

## تأثیر اینولین بومی و نشاسته مقاوم به عنوان جایگزین چربی بر ویژگی‌های رنگ، عملکردی و رئولوژیکی پوشش اسنک حجیم

الناز میلانی<sup>۱\*</sup>، ندا هاشمی<sup>۲</sup>، غلامعلی گلی موحد<sup>۳</sup>، مجید هاشمی<sup>۱</sup>

۱- استادیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ایران

۲- باشگاه پژوهشگران جوان، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران

۳- مربی پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۷/۰۴/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۴)

### چکیده

امروزه مصرف اسنک‌های حجیم در میان کودکان رو به افزایش است. بدلیل میزان بالای چربی و ارزش تغذیه‌ای پایین، انواع اسنک حجیم در بروز بیماری‌های مرتبط با رژیم غذایی نادرست نقش ویژه‌ای دارند. با این حال این گروه مواد غذایی دارای پتانسیل مناسب برای عرضه فرآورده فراسودمند می‌باشند. هدف از انجام پژوهش، جایگزینی روغن جامد موجود در فرمولاسیون پوشش اسنک با روغن ذرت مایع (۸۰-۱۰۰ درصد) و همچنین کاهش مصرف روغن با استفاده از بکارگیری جایگزین‌های چربی شامل اینولین بومی (۰-۲۰ درصد) و نشاسته مقاوم (۰-۲۰ درصد) به منظور تولید پوشش کم چربی انواع اسنک بود. در قالب طرح آماری مخلوط، اثر جایگزین‌های چربی بر ثبات امولسیون، ویژگی رئولوژیکی و رنگی محصول بررسی گردید. نتایج نشان داد: افزودن نشاسته مقاوم سبب افزایش ثبات امولسیون (۱/۴۲) پوشش گردید؛ رفتار جریان تمام نمونه‌ها با استفاده از مدل‌های قانون توان و بینگهام بررسی گردید. مدل قانون توان با داشتن ضریب همبستگی بالاتر ( $0.988$ ) توانایی بهتری در توصیف رفتار جریان نمونه‌های پوشش کم چرب داشت. همچنین از لحاظ ویژگی‌های رئولوژیکی تمامی تیمارهای پوشش اسنک سیال رقیق شونده با برش بوده، طوریکه بیشینه شاخص قوام پوشش ( $2.219 \text{ Pa.S}^n$ ) و کمینه شاخص رفتار ( $0.868$ ) به مقادیر بالای اینولین بومی (۲۰ درصد) و کمینه میزان چربی (۸۰ درصد) در نمونه‌ها مربوط بود. روشنی رنگ محصول نیز با افزایش جایگزین‌های چربی کاهش یافت؛ بطوریکه کمینه میزان روشنی ( $24/85$ ) به نمونه حاوی اینولین بومی - نشاسته مقاوم با نسبت مساوی ۱۰-۱۰ درصد تعلق داشت.

کلید واژگان: پوشش کم چرب، اسنک، اینولین بومی، نشاسته مقاوم، رفتار رئولوژیکی

\* مسئول مکاتبات: e.milani@jdm.ac.ir

## ۱- مقدمه

ثبات امولسیون است، حذف یا کاهش این ماده از فرمولاسیون پوشش، منوط به حفظ ویژگی‌های مذکور در محصولات غذایی کم چرب می‌باشد [۷]. اینولین، فیبر غذایی محلول و قابل تخمیری است که از طریق تنظیم حرکات روده به بهبود عملکرد سیستم گوارش کمک می‌نمایند، که مصرف آن سبب کاهش تری گلیسریدها و کاهش جذب چربی نیز می‌گردد. از جمله گیاهان دارویی بومی ایران جهت استخراج اینولین، کاسنی<sup>۳</sup> و سیب زمینی ترشی<sup>۴</sup> است. سیب زمینی ترشی در مقایسه با ریشه کاسنی، حاوی ترکیبات تلخ مزه نیست و مورد مناسبتری جهت استخراج اینولین می‌باشد [۸]. امروزه اینولین به طور موفقیت‌آمیزی به عنوان ترکیب پری بیوتیک جهت جایگزینی چربی و قند با هدف کاهش کالری و شیرینی به کار می‌رود [۳]. نشاسته مقاوم به هضم که در اصطلاح به آن نشاسته مقاوم اطلاق می‌گردد در سیستم گوارش با سرعت کم، هضم و جذب می‌شوند، لذا شاخص گلیسمی پایینی دارد. نشاسته مقاوم سوبسترای مناسبی جهت فلور طبیعی روده بوده، مصرف مداوم این ماده به طور قابل ملاحظه‌ای رشد بیفیدوباکترهای دستگاه گوارش را تسریع می‌دهد [۹]. نشاسته مقاوم علاوه بر دارا بودن ارزش تغذیه‌ای از نظر تکنولوژیکی نیز با داشتن ظرفیت نگهداری آب پایین، به عنوان یک افزودنی کارآمد در صنایع غذایی کاربرد وسیعی یافته است [۱۰]. جایگزین‌های چربی مانند اینولین و نشاسته مقاوم در فرمولاسیون پوشش میان وعده، با داشتن قابلیت اتصال به مولکول‌های آب و تشکیل شبکه ژلی، قوام مناسب ایجاد نموده و نقصان ناشی از کاهش چربی را به طور چشمگیری جبران می‌نمایند [۱۰ و ۳]. تاکنون پژوهش‌های مدون و جامعی در زمینه کاربرد نشاسته مقاوم و اینولین بومی به عنوان ترکیبات پری‌بیوتیک و جایگزین چربی در مواد غذایی مانند انواع سس‌ها [۱۱]، فراورده‌های غلات (کیک و کلوچه، ماکارونی و نان تست) [۱۲ و ۱۰ و ۹] و پوشش‌دهی چیپس سیب [۷] صورت گرفته است.

باتوجه به مطالعات اپیدمیولوژیک در زمینه آثار سوء ناشی از مصرف زیاد چربی اشباع بر سلامتی، امروزه تقاضاء مصرف مواد غذایی با چربی کاهش یافته رو به افزایش است. در زندگی مدرن امروز سهم قابل توجهی از سبد غذایی به اسنک‌ها اختصاص یافته است. از اینرو چالش پیش رو محققین و تولید کنندگان فراورده‌های غذایی، تولید اسنک‌هایی محتوی چربی و نمک کم و همچنین فیبر و پروتئین بالا، ضمن دارا بودن عطر و طعم مطلوب می‌باشد [۱ و ۲]. پخت اکستروژن امکان تولید فراوری طیف گسترده‌ای از فراورده‌های حجیم بر پایه انواع غلات و بقولات را فراهم نموده است [۲ و ۳]. پس از تولید فراورده حجیم، جهت ایجاد طعم، بافت و جذابیت ظاهری، پوششی (دراژه) که شامل پودر آب پنیر، انواع طعم دهنده‌ها (نمک، شکر، سرکه، پودر سبزیجات و ادویه)، رنگ خوراکی (ستیزی و یا طبیعی) و چربی اشباع شده می‌باشند روی محصول، پاشش می‌گردد [۴ و ۵]. از نظر متخصصین تغذیه پوشش طعم دهنده بکار رفته در اسنک‌های حجیم موجود در بازار، به دلیل داشتن چربی اشباع (محتوی اسیدهای چرب ترانس)، نمک بالا و شاخص گلیسمی بالا، نبود فیبر و ریز مغذی‌ها احتمال ابتلا به چاقی و دیابت نوع II در کودکان را به شدت افزایش می‌دهد [۱ و ۶]. لذا با کاهش میزان چربی اشباع بخش قابل توجهی از کالری مازاد این ماده غذایی کاهش می‌یابد. براین اساس در مصوبه کمیسیون کدکس مواد غذایی (CAC<sup>۱</sup>) اصطلاح اسنک‌های سبک<sup>۲</sup> به عنوان محصول سلامتی‌زا با جایگزینی ترکیبات پری بیوتیک با چربی و با هدف کاهش میزان چربی محصول، کاهش انرژی دریافتی، کاهش شاخص گلیسمی و افزایش دریافت فیبر تصویب گردید [۳]. از آنجا که چربی موجود در پوشش اسنک‌ها مسئول ایجاد بافت، طعم و احساس دهانی مناسب، پایداری و

3. Cichorium intybus  
4. Heliantus tuberosus

1. Codex Alimentarius Commission  
2. Light Snack

اینولین تولیدی با خلوص ۷۸ درصد و درجه پلیمریزاسیون بالاتر از ۲۵ بود.

## ۲-۳- شرایط فرایند اکستروژن به منظور تولید

### میان‌وعده حجیم

بلغور ذرت با رطوبت تنظیم شده ۱۴ درصد (بر پایه مربع پیرسون) توسط اکسترودر دو ماردونه با چرخش هم جهت مدل DS56 ساخت شرکت جینان ساکسین<sup>۵</sup> اکسترودر شد. بر اساس پیش تیمارهای انجام شده شرایط ثابت بهینه فرایند اکستروژن شامل دمای اکسترودر ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و دبی خوراک ورودی ۱۴/۵ کیلوگرم بر ساعت در نظر گرفته شد. محصولات اکسترودر شده جهت خشک شدن بلافاصله پس از تولید به آن هوای داغ با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت منتقل شد، پس از خنک شدن درون کیسه‌های پلاستیکی پلی اتیلنی ضخیم قرار گرفته و دربندی و تمامی نمونه‌های تولیدی تا انجام آزمایشات تکمیلی دور از نور، حرارت و رطوبت در دمای اتاق نگه‌داری گردیدند.

## ۲-۴- فرمولاسیون پوشش طعم دهنده کم چرب

نسبت ماده جامد: روغن در فرمولاسیون پوشش، از ۴۵:۵۵ تا ۴۵:۵۵ متغیر در نظر گرفته شد. اجزاء ثابت فرمول پوشش خوراکی شامل پودر پنیر، پودر آب پنیر، نمک و متغیرهای فرمولاسیون شامل اینولین بومی، نشاسته مقاوم و روغن خوراکی بود. پس از آماده سازی فرمول‌های مختلف بر اساس جدول ۱، کلیه اجزای فرمول درون مخازن دوجداره مجهز به همزن مخلوط گردیده (دمای داخل مخازن  $50 \pm 5$  درجه سانتیگراد تنظیم گردید) سپس مخلوط آماده شده با فشار توسط پمپ وارد دستگاه پوشش زن گردیده، چرخش دستگاه موجب می‌شود که پوشش لعابی یکسانی بر سطح میان‌وعده حجیم ذرت داخل استوانه چرخان شکل بگیرد.

ولیکن در زمینه پوشش‌های کم چرب اسنک‌های حجیم تحقیقات اندکی انجام شده است، در این زمینه مونتریو و همکاران (۲۰۱۶) و مارکیوس و همکاران (۲۰۱۷) اثر جایگزینی نشاسته کاساوا و نشاسته ذرت را بر ویژگی‌های اسنک حجیم بررسی نمودند [۶و۴]. در مطالعات دیگر کاپریلس و همکاران (۲۰۰۹) و (۲۰۰۷) از ترکیبات پری بیوتیکی مختلف مانند کنساتره پروتئین شیر، صمغ گوار، صمغ گزانتان و نشاسته [۲] و همچنین اینولین- الیگوساکارید و نشاسته [۳] به عنوان جایگزین‌های چربی در فرمولاسیون اسنک‌ها استفاده کردند، که از این بین نشاسته و اینولین را به عنوان حامل‌های برتر انتقال دهنده طعم گزارش نمودند. لذا این پژوهش با هدف جایگزین نمودن روغن مایع ذرت با روغن هیدروژنه موجود در فرمولاسیون‌های مرسوم محصولات تجاری و به کارگیری اینولین بومی استخراجی از سیب زمینی ترش و همچنین نشاسته مقاوم به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون پوشش پری بیوتیک اسنک کم چرب انجام گرفت. شایان ذکر است؛ اثر این جایگزینی بر ویژگی‌های امولسیون، رئولوژیکی و رنگ پوشش محصول حجیم شده بررسی گردید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد اولیه

مواد اولیه شامل سیب زمینی ترشی از بازار محلی مشهد، روغن مایع ذرت از شرکت فامیلا، بلغور ذرت از کارخانه زرین طلایی، پودر آب پنیر و پودر پنیر از شرکت گلشاد و نشاسته مقاوم ذرت (ST-9000 کد ۹۵) از شرکت فرایند بیوتکنولوژی تامین گردید.

### ۲-۲- استخراج اینولین از سیب زمینی ترشی

استخراج و تخلیص پودر اینولین بومی از سیب زمینی ترشی بر اساس روش میلانی و همکاران (۱۳۸۹) صورت گرفت [۸].

5. Jinan Saxin

**Table 1** Coded Levels and Actual Values of the Formulation Variables

Formulation Variable	Symbol	Code level		
		-1	0	+1
Native Inulin (%)	A	0	10	20
Resistant Starch (%)	B	0	10	20
Oil (%)	C	80	90	100

رئولوژیکی برای هر یک از نمونه‌ها گزارش گردید [۱۵].

$$(1) \quad \tau = k\dot{\gamma}^n$$

$$(2) \quad \tau = \mu_p \dot{\gamma} + \tau_0$$

در مدل‌های فوق  $k$  ضریب قوام ( $Pa.S^n$ )،  $n$  شاخص رفتار جریان،  $\mu_p$  تنش تسلیم می باشند.

### ۲-۵-۴- تعیین خصوصیات رنگی اسنک محتوی پوشش کم چرب

رنگ نمونه‌های اسنک محتوی پوشش کم چرب توسط دستگاه هانتربل اندازه گیری گردید. در این آزمون مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$  تعیین گردید. مقادیر  $L^*$  شاخص روشنی، مقادیر مثبت  $a^*$  شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول و همچنین مقادیر مثبت  $b^*$  شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن محصول است.

### ۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی اجزاء فرمولاسیون پوشش فراورده حجیم شده با سه جزء اینولین بومی، نشاسته مقاوم و روغن بر پایداری امولسیون، ویژگی‌های رئولوژیکی و مولفه‌های رنگی پوشش میان وعده از طرح مخلوط<sup>۶</sup> استفاده گردید. جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات و رسم نمودارهای کانتور از نرم افزار دیزاین اکسپرت<sup>۷</sup> 7.1.6، استفاده شد. به منظور ارزیابی صحت مدل‌های برازش داده شده مقادیر  $R_2$ ،  $R_2$  تصحیح شده مدل و  $P$  ضرایب تعیین و بررسی شدند.

### ۲-۵-۵- اندازه گیری ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و رنگی

#### ۲-۵-۱- آنالیز ترکیب شیمیایی

میزان رطوبت، چربی و خاکستر بر اساس استاندارد AACC، اندازه گیری گردید. میزان پروتئین با استفاده از دستگاه کلداتومات Gerhardt مدل VAP20 ساخت آلمان اندازه گیری شد. میزان کربوهیدرات موجود از اختلاف مجموع درصد چربی، پروتئین، خاکستر و رطوبت از ۱۰۰ محاسبه شد [۱۳].

#### ۲-۵-۲- پایداری امولسیون پوشش کم چرب

به منظور بررسی پایداری امولسیون در برابر حرارت حین پوشش زنی، نمونه‌های پوشش در حمام بن ماری با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۴۰ دقیقه قرار داده شدند و سپس در ۱۲۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده، در انتها پایداری امولسیون‌ها بر اساس معادله زیر محاسبه گردید [۱۱].

= پایداری امولسیون کنندگی

۱۰۰\*(ارتفاع امولسیون قبل از حرارت / ارتفاع لایه امولسیفیه پس از حرارت)

#### ۲-۵-۳- ارزیابی ویژگی رئولوژیکی پوشش کم چرب

ویژگی‌های رئولوژیکی پوشش کم چرب فرموله شده با استفاده از ویسکومتر چرخشی DV III Ultra BROOKFIELD مورد بررسی قرار گرفت. منحنی‌های رئولوژیکی پس از یک زمان نگهداری ۳ دقیقه‌ای در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد بدست آمد. تنش برشی به عنوان تابعی از میزان برش در دامنه ۰ تا  $1382S^{-1}$  و ویسکوزیته ظاهری در ۶۴ و ۱۲۸ دور بر دقیقه تعیین شد [۱۴]. به منظور توصیف رفتار جریان نمونه‌های پوشش و بدست آوردن پارامترهای رئولوژیکی، برازش داده‌های به دست آمده از آزمون‌های عملی با دو مدل مستقل، قانون توان (۱) و بینگهام (۲) انجام گرفت. مناسب‌ترین مدل ریاضی انتخاب و سرانجام، شاخص‌های

6. Mixture Design  
7. Design Expert

**Table 2** Coefficient of Variables in the Suggested Model for Formulation Variables

Parameter	Emulsion Stability	Rheological Properties			Color Index	
		K(Pa.S <sup>n</sup> )	n	L*	a*	b*
Native Inulin× Resistant Starch	0.0046**	0.039**	0.2442	0.109	0.0023**	0.0016**
Native Inulin× Oil	0.0151*	0.0008***	0.0421**	0.0908	0.0002***	0.0003***
Resistant Starch ×Oil model	0.8727	0.1214	0.0097**	0.5036	0.047*	0.3176
F Value	0.0051**	0.0001***	0.0001***	0.0005***	0.0001***	0.0001***
R <sup>2</sup>	0.83	0.97	0.95	0.91	0.93	0.89
Adjust R <sup>2</sup>	0.73	0.95	0.93	0.85	0.88	0.84
Lack of fit	0.5865	0.3156	0.5296	0.1416	0.2360	0.5075

\*Significant at  $P < 0.05$ ; \*\* significant at  $P < 0.01$ ; \*\*\* significant at  $P < 0.001$ 

گزارش گردید، که مطابق شکل ۱، کمترین ثبات امولسیون در نمونه حاوی بیشترین درصد روغن (۱۰۰درصد) و فاقد جایگزین‌های چربی و بیشترین ثبات امولسیون در نمونه حاوی ۲۰درصد نشاسته مقاوم-۸۰ درصد روغن گزارش گردید. به تدریج با کاهش غلظت نشاسته و افزایش درصد اینولین بومی، میزان ثبات امولسیون نیز کاهش یافت و اختلاف کاهش نیز از نظر آماری معنی دار بود. نشاسته مانع پیوستگی قطرات چربی شده و از دو فاز شدن پوشش جلوگیری نماید، این پدیده سبب انسجام بیشتر بافت و افزایش پایداری پوشش کم چرب می‌گردد[۱۶]. از نظر تکنولوژیکی در هنگام استفاده در دستگاه پوشش زن، ثبات امولسیون پوشش بسیار حایز اهمیت است زیرا مانع بسته شده نازل‌ها می‌گردد. به نظر می‌رسد دلیل خاصیت پایدارکنندگی ترکیبات پلی ساکاریدی مانند نشاسته مقاوم، وجود زنجیره‌های جانبی هیدروفیلی (آبدوست) در کنار بخش‌های هیدروفوبی (آبگریز) در ساختمان نشاسته و بروز رفتار آمفیفیلیک همانند امولسیفایر می‌باشد [۱۷]. مطابق گزارش تاییدوم و همکاران (۲۰۱۱)، استفاده از نشاسته به عنوان جایگزین چربی در سس مایونز در سطوح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد موجب ثبات امولسیون شد [۱۱]. نتایج حسینی و همکاران (۱۳۹۵) نشان دهنده افزایش پایداری امولسیون با افزایش غلظت نشاسته اصلاح شده در خامه کم چرب بود [۱۸].

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- ترکیب شیمیایی بلغور ذرت

ویژگیهای شیمیایی (چربی، پروتئین، کربوهیدرات، خاکستر و رطوبت) بلغورذرت مورد استفاده در تولید نمونه اسنک در جدول ۳ ارائه شده است.

**Table 3** Proximate compositions of corn grit (g/100g)

Corn Grit	Component (%)
2.8±0.15	Fat
6.89±0.51	Protein
75.5±0.78	Carbohydrate
0.65±0.05	Ash
11.3±0.12	Moisture

#### ۳-۲- اثر متغیرهای فرمولاسیون بر ثبات

##### امولسیون پوشش کم چرب

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۲ مدل آماری دو جمله‌ای برای ثبات امولسیون پوشش اسنک پیشنهاد گردید و همچنین بررسی میزان اثر اجزاء ترکیبات فرمولاسیون نشان داد که اثر متقابل اینولین بومی-نشاسته مقاوم و اینولین بومی-روغن بر ثبات امولسیون معنی دار بود ( $P < 0/05$ ).

مقادیر بدست آمده برای ثبات امولسیون پوشش بین ۱ تا ۱/۴۲

(۲۰۰۴) نتایج مشابهی برای سس سفید پایدار شده با گزانتان و صمغ عربی گزارش کردند [۱۹]. به دلیل اینکه نمونه‌های پوشش کم چرب از نظر رئولوژیکی جزء سیالات غیرنیوتنی طبقه‌بندی می‌شوند. لذا از مدل‌های قانون توان و بینگهام برای توصیف رفتار جریان رئولوژیکی مستقل از زمان نمونه‌ها استفاده گردید. بر اساس نتایج حاصل، مشخص شد که مدل قانون توان به دلیل دارا بودن ضریب همبستگی بالاتر  $R^2=0/988$  در مقایسه با مدل بینگهام، قادر به برازش بهتر و تعیین رفتار جریان نمونه‌های پوشش کم چرب بود. شاخص رفتار جریان ( $n$ ) بیانگر رفتار جریان امولسیون است به طوری که در سیالات نیوتنی  $n=1$ .

سیالات غلیظ شونده با برش (دایلاتانت)  $n>1$  و سیالات رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک)  $n>1$  می‌باشد [۱۵]. تمامی نمونه‌های تهیه شده در این پژوهش شاخص رفتار جریان کم تر از ۱ داشتند از این رو، همه آن‌ها سیالات رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) بودند. بسیاری از ملکول‌های درشت در غلظت‌های بالا از رفتار نیوتنی تبعیت نمی‌کنند و علت این پدیده از بین رفتن اتصالات ضعیف بین زنجیره‌های ملکولی و جدا شدن زنجیره‌ها از یکدیگر و تمایل این ملکول‌ها به شکل گیری منظم در جهت جریان است [۲۱].

بر اساس اطلاعات مندرج در جدول ۲ مدل آماری دو جمله‌ای برای شاخص قوام و شاخص رفتار جریان پوشش کم چرب اسنک پیشنهاد گردید. میزان شاخص رفتار جریان  $0/868$  تا  $0/944$  و مقادیر شاخص قوام پوشش کم چرب  $0/3842 \text{ Pa.S}^n$  تا  $2/219$  محاسبه گردید. بررسی میزان اثر اجزاء ترکیبات فرمولاسیون نشان داد که اثر متقابل اینولین- نشاسته مقاوم و اینولین- روغن بر شاخص قوام و همچنین اثر متقابل نشاسته مقاوم- روغن و اینولین- روغن بر شاخص رفتار جریان قوام معنی دار بود ( $P<0/05$ ).

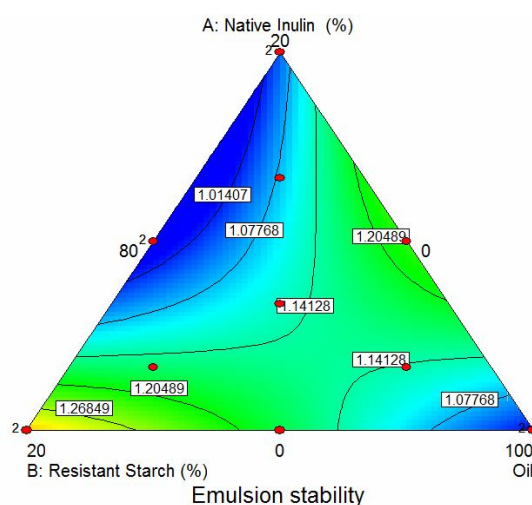


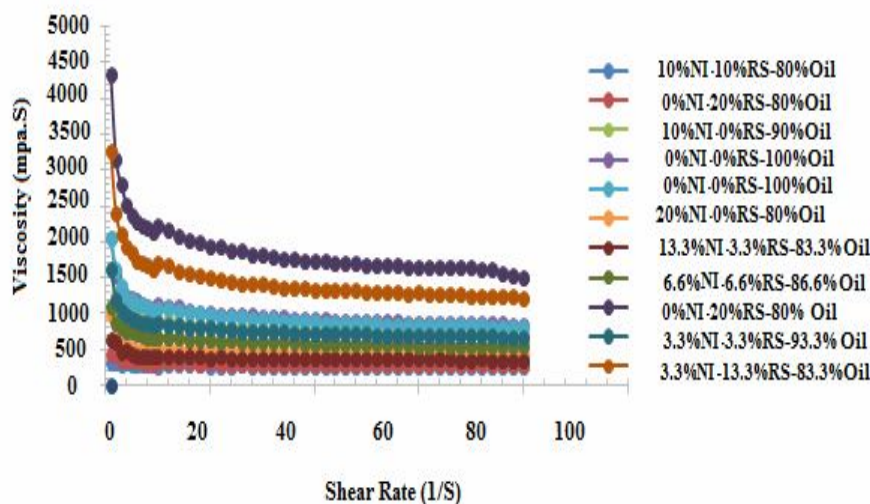
Fig 1 Contour plot for Emulsion Stability as a function of formulation variables.

### ۳-۳- اثر متغیرهای فرمولاسیون بر رفتار جریان

#### پوشش کم چرب

رابطه بین ویسکوزیته ظاهری و درجه برش نمونه‌های پوشش کم چرب اسنک در شکل ۲ نشان داده شده است. بر این اساس، در تمام نمونه‌ها با افزایش درجه برش، کاهش ویسکوزیته ظاهری مشاهده شد که بیانگر رفتار غیرنیوتنی و رقیق شونده با برش<sup>۸</sup> است [۱۹]. در این تحقیق بیشترین ویسکوزیته ظاهری در نمونه محتوی ۲۰ درصد نشاسته مقاوم- ۸۰ درصد روغن و کمترین ویسکوزیته ظاهری مربوط به نمونه محتوی ۱۰ درصد نشاسته مقاوم- ۱۰ درصد اینولین بومی- ۸۰ درصد روغن بود. هیدروکلئیدها با ایجاد لایه‌های بین سطحی قوی در اطراف ذرات فاز پراکنده (روغن) موجب افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته می‌شوند [۱۲ و ۲۰]. این رفتار رئولوژیکی پوشش کم چرب را می‌توان به ساختار پلیمری و فضایی نشاسته مقاوم و اینولین بومی و برهمکنش بین این ماکروملکول‌ها نسبت داد. ماندالا و همکاران

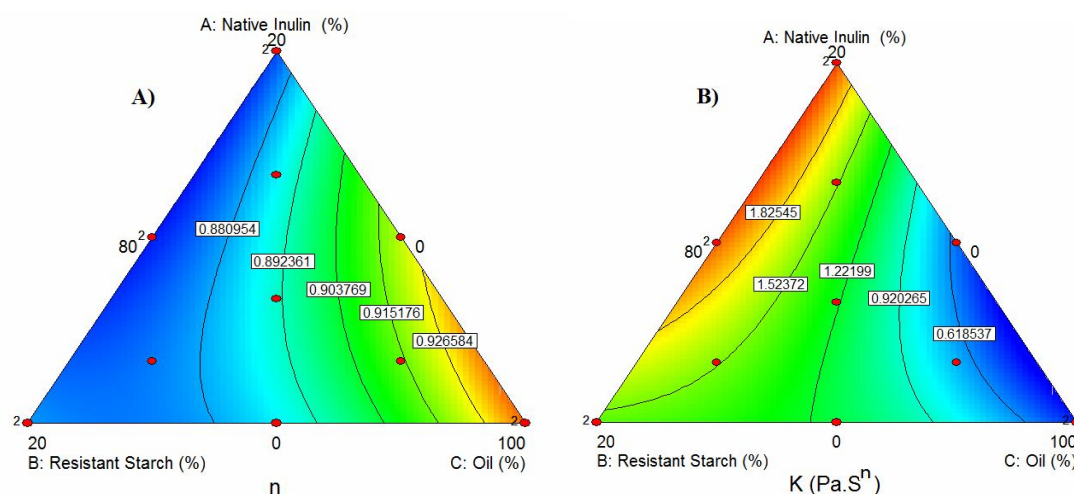
8 Shear thinning (pseudoplastic)



**Fig 2** Relationship between viscosity and shear rate in low fat snack coating (NI: Native Inulin, RS: Resistant Starch)

روان‌تری پیدا کرده، پراکندگی ذرات در فاز مایع بهبود یافته و به راحتی تمام سطوح محصول را با پوشش یکنواختی می‌پوشاند. با توجه به شکل ۳-B کمترین شاخص قوام در نمونه شاهد فاقد جایگزین چربی مشاهده شد. با این حال با افزایش جایگزین‌های چربی (نشاسته مقاوم و اینولین) بصورت جداگانه در فرمولاسیون پوشش کم چرب، شاخص قوام افزایش یافت بطوریکه در مقایسه با نمونه شاهد افزایش شاخص قوام معنی‌دار بود. به تدریج با افزایش غلظت اینولین شاخص قوام افزایش بیشتری یافت. بطوریکه بیشینه میزان شاخص قوام پوشش کم چرب ( $\text{Pa.S}^n$ ) ۲/۲۱۹ در نمونه محتوی ۲۰ درصد اینولین- ۸۰ درصد روغن و کمینه میزان شاخص قوام ( $0.3842 \text{ Pa.S}^n$ ) در نمونه حاوی چربی بالا (۱۰۰ درصد) که فاقد جایگزین‌های چربی بود مشاهده شد. در مطالعه حاضر با افزایش غلظت جایگزین‌های چربی در تمام نمونه‌ها شاخص قوام افزایش یافت. این نتایج مشابه نتایج بدست آمده توسط کوچکی و همکاران (۲۰۰۹) می‌باشد [۲۳]. علت این پدیده افزایش قابلیت جذب سطحی توسط هیدروکلوئیدها و برهمکنش‌های بین اینولین با سایر ترکیبات پلی ساکارییدی است که موجب افزایش شاخص قوام می‌گردد [۲۴].

همانطور که در شکل ۳-A مشاهده می‌شود، بیشینه شاخص رفتار جریان در نمونه‌های حاوی بالاترین غلظت روغن (۱۰۰ درصد) و کمینه شاخص رفتار جریان در نمونه حاوی ۲۰ درصد اینولین-۸۰ درصد روغن و همچنین در نمونه ۱۰ درصد اینولین بومی- ۱۰ درصد نشاسته مقاوم-۸۰ درصد روغن مشاهده شد. می‌توان دریافت که شاخص رفتار جریان تمام نمونه‌ها با افزایش غلظت اینولین و نشاسته مقاوم از ۰ تا ۲۰ درصد کاهش پیدا کرده، شایان ذکر است؛ کمترین شاخص رفتار جریان مدل قانون توان برای نمونه حاوی غلظت ۱۰-۱۰ درصد، بدست آمد. نتایج پژوهش دیگری نیز نشان دهنده رفتار رقیق شونده با برش در سس مایونز کم چرب فرموله شده با صمغ طبیعی (شمسایی و همکاران ۱۳۹۶) بود [۲۲]. کاراکا و همکاران (۲۰۰۹) نیز در نمونه بستنی کم چرب محتوی اینولین رفتار سیال رقیق شونده با برش را گزارش نمودند و علت بروز این رفتار را احاطه ذرات چربی توسط لایه‌ای از پروتئین-امولسیفایر بیان داشتند [۱۵]. ویژگی رقیق شوندگی با برش این نوع پوشش کم چرب از نظر تکنولوژیکی قابلیت مطلوبی محسوب می‌گردد. زیرا در صنعت هنگام همزدن و مخلوط کردن در دیگ‌های پوشش زن حالت



**Fig 3** Contour plots for A) “n” flow behavior index and B) “K” consistency coefficient as a function of formulation variables.

از فاکتورهای موثر بر تغییرات رنگ فراورده می‌باشند [۱۲]. مطابق شکل A-۴ به تدریج با افزایش جداگانه جایگزین‌های چربی، شاخص روشنی محصول کاهش یافته و در نتیجه میزان تیرگی رنگ پوشش‌ها افزایش می‌یابد. میزان روشنی رنگ از ۰ (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است [۲۶]. با توجه به نتایج بدست آمده کمینه میزان روشنی (۲۴/۸۵) رنگ پوشش کم چرب در نمونه حاوی اینولین بومی - نشاسته مقاوم با نسبت مساوی ۱۰-۱۰ درصد و ۸۰ درصد روغن مشاهده شد. تغییرات شاخص روشنی متأثر از چند عامل می‌باشد: تشدید واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد که با افزایش جایگزین‌های چربی (اینولین بومی و نشاسته مقاوم) شدت می‌یابد، این تغییرات به دلیل واکنش میان پروتئین آب پنیر و پلی ساکاریدهای موجود در اینولین بومی نمایان می‌گردد [۲۶]. همچنین به علت حضور پیگمان‌های موجود در اینولین و نشاسته مقاوم تیرگی بیشتری در محصول مشاهده می‌گردد [۸، ۲۷]. در پژوهش امینی و همکاران (۱۳۹۶)، اثر سرخ کردن بر رنگ سوسیس پری بیوتیک تولید شده با بتاکلوکان و نشاسته مقاوم بررسی گردید. بر این اساس؛ نشاسته مقاوم باعث کاهش فاکتور روشنی گردید [۲۸].

در شکل B-۴ تغییرات شاخص قرمزی محصول ( $a^*$ ) مشاهده می‌گردد. این شاخص از ۱۲۰- تا ۱۲۰+ متغیر است، که مقادیر منفی بیانگر رنگ سبز و مقادیر مثبت بیانگر رنگ قرمز می‌باشد [۲۶]. مقادیر بدست آمده برای این شاخص (۰/۳۷- تا ۳/۴۲-)

### ۳-۴- اثر متغیرهای فرمولاسیون پوشش کم چرب

#### بر مولفه‌های سنجش رنگ اسنک حجیم

رنگ، در واقع ادراک مغز بعد از برخورد نور با یک جسم می‌باشد. رنگ یک محصول تحت تاثیر سه عامل قرار دارد: ترکیب شیمیایی و فیزیکی آن جسم، ترکیب طیف منبع نوری که باعث دیده شدن آن جسم می‌شود و حساسیت چشم شخص بیننده به نور. رنگ محصولات غذایی یک ویژگی مهم برای آنها به شمار رفته و حتی می‌تواند بر درک مصرف کننده از اجزای تشکیل دهنده غذا با توجه به میزان اثرگذاری هر جزء بر رنگ محصول موثر باشد [۲۵].

در جدول ۲ نتایج آنالیز واریانس اثر متغیرهای فرمولاسیون پوشش کم چرب بر شاخص‌های رنگ اسنک حجیم قابل مشاهده است. بر اساس اطلاعات مندرج در جدول فوق مدل آماری دو جمله‌ای برای روشنی رنگ ( $L^*$ )، شاخص قرمزی ( $a^*$ ) و زردی ( $b^*$ ) پوشش کم چرب اسنک پیشنهاد گردید. بررسی اثر اجزاء ترکیبات فرمولاسیون نشان داد که اثر متقابل میزان اینولین - نشاسته مقاوم بر روشنی رنگ، اثر متقابل میزان اینولین - نشاسته مقاوم و اینولین - روغن بر شاخص قرمزی و اثر متقابل میزان اینولین - نشاسته و اینولین - روغن بر شاخص زردی معنی‌دار بود ( $P < 0/05$ ).

میزان جذب روغن، دانسیته محصول، دما و زمان تماس با روغن،



بین ۷۶/۶۷ تا ۸۸/۲۷ بود. با توجه به شکل ۴-C به تدریج با افزایش غلظت نشاسته مقاوم در فرمول، شدت زردی نمونه‌ها افزایش یافت. به نحوی که بیشترین میزان زردی (۸۸/۲۷) در نمونه حاوی غلظت ۲۰ درصد نشاسته مقاوم-۸۰ درصد روغن و کمترین میزان زردی (۷۶/۶۷) در نمونه حاوی غلظت ۲۰ درصد اینولین-۸۰ درصد روغن مشاهده شد. بطور کلی کاهش شاخص روشنی، افزایش شاخص قرمزی به دلیل انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن و افزایش شاخص زردی به علت تخریب برخی پیگمان‌ها و انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی می‌باشد [۲۹]. حرارت مورد استفاده در فرایند پوشش زنی نیز باعث تسریع واکنش میلارد و افزایش قهوه‌ای شدن می‌شود [۲۶].

نشاندنده غالب بودن رنگ سبز در تمامی نمونه‌ها است. با افزایش میزان اینولین بومی در فرمولاسیون پوشش کم چرب، رنگ فرآورده به سمت قرمز متمایل گردید. به نحوی که بیشترین میزان این شاخص (۰/۳۷-) به نمونه محتوی غلظت ۲۰ درصد اینولین بومی-۸۰ درصد روغن و کمترین میزان (۳/۴۲-) به نمونه محتوی غلظت ۲۰ درصد نشاسته مقاوم-۸۰ درصد روغن گزارش گردید. تاثیر نشاسته بر رنگ نمونه‌ها را می‌توان به رنگ سفید آن مربوط دانست. به طور کلی رنگ امولسیون‌ها تحت تاثیر رنگ فاز سبز-آبی آنها قرار دارد [۲۵]. مطابق شکل ۴-C تغییرات شاخص زردی محصول (b\*) مشاهده می‌گردد. این شاخص از ۱۲۰- (آبی) تا ۱۲۰+ (زرد) متغیر می‌باشد [۲۶]. نتایج بدست آمده برای شاخص زردی محصول

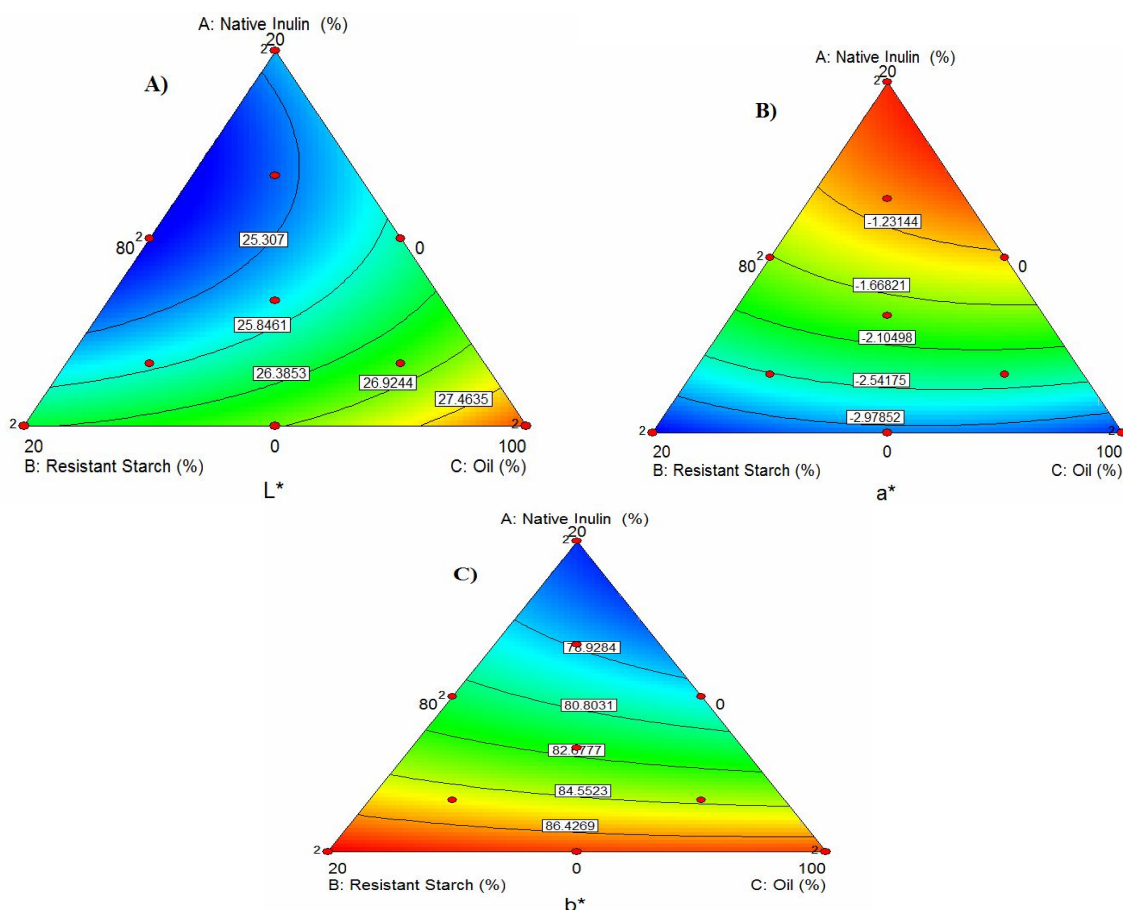


Fig 3 Contour plots for A) "L\*" index B) "a\*" index C) "b\*" index as a function formulation variables.

23-34.

- [2] Capriles, V.D., Soares, R.A.M. and Arêas, J.A.G. 2007. Development and assessment of acceptability and nutritional properties of a light snack. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 27: 562-566.
- [3] Capriles, V.D., Soares, R.A.M. Pinto e Silva, M.E.M and Arêas, J.A.G. 2009. Effect of fructans-based fat replacer on chemical composition, starch digestibility and sensory acceptability of corn snacks *International Journal of Food Science and Technology*, 44: 1895-1901.
- [4] Marques, D.R., Berwig, K., Monteiro, C.C.F., Oliveira, D.M., Monteiro, A.R.G. 2017. Shelf life evaluation of extruded snacks coated with maize starch to eliminate the use of fats in the flavoring process, *Chemical Engineering Transactions*, 57: 1921-1926.
- [5] ISIRI, Puffed products based on cereal grits and flour: specifications and test methods. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Standard No. 2880 (3rd rev.), Tehran (2008). (In Persian).
- [6] Monteiro, A., Marques, D., Marchi, L., Chinellato, M., Berwig, K., Wolf, B. 2016. Eliminating the use of fat in the production of extruded snacks by applying starch coating, *Chemical Engineering Transactions*, 49: 625-630.
- [7] Noorbakhsh, R., Yaghmaee, P., and Durance, T. 2013. Radiant energy under vacuum (REV) technology: A novel approach for producing probiotic enriched apple snacks. *Journal of Functional Foods*, 5: 1049-1056.
- [8] Milani, E., Pourazarang, H., Vatan khah, Sh., Vakilian, H. 2010. Optimization of Inulin Extraction from Helianthus Using Response Surface Methodology (RSM). *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 6(3): 176-183. (In Persian).
- [9] Mohebbi, Z., Homayouni, A., Azizi, MH., Asghari Jafarabadi, M. 2014. Influence of  $\beta$ -glucan and resistant starch on quality and sensory properties of sliced white bread. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 8(4).31-40. (In Persian).
- [10] Homayouni rad, A., Amini, A., Khodavirdvand Keshtiban, A., Mohammadi, M., Bahadori Monfared, E. 2015. Investigation

## ۴- نتیجه گیری

شناسایی و اصلاح الگوهای نادرست غذایی با هدف ایجاد نگرش صحیح در صنعت غذا می‌تواند روشی کارآمد در جهت کاهش مشکلات سلامتی مرتبط با تغذیه در جامعه باشد. از این بین مصرف بالای اسنک‌های تجاری پوشش داده شده با روغن اشباع بالا و رنگ‌های سنتزی و آثار سوء ناشی از نقصان مواد مغذی کافی در آنها همیشه چالش عظیمی محسوب می‌گردد.

در این مطالعه اثر غلظت‌های مختلف جایگزین‌های چربی (نشاسته مقاوم و اینولین بومی) بر ثبات امولسیون، ویژگی‌های رئولوژیکی و ویژگی‌های رنگی اسنک با پوشش کم چرب بررسی شد. میزان ثبات امولسیون پوشش با افزایش میزان جایگزینی چربی با نشاسته مقاوم افزایش یافت. از نظر ویژگی‌های رئولوژیکی تمامی نمونه‌های پوشش کم چرب رفتار سیالات رقیق شونده با برش (سودوپلاستیک) داشتند و مدل قانون توان به خوبی رفتار رئولوژیکی پوشش کم چرب را توصیف نمود. با افزایش اینولین بومی در فرمولاسیون پوشش کم چرب اسنک شاخص قوام پوشش افزایش و شاخص رفتار جریان کاهش یافت. میزان شاخص روشنی رنگ پوشش‌ها با افزایش جداگانه جانشین‌های چربی، کاهش یافت.

در نهایت می‌توان این گونه نتیجه‌گیری نمود که غلظت‌های مناسب از اینولین و نشاسته مقاوم ضمن ارتقاء ارزش تغذیه‌ای محصول، قابلیت جایگزینی با بخشی از چربی پوشش اسنک را بدون ایجاد تغییرات نامطلوب در ویژگی‌های رئولوژیکی و امولسیونی پوشش و همچنین ویژگی‌های رنگی اسنک پوشش داده شده دارد. همچنین این پوشش کم چرب با داشتن ثبات امولسیونی مناسب و رفتار رقیق شونده با برش قابلیت منحصربفردی از نظر تکنولوژیکی در عدم گرفتگی نازل‌ها و کارایی در پوشش دهی یکنواخت تمام سطوح محصول در مخازن پوشش زن را دارد.

## ۵- منابع

- [1] Patil, S.S., and Kaur, C. 2018. Review Current trends in Extrusion: Development of Functional Foods and Novel Ingredients *Food Science and Technology Research*, 24 (1):

- Development of reduced-fat mayonnaise using 4 $\alpha$ GTase-modified rice starch and xanthan gum. *Int. J. Biol. Macromol*, 44: 400-407.
- [21] Yu, J.M., Ahmedna, M., and Goktepe, I. 2007. Peanut protein concentrate: Production and functional properties as affected by processing. *Food Chemistry*, 103:121-129.
- [22] Shamsaei, S., Razavi, S. M. A., Emadzadeh, B., and Ataye Salehi, E. 2017. The effect of basil seed gum and xanthan on the physical and rheological characteristics of low fat mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(1): 65-78. (In Persian).
- [23] Koocheki, A., Kadkhodae, R., Mortazavi, S.A., Shahidi, F., and Taherian, A.R. 2009. Influence of alyssum homolocarpum seed gum on the stability and flow properties of o/w emulsion prepared by high intensity ultrasound. *Food Hydrocolloids*, 23 (8): 2416-2424.
- [24] Aminigo, ER., Metzger, L., and Lehtola, PS. 2009. Biochemical composition and storage stability of a yogurt-like product from African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*). *International journal of food science and technology*, 44(3): 560-566.
- [25] Lawless, H.T., and Heymann, H. 2010. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer, 283-303.
- [26] Durge, A. V., Sarkar, S., and Rekha S. Singhal, R.S. 2013. Stability of anthocyanins as pre-extrusion colouring of rice extrudates. *Food Research International*, 50 : 641-646
- [27] Yağci, S., Goğuş, F. 2011. Quality Control Parameters of Extrudates and Methods for Determination. In *Advances in Food Extrusion*. 297-326, CRC Press, New York.
- [28] Amini Sarteshnizi, R., Hosseini, H., Amiri, Z., komeili, R., and Azimi, M. 2017. Study the effect of frying process on texture and color of prebiotic sausage produced by using of B-glucan and resistant starch *JFST*, 66(14): 165-174. (In Persian).
- [29] Jozinovic, A., Šubaric, D., Ackar, J., and Babić, D. 2012. Effect of screw configuration, moisture content and particle size of corn grits on properties of extrudates. *Croat. J. Food Sci. Technol*, 4 (2): 95-101.
- of Adding Resistant Starch Type Two on the Physical, Rheological, Organoleptic and Cooking Characteristics of Fortified Probiotic Macaroni. *Iranian Journal of Nutrition Sciences & Food Technology*, 10 (1):81-88. (In Persian).
- [11] Thaiudom, S., and Khantarat, K. 2011. Stability and rheological properties of fat-reduced mayonnaises by using sodium octenyl succinate starch as fat replacer. *Procedia Food Science*. 1: 315-321.
- [12] Serin, S., Sayar, S . 2017. The effect of the replacement of fat with carbohydrate-based fat replacers on the dough properties and quality of the baked pogaca: a traditional high-fat bakery product. *Food Sci. Technol, Campinas*, 37(1): 25-32.
- [13] AACC. (2000). *Approved Methods of the AACC (10th ed)*. American Association of cereal Chemists, st Paul.
- [14] Garcia, E., and Totosaus, A. 2008. Low-fat sodium-reduced sausages: Effect of the interaction between locust bean gum, potato starch and Kcarrageenan by a mixture design approach. *Meat science*, 78(4): 406-413.
- [15] Karaca, O B., Güven, M., Yasar, K., Kaya, S., & Kahyaoglu, T. 2009. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. *International Journal of Dairy Technology*, 62: 93-99.
- [16] Magnusson, E, Nilsson, L. 2011. Interactions between hydrophobically modified starch and egg yolk proteins in solution and emulsions. *Food Hydrocolloids*, 25: 764-772.
- [17] Tesch, S., Gerhards, Ch., and Schubert, H. 2002. Stabilization of emulsions by OSA starches. *Journal of Food Engineering*, 54: 167-174.
- [18] Hosieni, F., and Raftani Amiri, Z. 2016. Investigation the effect of raw and modified waxy corn starch on the physico-chemical and sensory characteristics of low fat cream. *Innovation In Food Science And Technology*, 8 (1): 116-124. (In Persian).
- [19] Mandala, I.G., Savvas, T.P., and Kostaropoulos. A.E. 2004. Xanthan and locust bean gum influence on the rheology and structure of a white model-sauce. *Journal of Food Engineering*, 64,335-342.
- [20] Mun, S., Y. L. Kim, C. G., Kang, K. H., Park, J. Y. Shim., and Y. R. Kim. 2009.

## Effect of Native Inulin and Resistant Starch as Fat Replacer on Color, Functional and Rheological Properties of Coating for Extruded Snacks

Milani, E. <sup>1\*</sup>, Hashemi, N. <sup>2</sup>, Golimovahhed, Gh. A. <sup>3</sup>, Hashemi, M. <sup>1</sup>

1. Assistant professor. Food Science and technology research institutet, ACECR, Khorasan Razavi, Iran.

2. Young researchers and elite club, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.

3. Food Processing Research Department, ACECR, Khorasan Razavi, Iran.

(Received: 2018/06/30 Accepted:2019/11/05)

The consumption of extruded snacks has been increased among children. However due to their high content of fat and low nutritional value extruded snacks are contributing to a range of diet related health problems. Therefor they had an appropriate potential for production of functional foods. The objective of the research was to substitute fat used in the production of snacks coating partially by different levels of fat replacer containing native inulin (0-20%) and resistant starch (0-20%) in order to supply low fat flavoring of snacks. Based on mixture design the effect of fat replacers on rheological properties, color and emulsion stability of final products were investigated. Results showed that, addition of resistant starch increased emulsion stability of coating (1.42). The flow behavior index of samples were investigated by Power-law and Bingham model. Power-law was successfully fitted to the description of flow behavior of coating. Meanwhile, based on rheological properties, all of the samples showed shear thinning behavior and the samples containing higher amount of inulin(20%) and lower amount of fat (80%) had the highest consistency coefficient ( $2.219 \text{ Pa.S}^n$ ) and the lowest and flow behavior index (0.868). The lightness of product was decreased by increasing fat replacers levels. The lowest amount of lightness belonged to sample containing inulin- resistant starch in 10-10% levels.

**Keywords:** Low fat coating, Snack, Native inulin, Resistant starch, Rheological behavior

---

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