشنهادی برای شاخص زردی، مدل درجه دوم بود که نشان‌دهنده تناسب بین مدل انتخاب شده و داده‌های موردبررسی بوده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد اثر خطی سرعت ماریچ و غلظت و اثر متقابل سرعت ماریچ و غلظت و اثر درجه دوم دمای اکستروژن معنی‌دار بود ($p < 0.05$). مقادیر بالای ضریب تبیین و ضریب تبیین تصحیح‌شده به ترتیب ۰/۹۴۵۴ و ۰/۹۲۴۵ بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده است. محدوده شاخص روشنایی بین ۲۳/۴۷ و ۲۷/۳ محاسبه گردید (شکل ۶).

حرارت باعث نابودی ترکیبات رنگی مانند کاروتینوئیدها و بتاکاروتن شده که باعث زرد شدن نمونه‌های اسنک می‌گردند. از طرفی دیگر تأثیر دما به این نحو بود که در سطوح پایین، باعث کاهش و در دماهای بالا باعث حضور ترکیبات رنگی شد، ولی از نظر آماری تأثیر معنی‌داری در این پژوهش نداشت (شکل ۸). دمای بالا و رطوبت پایین به دلیل کاهش واکنش بین قند و آمینواسیدها منجر به کاهش آمینواسید لیزین و تشکیل ترکیبات



شکل (۶) نمایش سه بعدی اثر سرعت ماریچ و دمای اکستروژن بر میزان شاخص زرد اسنک حجیم.

Fig.6 Displays a three-dimensional effect of screw speed and extrusion temperature on the yellow index of Snacks.

جدول (۴) نتایج بهینه یابی شرایط اکستروژن

Table 4 Optimization results of extrusion conditions

شاخص زردی (b*)	شاخص قرمزی (a*)	شاخص روشنایی (L*)	سختی بافت Hardness	تخلخل Porosity	منبسط شونده Expansion Rate	صفات Characteristics
24.632	2.190	66.245	2.791	0.916	5.395	مقادیر بهینه Optimal values

در سال‌های اخیر تحقیقات بسیاری زیادی در زمینه استفاده حبوبات غیرمتداول در فرمولاسیون اسنک انجام شده است. حبوبات از نظر اسیدآمینه گوگرددار فقیر و در مقابل سرشار از اسید آمینه لیزین هستند، بنابراین حبوبات و غلات مکمل یکدیگر هستند. فرآورده‌های حجیم به دلیل ارزش غذایی بالایی که دارند، از این رو غنی‌سازی میان وعده‌های غذایی با حبوبات، فرآورده جایگزین مناسبی برای کودکان هستند. در پژوهش حاضر نتایج حاکی از آن است که شرایط فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های ظاهری میان وعده حجیم بر پایه ماش جوانه‌زده و ذرت تأثیرگذار بود.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه استفاده از پروتئین‌های گیاهی در محصولات غذایی رو به افزایش است. با توجه به ازدیاد روزافزون جمعیت جهان و محدودیت و گران‌قیمت بودن منابع حیوانی تقاضا برای تولید فرآورده‌های سودمند بر پایه حبوبات رو به افزایش است. اکستروژن آرد حبوبات، به جز سویا، موضوع جدیدی در زمینه محصولات اکستروژن شده است. بحث کمبود پروتئین به‌خصوص در جوامع در حال توسعه در سال‌های اخیر بسیار حائز اهمیت است. فرمولاسیون اسنک‌های موجود بسیار محدود و بیش‌تر بر پایه نشاسته ذرت، برنج و سیب‌زمینی است. بنابراین

منابع

- [14] Rathod, R.P., Annapure, U.S. (2017). Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. *LWT - Food Sci. Technol.*, 80, 121–130.
- [15] Min, M., Yi, L., Lijun, W., Dong, L., Zhihuai, M. (2015). Effects of extrusion parameters on physicochemical properties of flaxseed snack and process optimization. *Int. J. Agr. Biol. Eng.*, 8, 121–131.
- [16] Sokrab, A.M., Mohamed, Ahmed I.A., Babiker, E.E. (2012). Effect of germination on antinutritional factors, total and extractable minerals of high and low phytate corn (*Zea mays* L.) genotypes. *J. Saudi Soc. Agr. Sci.*, 11, 123–128.
- [17] Lazou, A., AndKrokida, M. (2011). Thermal characterization of corn–lentil extruded snacks. *Food Chem.*, 127, 1625–1633.
- [18] AOAC. (2002). Fat (crude) or ether Extract in Animal Feed Method 920.39. Official Methods of Analysis, 17th ed., Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- [19] Reddy, M.K., Kuna, A., Devi, N., Krishnaiah, N., Kaur, C., Nagamalleswari, Y. (2014). Development of extruded Ready-To-Eat (RTE) snacks using corn, black gram, roots and tuber flour blends. *J. Food Sci. Technol.*, 33, 1–9.
- [20] Chanlat, N., Songsermpong, S., Charunuch, C., Naivikul, O. (2011). Twin-Screw Extrusion of Pre-Germinated Brown Rice: Physicochemical Properties and Aminobutyric Acid Content (GABA) of Extruded Snacks. *Int. J. Food Eng.*, 7, 1556–3758
- [21] O'Shea, N., Arendt, E., Gallagher, E. (2013). Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food Bioproc Tech.*, 7, 1767–1782.
- [22] Hardacre, A.K., Clark, S.M., Riviere, S., Monro, J.A., Hawkins, A.J. (2006). Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *J. Texture Stud.*, 37, 94–111.
- [23] Ma, Z., Boye, J., Simpson, B.K., Prasher, S.O., Monpetit, D., Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Res. Int.*, 44, 2534–2544.
- [24] Obatolu Veronica, A., OmuetiOlusola, O., Adebowale, E.A. (2006). Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *J. Food Process Eng.*, 29, 149–161.
- [25] Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system
- [1] Jackson, P., Romo, M.M., Castillo, M.A., Castillo-Duran, C. (2004). Junk food consumption and child nutrition: nutritional anthropological analysis. *Rev. Med. Chil.*, 132, 1235–1242.
- [2] Tang, D., Dong, Y., Ren, H., Li, L., He, C. (2014). A review of phytochemistry, metabolite changes and medicinal uses of the common food mung bean and its sprouts (*Vignaradiata*). *Chem. Cent.*, 8, 4.1-9.
- [3] Gujral, H.S., Angurala, M., Sharma, P., Singh, J. (2011). Phenolic Content and Antioxidant Activity of Germinated and Cooked Pulses. *Int. J. Food Prop.*, 14, 1366–1374.
- [4] Kudre, T.G., Benjakul, S., Kishimura, H. (2013). Comparative study on chemical compositions and properties of protein isolates from mung bean, black bean and bambara groundnut. *J. Sci. Food Agric.*, 93, 2429–2436.
- [5] El-Adawy, T., Rahma, E., El-Bedawey, A., El-Beltagy, A. (2003). Nutritional potential and functional properties of germinated mung bean, pea and lentil seeds. *Plant Food. Hum. Nutr.*, 58, 1–13.
- [6] Berk, Z. (2013). Food Process Engineering and Technology, 2th ed., Technion, Israel, pp 373–393.
- [7] Singh, J., Anne Dartois, A., Kaur, L. (2010). Starch digestibility in food matrix: A review. *Trends Food Sci. Technol.*, 21, 168–180.
- [8] Lazoua, A., Krokida, M., Nikolaos, Z., Karathanos, V. (2011). Lentil-based snacks: Structural and textural evaluation. *Procedia Food Sci.*, 1, 1593–1600.
- [9] Kanatt, S.R., Arjun, K., Sharma, A. (2011). Antioxidant and antimicrobial activity of legume hulls. *Food Res. Int.*, 44, 3182–3187.
- [10] Anjum, N.A., Umar, S., Iqbal, M., Khan, N.A. (2011). Cadmium causes oxidative stress in mung bean by affecting the antioxidant enzyme system and ascorbate-glutathione cycle metabolism. *Russ. Plant Physiol.*, 58, 92–99.
- [11] Shah, S.A., Zeb, A., Masood, T., Noreen, N., Abbas, S.J., Samiullah, M., Alim, M.A., Muhammad, A. (2011). Effect of sprouting time on biochemical and nutritional qualities of mung bean varieties. *Afr. J. Agric. Res.*, 6, 5091–5098.
- [12] Patil, S.S., Brennan, M.A., Mason, S.L., Brennan, C.S. (2016). The Effects of Fortification of Legumes and Extrusion on the Protein Digestibility of Wheat Based Snack. *Foods*, 5, 26.1-8.
- [13] Wani, S.A., Kumar, P. (2015). Effect of Extrusion on the Nutritional, Antioxidant and Microstructural Characteristics of Nutritionally Enriched Snacks. *J. Food Process. Preserv.*, 40, 166–173.

- [37] Leonel, M., de Freitas, T.S., Mischán, M.M. (2009). Physical characteristics of extruded cassava starch. *Sci. Agric.*, 66, 486–493.
- [38] Nazir, F., Naik, H.R., Hussain, S.Z. (2016). Effect of Extrusion Conditions and Apricot Powder Incorporation on Colour Parameters of Rice Based Breakfast Snack. *Biosci., Biotech. Res. Asia.*, 13, 1673–1678.
- [39] 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.
- [40] Mahasukhonthachat, K., Sopade, P. A., Gidley, M.J. (2010). Kinetics of starch digestion and functional properties of twin-screw extruded sorghum. *J. Cereal Sci.*, 51, 392–401.
- parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Res. Int.*, 43, 650–658.
- [26] Oikonomopoulou, V., Bakolas, A., Krokida, M. (2016). Physical and Sensory Properties of High Added Value Rice Extrudates, in: Nedović, V., Raspor, P., Lević, J., TumbasŠaponjac, V., Barbosa-Cánovas, G. (Eds), *Emerging and Traditional Technologies for Safe, Healthy and Quality Food*. Food Engineering Series. E-Publishing Springer, Champ., Switzerland, pp 197–220.
- [27] Jacques-Fajardo, G.E., Prado-Ramírez, R., Arriola-Guevara, E., Pérez Carrillo, E., Espinosa-Andrews, H., Guatemala Morales, G.M. (2017). Physical and hydration properties of expanded extrudates from a blue corn yellow pea and oat bran blend. *LWT Food Sci. Technol.*, 84, 804–814.
- [28] Moraru, C.I., Kokini, J.L. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comp. Rev. Food Sci.*, 2, 120–138.
- [29] Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Plunkett, A., Stojceska, V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on theselected physical and nutritional properties of an extruded snack. *J. Food Eng.*, 81, 702–709.
- [30] O’Shea, N., Arendt, E., and Gallagher, E. (2014). Enhancing an extruded puffed snack by optimizing die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food Bioproc. Tech.*, 7, 1767–1782.
- [31] Milani, E., Hashemi, Neda, Mortazavi, S.A., Tabatabaee, F. (2017). Effect of extrusion conditions and formulation on some physicochemical properties of extrudate snack based on almond meal (*Amygdalus communis* L.) and corn grits. *JIFT.*, 10, 5, 123–140.
- [32] Majumdar, R.K., Singh, R.K.R. (2014). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties & sensory characteristics of fish-based expand snacks. *J. Food Process. Preserv.*, 38, 864–879.
- [33] 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, 142–148.
- [34] Rathod, R.P., Annapure, U. (2017). Physicochemical properties, protein and starch digestibility of lentil based noodle prepared by using extrusion processing. *LWT Food Sci. Technol.*, 80, 121–130.
- [35] Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT Food Sci. Technol.*, 42, 781–787.
- [36] Mesquita, C.D.B., Leonel, M., Mischán, M.M. (2013). Effects of processing on physical properties of extruded snacks with blends of sour cassava starch and flaxseed flour. *Food Sci. Technol.*, 33, 404–410.