



ارزیابی ویژگی های ماکروساختاری، عملکردی و رنگ میان وعده حجیم فیبری غنی شده با گل کلم تازه

نیکی زرقانی<sup>۱</sup>، آرش کوچکی<sup>۲</sup> و الناز میلانی<sup>۳</sup>

(۱) دانش آموخته شکارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

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

(۳) دانشیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی.

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>تاریخ های مقاله:</b> تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۷	در این پژوهش از فناوری اکستروژن به منظور تولید میان وعده با فیبر بالا بر پایه گل کلم تازه، نشاسته ذرت و آرد ذرت استفاده شد. بدین منظور از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر و روش سطح پاسخ (RSM) اثر تیمارهای سرعت چرخش ماریچ (۱۲۰ تا ۱۸۰ دور در دقیقه)، سطوح افزودن گل کلم تازه (۱۵، ۲۰، ۲۵ درصد)، بر ویژگی های ماکروساختاری و عملکردی و رنگ شامل نسبت انبساط، تخلخل، حلالیت در آب، انحلال در آب و شاخص تغییرات رنگی میان وعده بررسی گردید. نتایج نشان داد، افزایش درصد گل کلم سبب افزایش شاخص جذب آب ( $P < 0/05$ ) و شاخص سفیدی ( $P < 0/0001$ ) شد و نیز باعث کاهش ضریب انبساط ( $P < 0/0001$ ) و تخلخل ( $P < 0/0001$ ) میان وعده شد و بر شاخص حلالیت در آب بی تاثیر بود. افزایش سرعت ماریچ منجر به افزایش ضریب انبساط ( $P < 0/0001$ )، تخلخل ( $P < 0/0001$ ) و شاخص حلالیت در آب ( $P < 0/0001$ ) شد و شاخص سفیدی ( $P < 0/0001$ ) و جذب آب ( $P < 0/05$ ) را کاهش داد. نمونه بهینه با در نظر گرفتن بیشینه مقدار گل کلم، بیشینه شاخص جذب آب و نسبت انبساط، معادل مقدار گل کلم ۲۵ درصد و سرعت چرخش ۱۸۰ دور در دقیقه با مطلوبیت ۰/۸۱ به دست آمد و پس از انجام آزمون بروی مقادیر پیش بینی شده نرم افزار، عدم معنی داری اختلاف میانگین میان نتایج آنالیز نمونه واقعی و مقادیر نمونه پیشگویی، مشاهده گردید و نیز مشاهدات پژوهش، بیانگر پتانسیل مطلوب میان وعده اکستروژن برای برنامه غنی سازی بود.
<b>کلمات کلیدی:</b> میان وعده، تخلخل، شاخص حلالیت در آب، شاخص جذب آب، رنگ	
DOI:10.22034/FSCT.21.157.1. * مسئول مکاتبات: e.milani@jdm.ac.ir	

## ۱- مقدمه

اکستروژن در توسعه محصولات آماده مصرف از آرد غلات، غده ها و حبوبات مانند غلات صبحانه، میان وعده حجیم، پودر های فوری مورد استفاده قرار میگیرد [۱۳]. به علت تنش برشی، فشار و حرارت در طی پخت اکستروژن ژلاتینه شدن و دپلمریزه شدن ملکول های نشاسته و شکستن شاخه های جانبی در فیبرها حادث شده و قابلیت هضم پروتئین، نشاسته و فراکسیون های فیبری محلول آنها نیز افزایش چشمگیری می یابد [۱۴]. لطفی شیرازی و همکاران (۲۰۲۰)، ویژگی های اسنک بر پایه آرد جو و تفاله هویج را مورد بررسی قرار دادند. با افزایش تفاله هویج، نسبت انبساط، میزان روشنایی، شاخص جذب آب و پذیرش کلی کاهش یافت. در حالی که با افزایش رطوبت، نسبت انبساط، شاخص حلالیت در آب کاهش و میزان روشنایی و شاخص جذب آب افزایش یافت [۱۵]. همچنین تحقیقات لیسیکا و همکاران (۲۰۲۱)، بر روی تأثیر افزودن تفاله تره یا پیاز تازه بر خواص انتخابی پلت های مبتنی بر سیب زمینی و اسنک های پف کرده نشان داد که که افزودن تفاله تره یا پیاز به طور قابل توجهی بر عوامل تعیین کننده رنگ گلوله ها و تقلات سرخ شده، چگالی ظاهری و جذب آب گلوله تأثیر می گذارد علاوه بر این، سرعت پیچ به طور قابل توجهی بر مقدار جذب آب و حلالیت در آب، مختصات L و b در مورد پفک پیاز تأثیر گذاشت [۱۶]. میلانی و همکاران (۲۰۲۰)، امکان مجدد از فراورده های جانبی صنایع تبدیلی (تفاله قهوه و سبوس گندم) به منظور تولید کف جامد فیبری با استفاده از فناوری اکستروژن را بررسی کردند. نتایج نشان داد رطوبت نهایی محصول و فعالیت آب کف فیبری تولیدی با افزایش متقابل سطوح افزودن نسبت تفاله قهوه و سبوس برنج و رطوبت اولیه افزایش یافت. با افزایش سطوح افزودن تفاله قهوه به دلیل افزایش فیبر نامحلول، سختی بافت افزایش و ضریب انبساط کف جامد کاهش معنی داری یافت و نیز با کاهش همزمان رطوبت خوراک و افزایش سرعت ماریپیچ سختی بافت کاهش و ضریب انبساط به طور معنی داری افزایش یافت [۱۷].

در دنیای کنونی، تغییر در سبک زندگی و الگوهای غذایی موجب پررنگ تر شدن نقش میان وعده ها در رژیم غذایی مصرف کنندگان شده است [۱]. به طوری که مصرف میان وعده به بخشی از زندگی روزمره کودکان تبدیل شده است [۲]. میان وعده ها انواع مختلفی دارند که عبارتند از: مواد غذایی تازه، غذاهای بسته بندی شده و فراوری شده. برخی از میان وعده های رایج شامل: بیسکویت، کیک، ساندویچ، سالادهای آماده، سبزی ها و میوه ها، آجیل و دانه ها، پاپ کورن، انواع چیپس و فراورده های اکستروژنی هستند [۳، ۴]. اگرچه تقلات آماده مصرف غالباً فراورده های غذایی پرکالری و کم ارزش از نظر تغذیه ای هستند [۵]. بنابراین می توان برای بهبود تعادل تغذیه ای از میوه ها و سبزیجات تازه و فراوری نشده که غنی ترین منابع اجزای زیست فعال و مواد بهبود دهنده سلامت هستند استفاده کرد [۶]. تغذیه هم یک مسئله کمیت و هم کیفیت است و سبزیجات در تمام اشکال مختلفشان تضمین کننده دریافت کافی از اکثر ویتامین ها و مواد مغذی، فیبرهای غذایی و مواد شیمیایی گیاهی است که می تواند به حل بسیاری از مشکلات تغذیه ای کمک کند [۷]. از میان تحقیقات زیادی که بر روی گیاهان انجام شده است، توجه بسیاری بر روی ترکیبات سلامتی بخش خانواده براسیکا منعطف شده است. که به دلیل ترکیبات زیست فعال و فیبر بالای که دارند نقش ویژه ای در جلوگیری از بروز بیماری ها داشته اند [۸]. گل کلم با نام علمی (*Brassica oleracea var. Botrytis*) محبوب ترین در میان خانواده براسیکا است که به طور گسترده در هند رشد کرده است. بخش خوراکی گل کلم سر<sup>۲</sup> آن است [۹] و منبع عالی پروتئین (۱۶.۱٪)، سلولز (۱.۶٪) و همی سلولز (۰.۸٪) است [۱۰]. به عنوان یک منبع غنی از فیبر تغذیه ای آدر نظر گرفته می شود و دارای خواص آنتی اکسیدانی و ضد سرطان است. [۱۱]. فرایند اکستروژن برای تولید فراورده های حجیم شده، که قسمت اعظمی از میان وعده را تشکیل می دهند، به کار می رود [۱۲]. فناوری پخت

## 3. Dietary fiber

1. Phytochemicals.
2. Curd

موجود در پایلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی استفاده شد. براساس پیش تیمارهای انجام شده شرایط ثابت بهینه فرایند اکستروژن شامل سرعت خوراک، دما و قطر قالب ثابت و به ترتیب برابر با ۴۰ کیلوگرم بر ساعت، ۱۴۰ درجه سانتیگراد و ۳ میلی متر در نظر گرفته شد. رطوبت خوراک ورودی به اکسترودر متناسب با سطوح افزودن گل کلم مقادیر ۱۵ درصد (۲۰/۵۱)، ۲۰ درصد (۲۲/۹)، ۲۵ درصد (۲۷/۷) بود. نمونه ها پس از خروج از قالب اکسترودر، در آون با دمای ۱۱۰ تا ۱۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۰ دقیقه قرارگرفتند تا خشک شوند. سپس نمونه های جمع آوری شده به منظور حفظ رطوبت و عطر و طعم تا زمان انجام آزمایش در کیسه های زیپ دار کد گذاری شده، نگهداری شدند.

جدول ۱- نمایش متغیر های مستقل فرایند و مقادیر آن

ها		متغیر های مستقل	
نماد	فاکتور	نماد	فاکتور
۰	۱	۰	۱
۱۵	۲۰	۲۵	A
۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	B
درصد	سرعت	چرخش	مارپیچ

هدف از پژوهش اخیر بررسی تاثیر متغیرهای فرمولاسیون شامل نسبت گل کلم تازه و سرعت چرخش مارپیچ پخت اکسترودر بر ویژگی های میان وعده حاصل از گل کلم تازه، نشاسته ذرت و آرد ذرت بود. همچنین به دلیل افزودن گل کلم تازه و حذف مراحل خشک کردن گل کلم و افزودن مجدد آب طی پروسه اکستروژن باعث کاهش قابل توجه مصرف آب و انرژی در طول فرایند و کاهش هزینه تمام شده محصول نهایی می شود.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- تهیه و آماده سازی مواد اولیه مواد اولیه

آرد ذرت و نشاسته ذرت، مالتودکسترین ۱۹ DE و گل کلم تازه از بازار محلی مشهد خریداری شدند، سپس گل کلم ها به صورت دستی به قطعات کوچک تری تبدیل شد، شسته شد و در دمای اتاق آب آن ها به صورت کامل خارج شد. سپس توسط آسیاب صنعتی توس شکن خراسان، موجود در آزمایشگاه جهاد دانشگاهی مشهد آسیاب شدند، به این صورت که برای هر بیج در ۳ پارت جداگانه ابتدا گل کلم با مالتودکسترین در مخلوط کن مخلوط شد و پس از آن نشاسته ذرت اضافه گردید و در آخر آرد ذرت به آن اضافه شد. سپس مخلوط حاصله به منظوریک دست شدن الک شد و نمونه های آردی در نایلون های پلی اتیلنی برای جلوگیری از تبادل رطوبت نگهداری گردید. [۱۸].

### ۲-۲- پخت اکستروژن

به منظور تهیه محصول از دستگاه اکسترودر جفت مارپیچی با چرخش هم جهت Jinan Saxin (مدل DS۵۶، ساخت چین)

جدول ۲- ویژگی های شیمیایی نمونه بهینه قبل اکستروژن و بعد اکستروژن

نمونه	قبل	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)	فیبر خام (%)	فعالیت آنتی اکسیدانی	فنل کل
اکستروژن	نمونه	قبل	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)	فیبر خام (%)	فعالیت آنتی اکسیدانی
اکستروژن	نمونه	قبل	پروتئین (%)	چربی (%)	رطوبت (%)	فیبر خام (%)	فعالیت آنتی اکسیدانی
۳/۵۵ <sup>a</sup>	۱/۳۷ <sup>a</sup>	۲۸/۷ <sup>a</sup>	۱۲/۸۹ <sup>a</sup>	۵/۱۷ <sup>a</sup>	۶۹/۸۴ <sup>a</sup>	(گرم در ۱۰۰ گرم)	(میلی گرم در ۱۰۰ گرم)
۳/۹۳ <sup>b</sup>	۰/۶ <sup>b</sup>	۱۰/۰۳ <sup>b</sup>	۱۹/۳۳ <sup>b</sup>	۷/۱۸ <sup>b</sup>	۱۷۰/۰۳ <sup>b</sup>	(گرم)	(میلی گرم در ۱۰۰ گرم)

در هر ستون، میانگین های با حروف یکسان با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند ( $P < 0.05$ ).

ابتدا مایع رویی فالكون در مرحله اندازه گیری شاخص جذب آب، به پلیتی که از قبل توزین شده بود انتقال یافت. سپس در آون هوای داغ با دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد قرار گرفت و در نهایت پلیت به همراه رسوبات موجود توزین شد و میزان حلالیت از رابطه زیر محاسبه گردید [۱۹].

$$100 \times \frac{\text{وزن ماده خشک محلول در مایع رویی}}{\text{وزن نمونه خشک اولیه}} = \text{شاخص حلالیت در آب}$$

#### ۲-۷- بررسی مولفه های سنجش رنگ

رنگ محصول تولید شده با استفاده از دستگاه هانترلب اندازه گیری شد. Hunter Lab, VA color Flex (Made in U.S.A, Reston). هر نمونه پودری به صورتی که کاملاً کف ظرف مخصوص دستگاه پوشیده شده و مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  تعیین گردید که  $L^*$  شاخص روشنی نمونه بوده و مقدار آن از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است. مقادیر مثبت و منفی  $a^*$  به ترتیب شاخص قرمزی و سبزی و مقادیر مثبت و منفی  $b^*$  به ترتیب بیان گر میزان زردی و آبی بودن نمونه هستند. برای هر نمونه ۳ عکس و از هر عکس ۳ قسمت از نمونه آنالیز انجام شد و طبق معادله زیر شاخص سفیدی تعیین گردید [۲۱]:

$$\text{شاخص سفیدی} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

#### ۲-۸- طرح آزمایشات و تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش از طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر و روش سطح پاسخ (RSM) با ۲ فاکتور و ۳ سطح استفاده شد و تاثیر متغیر های مستقل بر ویژگی های فیزیکی و عملکردی میان وعده مورد بررسی قرار گرفت. مدل سازی نتایج به دست آمده از این پژوهش با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۷ انجام شد و منحنی های سه بعدی جهت بررسی رابطه میان متغیر های مستقل و پاسخ ها رسم گردید.

#### ۲-۳- نسبت انبساط

ابتدا ۱۰ عدد از نمونه به طور تصادفی از هر تیمار انتخاب شد و قطر هر نمونه در ۵ مکان مختلف با استفاده از کولیس دیجیتال اندازه گیری شد. جهت اندازه گیری متوسط ضخامت فرآورده، از نتایج حاصل میانگین گرفته شد با تقسیم میانگین قطر میان وعده بر قطر قالب اکسترودر میزان انبساط محاسبه می شود [۱۹].

$$\text{نسبت انبساط} = \frac{\text{قطر نمونه اکسترودر شده}}{\text{قطر قالب اکسترودر}}$$

#### ۲-۴- تخلخل

تخلخل به صورت حجم خلل و فرج درون ذرات به حجم کل آن تعریف میشود. تخلخل از رابطه زیر محاسبه خواهد شد [۲۰].

$$\text{تخلخل} = \frac{\text{دانسیته توده} - \text{دانسیته ذره}}{\text{دانسیته ذره}} \times 100$$

#### ۲-۵- شاخص جذب آب

این شاخص میزان آب جذب شده توسط گرانول یا پلیمر نشاسته پس از تورم را اندازه گیری می کند. جهت تعیین این شاخص ابتدا ۲/۵ گرم پودر فالكون از پیش توزین شده اضافه گردید، سپس ۲۵ میلی لیتر آب مقطر به آن افزوده و در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۲۰۰۰ دور بر دقیقه همزده شد و مخلوط حاصل در ۳۰۰۰g به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ گردید. در نهایت مایع رویی را از فالكون خارج کرده و ژل باقی مانده توزین شد. شاخص جذب آب از رابطه زیر محاسبه شد [۱۹].

$$\text{شاخص جذب آب} = \frac{\text{وزن ژل باقی مانده}}{\text{وزن نمونه خشک اولیه}}$$

#### ۲-۶- شاخص حلالیت در آب

## ۳- نتایج و بحث

## ۳-۱- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر شاخص نسبت

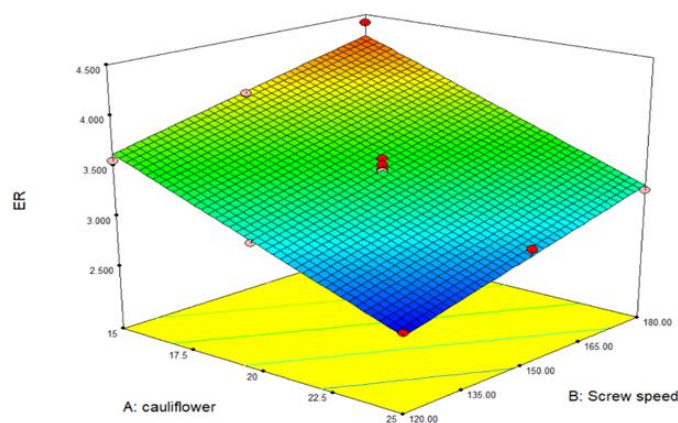
## انبساط

میزان انبساط نشان دهنده‌ی حجم تشکیل شده توسط ماده مذاب خارج شده از دستگاه اکسترودر می باشد [۲۲]. محدوده تغییرات نسبت انبساط نمونه‌ها ۲/۶۰۹ تا ۴/۴۱۸ بود. مدل خطی برازش شده برای این پارامتر، معنی دار ( $P < 0/0001$ ) و ضعف برازش مربوط به مدل معنی دار نبود. مقدار  $R^2$  محاسبه شده ۰/۹۶ بود و عبارات معنی دار شامل درصد گل کلم و سرعت چرخش ماریچ بود ( $P < 0/0001$ ). تأثیر متغیرهای اکستروژن بر نسبت انبساط در نمودار (۱) نشان داده شده است. افزایش هم زمان نسبت گل کلم و سرعت چرخش باعث کاهش نسبت انبساط شد که ناشی از افزایش تأثیر بیشتر نسبت گل کلم نسبت به سرعت چرخش است. بالاترین نسبت انبساط برای نمونه حاوی ۱۵ درصد (وزنی/ وزنی) گل کلم در ۱۸۰ دور در دقیقه و کمترین نسبت انبساط برای نمونه حاوی ۲۵ درصد (وزنی/ وزنی) گل کلم اکسترودر شده در ۱۲۰ دور در دقیقه مشاهده شد.

با افزایش مقدار گل کلم تازه به واسطه‌ی افزایش فیبر و متعاقباً کاهش سهم نشاسته، میزان انبساط کاهش یافت؛ وجود فیبر در دیواره‌ی سلولی هوا پتانسیل انبساط نشاسته و ژلاتینه شدن نشاسته را کاهش می دهد و در نتیجه منجر به کاهش انبساط می شود [۲۳]. دلیل انبساط محدود محصولات میان وعده ترکیب شده با خمیر سبزیجات تازه، می تواند تأثیر محتویات آب موجود در پالپ های گیاهی و همچنین کاهش محتوای نشاسته به دلیل جایگزینی با فیبر باشد [۲۴]. با افزایش فیبر دیواره سلول های

هواي تشكيل شده، سست و نازک شده و به سرعت متلاشي می شوند. به این ترتیب از تشکیل و گسترش سلول های هوا جلوگیری شده و این ساختار متراکم تر سبب کاهش میزان انبساط می شود [۲۵]. در تئوری دیگری فیبر امکان دسترسی آب برای ژلاتینه شدن نشاسته را محدود کرده، ویسکوزیته ماده مذاب را افزایش داده و در نهایت باعث کاهش میزان انبساط فرآورده نهایی می شود [۲۶]. رطوبت خوراک ورودی یکی از عوامل اصلی موثر بر میزان انبساط است [۲۷]. افزایش گل کلم از طریق افزایش رطوبت، باعث کاهش دمای محفظه می شود که این امر منجر به کاهش میزان ژلاتینه شدن نشاسته شده و در نهایت باعث کاهش میزان انبساط فرآورده اکسترودر شده می گردد [۲۸].

رابطه مشابهی برای فرآورده های اکسترودر شده ذرت با افزودن گوجه فرنگی خشک مشاهده شد که این اثر به دلیل کاهش مقدار نشاسته بیان شد و نسبت انبساط را کاهش داد [۲۹]. در تحقیق دیگر افزودن تفاله هویج تا ۲۵ درصد و افزایش رطوبت خوراک ورودی، انبساط محصول نهایی را کاهش داد [۱۵]. در تمام نمونه‌ها با افزایش سرعت ماریچ، نسبت انبساط افزایش یافت. هاگنیمانا و همکاران (۲۰۰۶)، دریافتند که افزایش سرعت ماریچ، همگام با افزایش درجه حرارت و نیروی برشی بدلیل ورود انرژی بیشتر به مواد داخل محفظه اکسترودر سبب کاهش ویسکوزیته خمیر مذاب شده و تبخیر رطوبت در خروجی قالب را افزایش می دهد و در نتیجه نسبت انبساط را افزایش می دهد [۳۰]. سکر (۲۰۰۵)، همچنین دریافت که افزایش سرعت ماریچ به طور پیوسته نسبت انبساط را افزایش می دهد [۳۱].



**Figure1-** Response surface diagram for the effect of the variables of cauliflower percentage and screw speed on the expansion ratio (ER)

فیبر باعث از هم گسیختگی دیواره حباب های گازی می شوند و به دنبال آن کاهش انبساط و تخلخل را به همراه دارند. بشارت و همکاران (۲۰۱۳)، همچنین گزارش کرده اند دلیل کاهش تخلخل در میان وعده های بر پایه ذرت- خمیر زیتون حاصل از روغن کشی، افزودن فیبر به فرمول است [۲۳]. پژوهش سان و همکاران (۲۰۰۲)، بر روی محصولات اکستروژده حاوی تغاله سویای چربی گیری شده نشان داد که به دلیل افزایش میزان فیبر اندازه سلول های هوا کاهش و از طرفی تعداد حفرات در سلول های هوایی افزایش یافته که منجر به تراکم بافت و کاهش تخلخل گردید [۳۴]. لطفی شیرازی و همکاران (۲۰۲۰) مشاهده کردند که افزودن تغاله هویج از ۱۵ به ۲۵ درصد به دلیل محتوای فیبر بالا در تغاله هویج، باعث کاهش تخلخل شد [۱۵]. افزایش رطوبت خوراک ورودی به واسطه افزودن گل کلم تازه سبب کاهش دمای محفظه می شود. دمای پایین فرایند، منجر به کاهش میزان ژلاتینه شدن نشاسته می شود که در نهایت باعث کاهش تخلخل و میزان انبساط فرآورده اکستروژده شده می گردد [۲۸]. از طرفی با افزایش رطوبت خوراک ورودی، امکان نزدیک شدن و به هم چسبیدن ذرات و در نتیجه پرشدن فضاهای خالی بین آن ها بیشتر می شود و در نتیجه تخلخل کاهش می یابد [۳۵].

### ۲-۳- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر میزان تخلخل

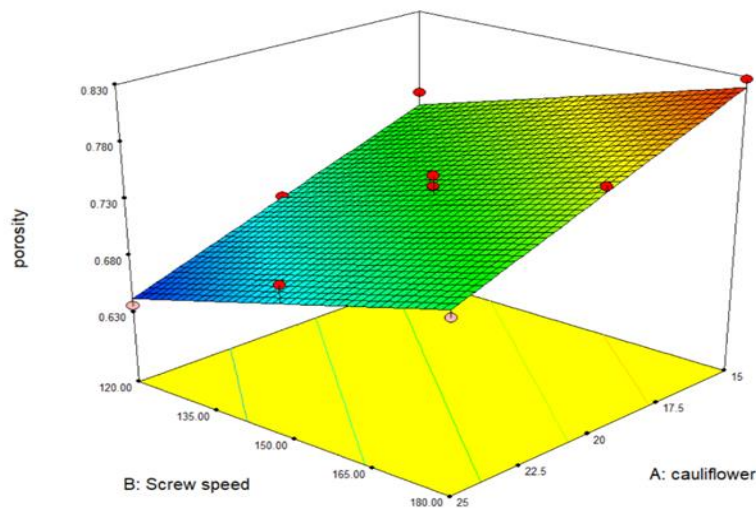
هوای محبوس شده در داخل خمیر باعث ایجاد خلل و فرج در ماده اکستروژده می شود. عوامل متعددی باعث ایجاد حفرات با اندازه های مختلف در فرآورده می شوند. دلیل تشکیل ساختار متخلخل و اسفنجی در این محصولات، خروج ناگهانی بخار از داخل خمیر می باشد. خصوصیات عملکردی متفاوت خمیر ها، ترکیب خوراک ورودی و متغیر های فرایند تعیین کننده اندازه حفرات و تعداد خلل و فرج ها می شود [۳۲]. هسته زایی مرحله اول انبساط می باشد. فیبر های محلول با افزایش حجم آزاد و فیبر های نامحلول با توجه به خصوصیات هیدروفوبی که دارند از عوامل هسته زایی می باشند [۳۳]. محدوده تخلخل نمونه ها از ۰/۶۳۵ تا ۰/۸۲۷۸ متغیر بود. مدل خطی برازش شده برای این پارامتر، معنی دار ( $P < 0/0001$ ) و ضعف برازش مربوط به مدل معنی دار نبود. مقدار  $R^2$  محاسبه شده ۰/۹۱ بود و اثر نسبت گل کلم و سرعت مارپیچ بر تخلخل معنی دار بودند ( $P < 0/0001$ ).

در سرعت های ثابت مارپیچ، با افزایش میزان گل کلم، تخلخل کاهش یافت. با افزایش میزان گل کلم میزان آب و فیبر سیستم افزایش و سهم نشاسته در فرمول کاهش پیدا می کند که حضور

دهد. هنگام خروج خمیر مذاب از قالب اکسترودر، افت ناگهانی فشار سبب افزایش تبخیر رطوبت در قالب خروجی می شود که منجر به انبساط بیشتر و افزایش تخلخل می شود [۲۳].

هاگنیمانا و همکاران (۲۰۰۶)، دریافتند که افزایش سرعت ماریپیج، همگام با افزایش درجه حرارت و نیروی برشی بدلیل ورود انرژی بیشتر به مواد داخل محفظه اکسترودر سبب کاهش ویسکوزیته خمیر مذاب شده و تبخیر رطوبت در خروجی قالب را افزایش می دهد که منجر به انبساط بیشتر و افزایش تخلخل می شود [۳۰].

در همه نمونه ها با افزایش سرعت ماریپیج، تخلخل به طور معنی داری افزایش یافت. اثر سرعت ماریپیج بر تخلخل را می توان به تنش برشی وارد شده بر مواد اکستروژن در اکستروژن نسبت داد [۳۶]. تنش برشی بیش از حد می تواند باعث تجزیه بیش از حد و دکستریته شدن نشاسته شده و توانایی آن را برای متورم شدن و ژلاتینه شدن کاهش دهد. ادعا می شود مرکز نشاسته، یکی از مکان های هسته اولیه برای شروع تشکیل حباب است. اگر نشاسته آسیب ببیند، نمی تواند آب را جذب کند و توانایی آن در حمل بخار و شروع هسته سازی کاهش پیدا می کند [۳۷]. همچنین بشارت و همکاران (۲۰۱۳)، گزارش کردند که افزایش سرعت ماریپیج، فشار مطلق ایجاد شده در داخل محفظه را افزایش می



**Figure2-** Response surface diagram for the effect of the variables of cauliflower percentage and screw speed on the porosity

مدل درجه دوم برازش شده معنی دار ( $P < 0/05$ ) و ضعف برازش مربوط به مدل معنی دار نبود. مقادیر  $R^2$  و انحراف استاندارد به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۹۶ به دست آمد. ضرایب رگرسیون برای اثرات خطی نسبت گل کلم و سرعت ماریپیج و همچنین اثر درجه دوم نسبت گل کلم برای WAI معنی دار بود ( $P < 0/05$ ). شاخص جذب آب نمونه ها از ۵/۳۶ تا ۶/۴۷ محاسبه شد. بالاترین جذب آب برای نمونه حاوی ۲۵ درصد (وزنی/وزنی) گل کلم در ۱۵۰

۳-۳- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر شاخص جذب آب  
شاخص جذب آب (WAI)، میزان آب نگهداری شده توسط نشاسته را پس از تورم نشان می دهد [۳۸].

ترکیب خوراک میزان پروتئین و فیبر نمونه های اکستروود شده نشاسته ذرت و دانه کنجد افزایش یافت که خاصیت جذب آب این دو ترکیب می تواند بر افزایش شاخص جذب آب نمونه ها با درصد کنجد بیشتر موثر باشد [۴۳].

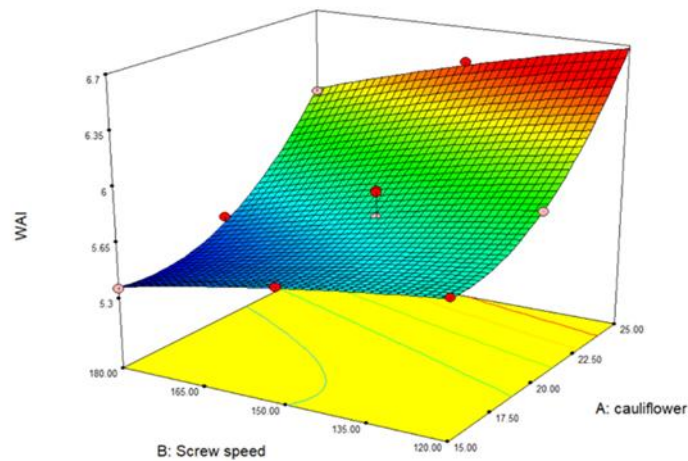
WAI با افزایش سرعت ماریپیج کاهش یافت. سرعت چرخش بیشتر باعث تخریب پروتئین و نشاسته می گردد و میزان جذب آب را در فراورده های اکستروود شده کاهش می دهد [۳۷, ۴۴, ۴۵] می توان انتظار داشت با افزایش سرعت، زنجیره های پلیمری نشاسته دکسترینه شده و باعث می شوند گروه های آبدوست در دسترس نباشند در نتیجه کمتر بودن گروه های آبدوست و اتصال آب کمتر WAI کاهش یابد [۴۴]. همان طور که در نمودار مشاهده می شود افزایش هم زمان گل کلم و سرعت چرخش نیز به واسطه کاهش نسبت انبساط باعث کاهش شاخص جذب آب شد. آب از طریق سلول های هوا در سطح و داخل محصول حرکت می کند، بنابراین، هر چه سلول های هوا کمتر باشد، مقدار کمتری آب می تواند جذب شود [۴۶].

اثر منفی سرعت ماریپیج بر WAI و نیز تاثیر مثبت رطوبت نیز توسط آلتان و همکاران (۲۰۰۹)، در فراورده های اکستروود شده بر پایه تفاله گوجه فرنگی و جو گزارش شده است [۲۵]. سینگ و همکاران (۲۰۱۵)، نیز نتایج مشابهی از رابطه بین سرعت ماریپیج و شاخص جذب آب گزارش کردند [۴۴].

دور در دقیقه به دست آمد. در مقابل، کمترین جذب آب برای نمونه حاوی ۱۵ درصد (وزنی / وزنی) گل کلم اکستروود شده در ۱۸۰ دور در دقیقه مشاهده شد.

جذب آب با افزایش درصد گل کلم به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) افزایش یافت و نیز با افزایش سرعت ماریپیج به طور معنی داری ( $P < 0.05$ ) کاهش یافت که این نتایج مشابه با گزارش هانگ و همکاران (۲۰۱۴) بود [۳۹]. با افزایش درصد گل کلم در ترکیب خوراک میزان فیبر نمونه ها افزایش می یابد که خاصیت جذب آب فیبر [۴۰] می تواند بر افزایش شاخص جذب نمونه ها با درصد گل کلم بیشتر موثر باشد. همچنین با افزایش نسبت گل کلم تازه میزان رطوبت افزایش پیدا کرده که این افزایش رطوبت منجر به افزایش قابل توجهی در WAI محصول نهایی می شود. آب به عنوان یک نرم کننده در حین پخت اکستروژن عمل می کند و تجزیه دانه های نشاسته را در خمیر کاهش می دهد، در نتیجه ظرفیت جذب آب توسط نشاسته و WAI افزایش می یابد [۳۰, ۴۱]. کایسانگسری و همکاران (۲۰۱۶)، اثرات افزودن تفاله هویج بر کیفیت محصول اکستروود شده ذرت را بررسی کردند. مشاهدات آن ها نشان داد که افزودن تفاله هویج شاخص جذب آب را افزایش داد که این امر را به وجود گروه های هیدروکسیل در ساختار تفاله هویج نسبت دادند. از آن جایی که در ساختار گل کلم نیز گروه های هیدروکسیل زیادی وجود دارند [۴۲]، می توان افزایش جذب آب با افزایش درصد گل کلم را به گروه های هیدروکسیل آن که با پیوندهای هیدروژنی آب در تعامل هستند نسبت داد که به جذب آب بیشتر کمک می کنند. نتایج بیرقی و همکاران (۲۰۱۸)، نیز نشان داد که با افزایش درصد کنجد در





**Figure3-** Response surface diagram for the effect of the variables of cauliflower percentage and screw speed on water absorption index

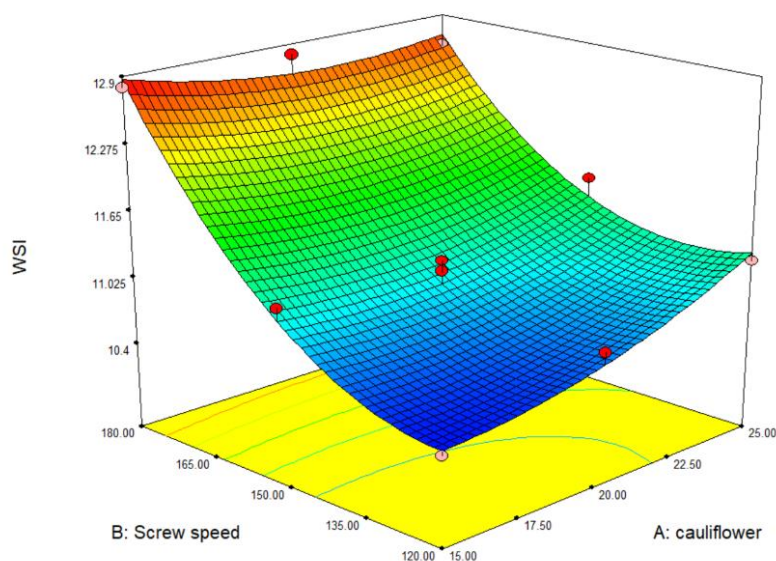
اکستروژن شده با افزایش سرعت ماریچج ممکن است به افزایش انرژی مکانیکی ویژه (SME) در سرعت های بالای ماریچج مرتبط باشد. برش مکانیکی بالا باعث تجزیه ماکرومولکول ها به مولکول های کوچک با حلالیت بالاتر می شود [۵۰]. افزایش WSI با افزایش سرعت ماریچج با نتایج گزارش شده توسط سایر محققان بر روی محصولات اکستروژن شده آرد برنج و کینوا مطابقت داشت [۵۱-۵۳]. این یافته ها منطبق با تحقیقات آلتان و همکاران (۲۰۰۸)، در تولید میان وعده از تفاله جو- گوجه فرنگی نیز بود [۲۵].

### ۳-۴- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر شاخص حلالیت در آب

شاخص حلالیت در آب اساساً به عنوان شاخصی برای تخریب اجزای مولکولی استفاده می شود و مقدارپلی ساکارید محلول آزاد شده از جزء نشاسته پس از اکستروژن را اندازه گیری می کند [۴۷]. مدل درجه دوم برازش شده معنی دار ( $P < 0.0001$ ) و ضعیف برازش برای این فاکتور غیر معنی دار بود. مقدار  $R^2$  محاسبه شده ۰/۹۶ بود و عبارات معنی دار شامل سرعت ماریچج ( $P < 0.0001$ )، اثر متقابل نسبت گل کلم و سرعت ماریچج و اثر درجه دوم سرعت ماریچج ( $P < 0.05$ ) بودند و نیز اثر معنی داری از درصد گل کلم بر این فاکتور یافت نشد.

این یافته ها با مطالعه‌ی (استوجسکا و همکاران، ۲۰۰۸)، که در آن برای تهیه محصول اکستروژن شده از فراورده جانبی مالت سازی غلات مورد استفاده قرار گرفته بود؛ مطابقت داشت [۴۸] همچنین در مطالعه دیگری نتایج مشابهی مبنی بر بی تاثیر بودن سطوح گل کلم در تولید میان وعده از فراورده های جانبی گل کلم، بر شاخص انحلال در آب گزارش شد [۴۹].

افزایش همزمان سرعت ماریچج و سطوح گل کلم باعث افزایش WSI محصولات اکستروژن شده گردید. افزایش WSI محصولات



**Figure4-** Response surface diagram for the effect of the variables of cauliflower percentage and screw speed on water solubility index

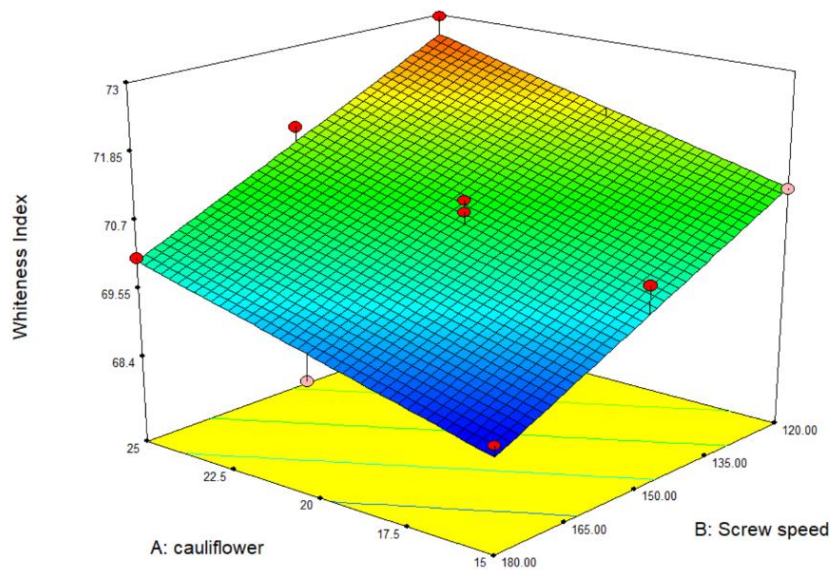
با افزایش سرعت ماریپیچ، شاخص سفیدی به طور معنی داری ( $P < 0/0001$ ) کاهش یافت. بیشترین شاخص سفیدی برای نمونه حاوی ۲۵٪ (وزنی/ وزنی) گل کلم در ۱۲۰ دور در دقیقه یافت شد. کاهش شاخص سفیدی با افزایش سرعت ماریپیچ به این دلیل است که با افزایش سرعت ماریپیچ، پروتئین و نشاسته بیشتر تخریب می شوند. در نتیجه، واکنش مایلارد بیشتر رخ می دهد و موجب کاهش شاخص روشنایی و شاخص سفیدی می گردد [۱۹، ۵۴]. در حالی که شاخص سفیدی با افزایش درصد گل کلم به طور معنی داری افزایش یافت که ارتباط مثبت بین افزایش شاخص سفیدی و افزودن فیبر را تأیید می کند. افزایش گل کلم به واسطه افزایش رطوبت و اثر روانکاری موجب تخریب کمتر ترکیبات و در نتیجه کاهش واکنش مایلارد و کاراملیزاسیون می گردد [۲۳]. لطفی شیرازی و همکاران (۲۰۲۰)، نیز نتایج مشابهی گزارش کردند که افزایش رطوبت سبب افزایش روشنایی میان وعده تولیدی شد [۱۵].

### ۳-۵- اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند بر تغییر مولفه های رنگی فراورده

رنگ یک عامل کیفی مهم است که مستقیماً با مقبولیت محصولات غذایی مرتبط است و یک ویژگی فیزیکی مهم برای گزارش برای محصولات اکستروود شده است [۲۵]. جدول ۱ مقادیر مختصات  $a^*$ ،  $L^*$  و  $b^*$  همچنین شاخص WI را برای میان وعده تولیدی نشان می دهد. نتایج آنالیز واریانس نشان داد مدل خطی برازش شده معنی دار ( $P < 0/0001$ ) و ضعف برازش غیر معنی دار بود. مقدار  $R^2$  برای این فاکتور ۰/۸۶ به دست آمد. عبارات معنی دار شامل درصد گل کلم و سرعت ماریپیچ ( $P < 0/0001$ ) بودند. شاخص سفیدی نمونه ها از ۶۸/۶۵ تا ۷۲/۹۶ متغیر بود. تأثیر متغیرهای اکستروژن بر شاخص سفیدی در نمودار ۵ نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج مختصات رنگ  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  و شاخص سفیدی اسنک اکستروود شده

شاخص سفیدی	شاخص b*	شاخص a*	شاخص L*	سرعت ماریچ	درصد گل کلم
۷۱/۰۲	۲۶/۰۶	-۰/۳۷	۸۳/۲۳	۱۲۰	۱۵
۷۰/۲۳	۲۴/۸۲	-۱/۸۹	۸۴/۲۸	۱۵۰	۱۵
۶۸/۶۵	۲۵/۳۸	-۱/۰۲	۸۳/۳۹	۱۸۰	۱۵
۷۱/۳۲	۲۳/۸۴	-۱/۰۸	۸۳/۵۸	۱۲۰	۲۰
۷۰/۹۵	۲۴/۲۹	-۱/۰۵	۸۳/۶۷	۱۵۰	۲۰
۶۸/۸	۲۶/۳	-۰/۳۷	۸۳/۱۷	۱۸۰	۲۰
۷۲/۹۶	۲۲/۲	-۱/۴۶	۸۶/۲۷	۱۲۰	۲۵
۷۱/۶	۲۲/۸۱	-۱/۳۱	۸۳/۰۳	۱۵۰	۲۵
۷۰/۰۹	۲۴/۹۵	-۱/۰۳	۸۵/۰۵	۱۸۰	۲۵



**Figure5-** Response surface diagram for the effect of the variables of cauliflower percentage and screw speed on whiteness index

شد. نتایج حاصل از بهینه یابی با در نظر گرفتن بیشینه مقدار گل کلم (۲۵ درصد)، بیشینه جذب آب (۶/۴۷) و بیشینه نسبت انبساط (۴/۴۱۸)، معادل مقدار گل کلم ۲۵ درصد، سرعت ماریچ ۱۸۰ دور در دقیقه با مطلوبیت ۰/۸۱ تعیین گردید.

**بهینه یابی**  
در این پژوهش، هدف از بهینه سازی رسیدن به محصولی با ویژگی های مطلوب می باشد که با استفاده از نرم افزار design expert و طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر انجام

## نتیجه گیری

عنوان ماده اولیه در فرمولاسیون سایر مواد غذایی نظیر فرآورده های رژیمی، غذاهای آماده مصرف و پودر فوری مورد استفاده قرار بگیرد. در بین روش های تولیدی، تکنولوژی پخت اکسترون به دلیل اثرات مثبتی که بر قابلیت هضم و همچنین حداقل افت کیفیت تغذیه ای حین پروسه، جهت تولید این محصول استفاده گردید. مطابق نتایج برای دارابودن خصوصیات مطلوب تغذیه ای و تکنولوژیکی، میتوان تا سطح ۲۵ درصد فرمولاسیون از گل کلم تازه استفاده نمود. پس از انجام آزمون بر روی مقادیر پیش بینی شده نرم افزار، عدم معنی داری اختلاف میانگین میان نتایج آنالیز نمونه واقعی و مقادیر نمونه پیشگویی، مشاهده گردید و نیز مشاهدات پژوهش، بیانگر پتانسیل مطلوب میان وعده اکسترون برای برنامه غنی سازی بود.

## ع

## - منابع

- [1] Nath, A. and P. Chattopadhyay, Effect of process parameters and soy flour concentration on quality attributes and microstructural changes in ready-to-eat potato-soy snack using high-temperature short time air puffing. *LWT-Food Science and Technology*, 2 (4)41 .008p. 707-715..
- [2] Potter, R., V. Stojceska, and A. Plunkett, The use of fruit powders in extruded snacks suitable for Children's diets. *LWT-Food science and technology*, 2013. **51**(2): p. 537-544.
- [3] Brennan, M.A., et al., Ready-to-eat snack products: the role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International journal of food science & technology*, 2013. **48**(5): p. 893-902.
- [4] Tumuluru, J., *Snack Foods: Role in Diet in: Encyclopedia of Food and Health*. 2016 , Elsevier.
- [5] Sayanjali, S., et al., Extrusion of a curcuminoid-enriched oat fiber-corn-based snack product. *Journal of food science*, 2019. **84**(2): p. 284-291.

نیاز به تولید فرآورده های غذایی فراسودمند ، یکی از مهمترین دغدغه های تولید کنندگان است. از آنجایی که گل کلم تازه و فراوری نشده سرشار از فیبر تغذیه ای و پلی فنول است، استفاده از آن در محصولات اکسترون شده فرصتی امیدوارکننده برای تقویت تغذیه ای و سلامت است. همچنین استفاده از سبزیجات تازه سبب حذف مرحله فراوری و خشک کردن و کاهش قیمت تمام شده محصول می شود. میان وعده تولیدی به دلیل محتوای بالای فیبر به عملکرد بهتر دستگاه گوارش، سیستم ایمنی بدن، کنترل وزن و دیابت کمک می نماید. همچنین به دلیل ساختار متخلخل، بافت مناسب و فیبر بالا می تواند به

- [6] Tiwari, S., et al., Organic solvent-free extraction of carotenoids from carrot bio-waste and its physico-chemical properties. *Journal of food science and technology*, 2019. **56**: p. 4678-4687.
- [7] Dias, J.S., Major classes of phytonutrients in vegetables and health benefits: A review. *Journal of Nutritional Therapeutics*, 2012. **1**(1): p. 31-62.
- [8] Beecher, C., Cancer preventive properties of varieties of Brassica oleracea: a review. *The American journal of clinical nutrition*, 1994. **59**(5): p. 1166S-1170S.
- [9] Kowsalya, S. and S. Mohandas, Acceptability and nutrient profile of cauliflower leaves (*Brassica oleracea*, var. botrytis). *The Indian journal of nutrition and dietetics*, 1999. **36**(7): p. 332-338.
- [10] Wadhwa, M., S. Kaushal, and M. Bakshi, Nutritive evaluation of vegetable wastes as complete feed for goat bucks. *Small Ruminant Research*, 2006. **64** (3)p. 279-284.
- [11] Podsedek, A., Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. *LWT-Food Science and Technology*, 2007. **40**(1): p. 1-11.
- [12] Campbell, G.M., M. Ross, and L. Motoi, Bran in bread: effects of particle size and level of wheat and oat bran on mixing, proving and baking, in *Bubbles in food 2*. 2008, Elsevier. p. 337-354.

- [13] James, S. and T.U. Nwabueze, Quality evaluation of extruded full fat blend of African breadfruit-soybean-corn snack. 2013.
- [14] Hashemi, N., et al., Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially deffated almond powder and corn flour. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017. **41**(5): p. e13210.
- [15] Lotfi Shirazi, S., et al., Production of high fiber ready-to-eat expanded snack from barley flour and carrot pomace using extrusion cooking technology. *Journal of food science and technology*, 2020. **57**: p. 2169-2181.
- [16] Lisiecka, K., et al., New type of potato-based snack-pellets supplemented with fresh vegetables from the *Allium* genus and its selected properties. *Lwt*, 2021. **145**: p. 111233.
- [17] Mialni, E., et al., A feasibility study of fiber solid foam based on food by products (Spent coffee-wheat bran). *Journal of food science and technology (Iran)*, 2020. **17**:(103)p. 67-81.
- [18] Khan, M., et al., Optimization of feed moisture and sugar content in the development of instant rice porridge mix using extrusion technology. *Journal of Food Processing & Technology*, 2019. **10**(12): p. 850-862.
- [19] Alam, M.S., S. Pathania, and A. Sharma, Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT*, 2016. **74**: p. 135-144.
- [20] jinapong, N., M. Suphantharika, and P. Jamnong, Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of food engineering*, 2008. **84**(2): p. 194-205.
- [21] Duan, X., et al., Browning behavior of button mushrooms during microwave freeze-drying. *Drying Technology*, 2016. **34**(11): p. 1373-1379.
- [22] Asare, E.K., et al., Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2004. **55**(5): p. 431-439.
- [23] Bisharat, G., et al., Effect of extrusion conditions on the structural properties of corn extrudates enriched with dehydrated vegetables. *Food research international*, 2013. **53**(1): p. 1-14.
- [24] Lisiecka, K., et al., Design of new gluten-free extruded rice snack products supplemented with fresh vegetable pulps: The effect on processing and functional properties. *International Agrophysics*, 2020. **35**(1): p. 41-60.
- [25] Altan, A., K.L. McCarthy, and M. Maskan, Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 2008. **84**(2): p. 231-242.
- [26] Yanniotis, S., A. Petraki, and E. Soumpasi, Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of food engineering*:(2)80 . 2007 ,p. 594-599
- [27] Yao, N., et al., Physical and sensory characteristics of extruded products made from two oat lines with different  $\beta$ -glucan concentrations. *Cereal Chemistry*, 2006. **83**(6): p. 692-699.
- [28] Ding, Q.-B., et al., The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of food engineering*, 2006. **73**(2): p. 142-148.
- [29] Wójtowicz, A., et al., Chemical characteristics and physical properties of functional snacks enriched with powdered tomato. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 2018. **68**(3).
- [30] Hagenimana, A., X. Ding, and T. Fang, Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 2006. **43**(1): p. 38-46.
- [31] Seker, M., Selected properties of native or modified maize starch/soy protein mixtures extruded at varying screw speed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2005. **85**(7): p. 1161-1165.

- [32] Suknark, K., R. Phillips, and M. Chinnan, Physical properties of directly expanded extrudates formulated from partially defatted peanut flour and different types of starch. *Food Research International*, 1997. **30**(8): p. 575-583.
- [33] Van der Sman, R. and J. Broeze, Structuring of indirectly expanded snacks based on potato ingredients: A review. *Journal of Food Engineering*, 2013. **114**(4): p. 413-425.
- [34] Sun, Y. and K. Muthukumarappan, Changes in functionality of soy-based extrudates during single-screw extrusion processing. *International Journal of Food Properties*, 2002. **5**(2): p. 379-389.
- [35] Koc, B., I. Eren, and F.K. Ertekin, Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. *Journal of food engineering*, 2008. **85**(3): p. 340-349.
- [36] Frame, N.D. and J.M. Harper, *The technology of extrusion cooking*. 1994: Springer.
- [37] Moraru, C. and J. Kokini, Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2003. **2**(4): p. 147-165.
- [38] Mason, W.R. and R. Hosney, *Factors affecting the viscosity of extrusion cooked wheat starch*. 1985, Kansas State University.
- [39] Huang, J., W.-B. Lui, and J. Peng, Effects of screw speed and sesame cake level on optimal operation conditions of expanded corn grits extrudates. *International journal of food engineering*, 2014. **10**(2): p. 317-328.
- [40] Wang, C., et al., Modification of insoluble dietary fiber from ginger residue through enzymatic treatments to improve its bioactive properties. *Lwt*, 2020. **125**: p. 109220.
- [41] Suksomboon, A., et al., 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*, 2011. **46**(1): p. 201-208.
- [42] Favela-González, K.M., A.Y. Hernández-Almanza, and N.M. De la Fuente-Salcido, The value of bioactive compounds of cruciferous vegetables (Brassica) as antimicrobials and antioxidants: A review. *Journal of Food Biochemistry*, 2020. **44**(10): p. e13414.
- [43] Beiraghi-Toosi, S., M. Mohebbi, and M. Varidi, Effect of feed mixture and process variables on physicochemical properties of solid foams made from corn starch and sesame seed by extrusion. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 2018. **14**(5): p. 865-876.
- [44] Singh, B., S.Z. Hussain, and S. Sharma, Response surface analysis and process optimization of twin screw extrusion cooking of potato-based snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2015. **39**(3): p. 270-281.
- [45] Yağcı, S. and F. Göğüş, Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of food engineering*, 2008. **86**(1): p. 122-132.
- [46] Lee, J.-S., et al., Physico-chemical characteristics of rice protein-based novel textured vegetable proteins as meat analogues produced by low-moisture extrusion cooking technology. *LWT*, 2022. **157**: p. 113056.
- [47] Ding, Q.-B., et al., The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food engineering*, 2005. **66**(3): p. 283-289.
- [48] Stojceska, V., et al., The recycling of brewer's processing by-product into ready-to-eat snacks using extrusion
- [49] Stojceska, V., et al., Cauliflower by-products as a new source of dietary fibre, antioxidants and proteins in cereal based ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 2008. **87**(4): p. 554-563.
- [50] Singh, B., et al., Response surface analysis and process optimization of twin screw extrusion cooking of potato-based snacks.

- Journal of Food Processing and Preservation, 2015. **39**(3): p. 270-281.
- [51] Doğan, H. and M. Karwe, Physicochemical properties of quinoa extrudates. Food Science and Technology International, 2003. **9**(2): p. 101-114.
- [52] Guha, M., S.Z. Ali, and S. Bhattacharya, Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature and screw speed on extrusion and extrudate characteristics. Journal of Food Engineering, 19 : (3)32 . 97p. 251-267.
- [53] Sebio, L. and Y. Chang, Effects of selected process parameters in extrusion of yam flour (*Dioscorea rotundata*) on physicochemical properties of the extrudates. Food/Nahrung, 2000. **44**(2): p. 96-101.
- [54] Asghari-pour, S., et al .Optimization of physicochemical and functional properties of corn-based snacks containing date kernel flour. Journal of Food Processing and Preservation, 2018. **42**(11): p. e13821.



## Scientific Research

### Evaluation of macrostructural, functional and color characteristics of high fiber extruded snack enriched with fresh cauliflower

Niki zarghani, Arash Koocheki., Elnaz Milani

1- M.Sc in Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

2-Professor, Department of Food Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.

3-Associated professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran.

## ARTICLE INFO

## ABSTRACT

**Article History:**

Received:2023/10/9

Accepted:22023/12/28

**Keywords:**

snack,

porosity,

water solubility index,

water absorption index,

color

**DOI: 10.22034/FSCT.21.157.1.**

\*Corresponding Author E-  
e.milani@jdm.ac.ir

In this research, extrusion technology was used to produce high-fiber snacks made from fresh cauliflower, corn starch, and corn flour. For this purpose, a central composite design and the response surface method (RSM) effects of various factors, including screw speed (120 to 180 rpm), cauliflower percentage (15%, 20%, 25%), and their impact on macrostructural, functional and color characteristics, such as expansion ratio, porosity, water solubility, water absorption index, and color changes of the snacks were investigated. The results demonstrated increasing the percentage of cauliflower increased the water absorption index ( $P<0.05$ ) and whiteness index ( $P<0.0001$ ) and also decreased the expansion ratio ( $P<0.0001$ ) and porosity ( $P<0.0001$ ) of the snack. It had no significant effect on the water solubility index. Increasing the screw speed led to an increase in the expansion ratio ( $P<0.0001$ ), porosity ( $P<0.0001$ ), solubility index in water ( $P<0.0001$ ), and decreased whiteness index ( $P<0.0001$ ) and water absorption index ( $P<0.05$ ). The optimal sample was obtained by considering the maximum amount of cauliflower, the maximum water absorption index and the expansion ratio equivalent to the amount of cauliflower of 25% and the screw speed of 180 revolutions per minute with a desirability of 0.81. And after performing the test on the predicted values of the software, the non-significance of the average difference between the actual sample analysis results and the predicted sample values was observed, and The observations of the study indicate the promising potential of extruded snacks for enrichment purposes.