

## بررسی اثر متغیرهای فرمولاسیون و شرایط اکستروژن آرد کامپوزیت گندم سن زده - کینوا در فرمولاسیون میان وعده غذایی

آسیه قیافه شیرزادی<sup>1</sup>، محمدجواد وریدی<sup>2\*</sup>، الناز میلانی<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

2- استاد، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

3- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان مرکزی جهاد دانشگاهی، مشهد، ایران

(تاریخ دریافت: 99/02/02 تاریخ پذیرش: 99/04/09)

### چکیده

میان وعده‌ها به بخش قابل توجهی از رژیم غذایی بسیاری از افراد به ویژه کودکان تبدیل شده‌اند. همچنین اسنک‌ها به دلیل تنوع و رنگ‌های جذاب، ماندگاری بالا و هزینه نسبتاً کم طرفداران بسیاری دارند. عمده آن‌ها از غلات تولید می‌شوند و مشکل اصلی این میان وعده‌ها، مواد مغذی ناکافی بوده که اثر منفی بر سلامتی داشته و باعث افزایش میزان چاقی در افراد، به ویژه کودکان می‌گردد. با بهره‌گیری از شبه غله کینوا در محصولات اسنک، باعث ایجاد تنوع در محصولات فعلی شده و همچنین موجب افزایش ارزش غذایی اسنک می‌گردد. از طرفی امروزه توجه به کاربرد مجدد فراورده‌های جنبی صنایع غذایی و فرعی نهاده‌های کشاورزی بیشتر شده است و برگرداندن این محصولات به چرخه تولید باعث افزایش ارزش افزوده می‌گردد. یکی از این فراورده‌های جنبی، گندم سن زده می‌باشد که به دلیل آسیب شبکه گلوتنی مورد استفاده در صنایع پخت نمی‌باشد و به مصرف خوراک دام می‌رسد. در این پژوهش اثر متغیرهای مستقل شامل میزان سطوح افزودن کینوا (۲۵،۵۰٪)، میزان رطوبت (۱۲،۱۵،۱۸ درصد)، سرعت چرخش ماریپیچ (200، ۱۲۰، ۱۶۰ دور در دقیقه) در قالب طرح مرکب مرکزی بود. تأثیر متغیرهای مستقل بر برخی خصوصیات فیزیکی و عملکردی فراورده شامل نسبت انبساط، سختی بافت، شاخص جذب آب، شاخص حلالیت آب، ارزیابی حسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش کینوا تا 50 درصد، سختی بافت (4/72-11/57 نیوتن)، شاخص حلالیت در آب (21-28/4) و پذیرش کلی محصول اکستروژن شده، افزایش پیدا کرد و همچنین باعث کاهش نسبت انبساط (3/77-2/86)، شاخص جذب آب (5/39-5/05) و پذیرش حسی بافت، گردید. نتایج ارزیابی حسی مشخص کرد که شرایط رطوبت 12% و سرعت چرخش rpm175 و سطوح افزودن کینوا (19%)، برای تولید میان وعده مناسب بوده و بیشترین پذیرش کلی را دارد.

کلید واژگان: میان وعده حجیم شده، کینوا، گندم سن زده، ویژگی عملکردی، اکستروژن

## 1- مقدمه

محصولات اسنک بسیار متنوع بوده و می تواند شامل اسنک تهیه شده از گوشت، لبنیات، سبزیجات، ماهی باشد. اما عمده اسنک هایی که تولید می شوند از غلات می باشد. هم چنین محصولات اسنک به دلیل مواد مغذی ناکافی با اثر منفی بر سلامتی مرتبط بوده و باعث افزایش میزان چاقی در افراد می شود. مصرف روزافزون اسنک های باارزش غذایی کم مانند ذرت های حجیم طعم داده شده (پفک) یا سیب زمینی که عمدتاً از نشاسته تشکیل شده است، در روند رو به رشد چاقی دخیل هستند [1]. باز همین رو استفاده از شبه غله ای نظیر کینوا بسیار مناسب می باشد. با توجه به بررسی های انجام شده کینوا (*Chenopodium quinoa wild*) شبه غله بدون گلوتن است و جایگزین جذابی برای افراد مبتلا به بیماری سلولیک و یا حساسیت به گلوتن می باشد. رانهورتراو همکاران (1993) مشاهده کردند که کیفیت پروتئین کینوا برابر با پروتئین شیر، کازئین است و حاوی بیش از 10 اسید آمینه ضروری نظیر لایزین، تروئین، متیونین بوده و دارای اسیدهای چرب اشباع نشده (لینولئیک، لینولنیک) همچنین حاوی ویتامین هایی نظیر B2 و E بوده و از نظر مواد معدنی نظیر آهن، مس و دیگر فیتوشیمیایی نظیر (استروئید ها، فنولیک اسید و فلاونوئید) غنی می باشد [2]. کینوا غنی از  $\alpha$  توکوفرول، و ترکیبات فنلی می باشد که نقش مهمی در آنتی اکسیدان ها ایفا می کنند. کینوا در کاهش خطر بیماری های قلبی و عروقی، سرطان، بیماری های عصبی، دیابت و پوکی استخوان مؤثر هستند [3]. سازمان غذا و کشاورزی اظهار داشت، دانه های کینوا حاوی میزان زیاد پروتئین، فیبر، کلسیم، فسفر، آهن و ویتامین های گروه B از جو، جو دوسر، برنج، ذرت و گندم دارد [4]. از همین رو کینوا می تواند یک افزودنی مناسب در محصولات اکستروژن شده باشد.

فرآورده های جانبی کارخانه های صنایع غذایی با توجه به هزینه پایین و سهولت دسترسی به عنوان منابع مناسب برای به گردش در آوردن مجدد چرخه غذایی گامی مؤثر در توسعه

پایدار خواهند داشت [5]. یکی از مهم ترین فرآورده های جنبی کارخانه های گندم، گندم سن زده می باشد. گندم یکی از مهم ترین محصولات کشاورزی است که در جیره غذایی سه چهارم مردم جهان قرار دارد [6].

گونه هایی از حشره سن مانند *Eurygaster* و *Aelia* طی مراحل رشد گندم از آن تغذیه نموده و باعث کاهش مقدار نشاسته و وزن دانه می گردند. علاوه بر این، همراه با بزاق خود آنزیم پروتئولیتیکی وارد آرد گندم نموده و سبب تخریب و تضعیف گلوتن به ویژه بخش گلوتنین می گردد که این امر موجب کاهش کیفیت در نان می شود. سطح مناطق آلوده به سن گندم در خاورمیانه حدود 5/4 میلیون در هکتار است که متأسفانه 3 میلیون هکتار آن مربوط به ایران است [7]. همچنین هر ساله سطحی نزدیک به یک میلیون هکتار در سال های اخیر علیه آفت سن گندم عملیات سمپاشی صورت می گیرد. در حالیکه سطح مبارزه در اغلب کشور های سن خیز نظیر شوری، مجارستان، رومانی و بلغارستان بسیار نزول داشته است در حالیکه سطح سمپاشی در ایران در سال های اخیر افزایش چشمگیری را نشان می دهد. در سال های قبل از آن چنین روندی دیده نمی شد و وسعت و شدت این گسترش هیچگاه چنین دامنه ای نداشته است [8]. کدیور و همکاران (1395) ویژگی های زیست فعالی گندم های سن زده را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که، نتیجه ای افزایش درصد سن زدگی، پپتیدهای کوتاه زنجیر با خاصیت بازدارندگی آنزیم ACE و آنتی اکسیدانی تولید شد. به طوریکه این دو خاصیت در گندم کاملاً سن زده بیشترین، و گندم سالم کمترین مقدار بود. آنها هم چنین نتیجه گرفتند که با وجود اینکه گندم سن زده ضایعات محسوب می شود اما به دلیل هیدرولیز محدود گلوتن آن، دارای ویژگی های متفاوت با گندم سالم است و ویژگی تغذیه ای آن طی هیدرولیز بهبود می یابد [9].

پژوهش های بسیاری با محوریت استفاده از کینوا در محصولات اکستروژن شده صورت گرفته است، نظیر پژوهش دیاز و همکاران (2013) اثر استفاده از کینوا و آمارانت در محصولات اکستروژن شده بر پایه درت بررسی کردند. هم چنین

## 2- مواد و روش‌ها

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل گندم، گندم سن زده و کینوا بود. گندم سن زده از اداره غله ناحیه 5 خراسان، کینوا گونه تیتیکاکا و گندم رقم سرداری از فروشگاه عرضه محصولات کشاورزی در مشهد تهیه شد.

### 2-1- آماده‌سازی نمونه‌ها

گندم و کینوا بعد از خریداری، بوجاری و تا زمان استفاده در جای خنک نگهداری شدند. همچنین گندم‌های سن زده از گندم‌های سالم جدا شده و با نسبت 5% به گندم‌های سالم اضافه گردیدند. تمامی مواد اولیه توسط آسیاب صنعتی توس شکن خراسان، آسیاب شدند و از الکی با شماره مش 40 عبور داده شدند. آنالیز ترکیبات شیمیایی گندم، گندم سن زده و کینوا در جدول (1) ارائه شده است. برای تعیین ترکیبات شیمیایی شامل خاکستر، پروتئین، چربی از روش AOAC(2000) استفاده شد [13]. همچنین برای تعیین رطوبت اولیه مواد اولیه از روش AOAC(2000) استفاده گردید [13].

**Table 1** chemical composition of wheat, suni bug wheat and quinoa [14]

Chemical compositions	Fat (%)	Protein (%)	Ash (%)
wheat	2.64	10.5	1.477
Suni-bug wheat	2.84	9.88	1.45
quinoa	7.22	14.5	2.09

نسبت طول به قطر (L/D): 15، نوع قالب فولادی و جهت چرخش ماردون، ساعت‌گرد، سرعت خوراک‌دهی: 12 کیلوگرم بر ساعت. محصول تولیدی به مدت نیم ساعت در آون (Binder) ساخت آلمان، در دمای 80 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس به منظور عدم تبادل رطوبتی تا زمان انجام آزمایش در بسته‌بندی پلاستیکی از جنس پلی‌اتیلن نگهداری شدند.

### 2-2- ارزیابی ماکروساختار میان وعده حجیم

شده

#### 2-2-1- نسبت انبساط

پژوهشی دیگر توسط تاورنا و همکاران (2012) با هدف بررسی در تغییرات فیزیکی محصول اکستروود شده نشاسته کاساوا و کینوا صورت گرفت. همچنین دیاز و همکاران (2017) اثر پخت اکستروژن بر ویژگی فیزیکی و شیمیایی محصول کامپوزیت آمارانت و کینوا بر پایه ذرت را بررسی کردند. هدف و نوآوری این پژوهش استفاده از گندم سن زده می‌باشد که در صنعت پخت (به دلیل آسیب در شبکه گلوتنی) مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و به‌عنوان ضایعات به مصرف خوراک دام می‌رسد. همچنین استفاده از گندم سن زده باعث ایجاد ارزش افزوده و ورود مجدد آن به چرخه تولید می‌گردد. و علاوه بر این، به بررسی اثر متغیرهای فرمولاسیون و فرایند اکستروژن با استفاده از روش سطح پاسخ بر ارزیابی نسبت انبساط، بافت سنجی (سختی)، ویژگی عملکردی (شاخص جذب آب و شاخص حلالیت در آب) و ارزیابی حسی میان وعده مخلوط آرد گندم سن زده و کینوا پرداخته شد. [10]، [11] و [12].

در کلیه تیمارها آرد گندم سن زده 5 درصد به فرمول پایه حاوی آرد گندم افزوده شد و سپس کینوا به نسبت‌های (0، 25 و 50%) اضافه گردید و با استفاده مربع پیرسون به رطوبت بین 12-18 رسیدند. پس از 15 دقیقه مخلوط کردن، به منظور یکنواخت سازی رطوبت نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در یخچال نگهداری شدند و سپس به دستگاه اکستروود منتقل شد.

به منظور فرمولاسیون و تهیه نمونه‌ها از اکستروودر دو مارپیچ موجود در پیلوت اکستروژن پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی مشهد (مدل DS56، Jinan Saxin، ساخت چین) استفاده شد. مشخصات دستگاه عبارتند از طول اکستروودر: 90 سانتی‌متر، قطر دای: 4 میلی‌متر،

نشاسته طی اکستروژن می‌باشد. مایع رویی فالکون در آزمون اندازه‌گیری جذب آب، به پلیتی که از قبل توزین شده بود انتقال یافت و در آن با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرار گرفت تا آب موجود به‌طور کامل تبخیر گردید. در پایان پلیت به همراه رسوبات موجود توزین شد و میزان حلالیت در آب با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید [17].

$$WSI = \frac{\text{وزن ماده خشک محلول در مایع رویی فالکون}}{\text{وزن نمونه}}$$

## 2-4- ارزیابی حسی

ده دانشجوی نیمه آموزش‌دیده برای ارزیابی محصول اکستروژن شده انتخاب گردیدند. این افراد محصول را از نظر ظاهر، رنگ، بافت، مزه و پذیرش کلی در سه تکرار ارزیابی نمودند. نحوه خوردن و بلعیدن به پنلیست‌ها آموزش داده شد. سپس با استفاده از آزمون هدونیک 5 نقطه‌ای ارزیابی شدت هر صفت انجام پذیرفت (1= خیلی بد، 5= خیلی خوب) (ISO 11136:2014). کل آزمون در یک روز انجام پذیرفت. در فواصل مصرف هر نمونه به پنلیست‌ها آب داده شد. نمونه‌ها در پلیت‌های کدگذاری شده قرار گرفتند. هر پارامتر به یک ارزش عددی تبدیل و مطابق طرح آزمایشی آنالیز گردید [17].

## 2-5- طرح آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این تحقیق از طرح مرکب مرکزی (CCD) با 3 متغیر مستقل، در 3 سطح و 6 تکرار در نقطه مرکزی طرح (به منظور بررسی تکرارپذیری طرح) در سطح 99% معنی‌داری استفاده گردید، به‌طوری‌که مجموع کل تیمارها 20 تیمار شد. آنالیز داده‌ها و شکل‌های سه‌بعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل با استفاده از نرم‌افزار Design Expert نسخه 10/0/7 انجام گردید.

ابتدا 10 عدد از محصول اکستروژن شده به‌طور تصادفی از هر تیمار انتخاب و با استفاده از کولیس سه‌نقطه از آن اندازه‌گیری و از نتایج حاصل میانگین گرفته شد تا متوسط ضخامت محصول اکستروژن شده به دست آمد. سپس از تقسیم اندازه حاصل بر اندازه قالب (4 میلی‌متر) میزان انبساط محاسبه گردید [15].

## 2-2-2- آزمون بافت سنجی

پس از انجام تنظیمات دستگاه تکسچر آنالایزر<sup>2</sup> از هر تیمار 2 نمونه به‌صورت کاملاً تصادفی انتخاب و روی محل موردنظر در دستگاه قرار داده شد. پروب مورد استفاده در این آزمون از نوع استوانه‌ای و به قطر 2 میلی‌متر انتخاب گردید. عمق نفوذ 10 میلی‌متر برای پروب در نظر گرفته شد. ماکزیمم نیروی وارده به فراورده اکستروژن شده محاسبه گردید و در نهایت میانگین ماکزیمم نیروی وارد شده به فراورده اکستروژن شده به‌عنوان میزان سفتی اعلام شد [16].

## 2-3- ویژگی عملکردی

### 2-3-1- شاخص جذب آب

شاخص جذب آب نشان دهنده ی مقدار آب جذب شده توسط گرانول نشاسته است و شاخصی از ژلاتینه شدن محسوب می‌شود. محصول اکستروژن شده ابتدا آسیاب شده و از الک عبور داده می‌شود تا اندازه ذرات یکنواخت گردند سپس 2/5 گرم از نمونه آسیاب شده با 25 میلی‌لیتر آب مقطر در دمای اتاق به مدت 30 دقیقه با سرعت متوسط هم زده می‌شود و سپس در 3000 g به مدت 15 دقیقه سانتریفیوژ می‌گردد. مایع رویی را از ظرف سانتریفیوژ خارج می‌شود. نسبت وزن مواد باقی‌مانده در ظرف پس از خروج مایع رویی به وزن نمونه خشک اولیه به‌عنوان ضریب جذب آب تعریف می‌گردد [17].

### 2-3-2- حلالیت در آب

شاخص حلالیت در آب میزان پلی ساکارید های آزاد یا پلی ساکارید های آزاد شده از گرانول پس از افزودن آب را اندازه‌گیری می‌کند و شاخص از هم‌پاشیدگی ترکیبات مولکولی

3. Central Composite Design

2. Texture Analyzer

**Table 2** Levels of adding independent variables

In depended variable	code	Sample code and level		
		+1	0	-1
Quinoa level(w/w)	A	50	25	0
Moisture (%)	B	18	15	12
Screw speed(rpm)	C	200	160	120

معنی‌دار بود ( $P < 0.0001$ ). به‌علاوه، آزمون ضعیف برازش معنی‌دار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). این نتایج مناسب بودن مدل برازش یافته در مورد نسبت انبساط را نشان می‌دهد. مقادیر بالای  $R^2 = 0/9712$  و  $R^2_{(Adj)} = 0/9579$ ، بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی است.

### 3- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA)

#### پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

همان‌طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، مدل چندجمله‌ای درجه اول برای نسبت انبساط از نظر آماری

**Table 3** Results of ANOVA analysis of measured responses

source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	P Value
<b>Expansion Ratio</b>					
model	0.56	6	0.094	73.08	<0.0001**
A	0.047	1	0.047	36.64	<0.0001**
B	0.043	1	0.043	33.79	<0.0001**
C	0.091	1	0.091	71.19	<0.0001**
Lack of fit	0.011	8	1.374E-003	1.21	0.4347 <sup>ns</sup>
Pure Error	5.670E-003	5	1.134E-003		
<b>Hardness</b>					
Model	52.60	6	8.77	218.66	<0.0001**
A	7.45	1	7.45	185.79	<0.0001**
B	25.89	1	25.89	645.76	<0.0001**
C	10.90	1	10.90	271.78	<0.0001**
Lack of fit	0.45	8	0.057	4.19	0.0657 <sup>ns</sup>
Pure Error	0.068	5	0.014		
<b>WAI</b>					
Model	0.60	3	0.20	40.11	<0.0001**
A	0.28	1	0.028	55.41	<0.0001**
B	0.22	1	0.22	43.91	<0.0001**
C	0.11	1	0.11	21.03	0.0003*
Lack of fit	0.032	11	2.952E-003	0.31	0.9514 <sup>ns</sup>
Pure Error	0.48	5	9.955E-003		
<b>WSI</b>					
Model	6.033E-003	6	1.005E-003	64.19	<0.0001**
B	6.241E-004	1	6.241E-004	39.84	<0.0001**
C	4.928E-003	1	4.928E-003	314.60	<0.0001**
Lack of fit	1.203E-004	8	1.504E-005	0.90	0.5738 <sup>ns</sup>
Pure Error	8.333E-005	5	1.667E-005		

ns: not significant, \* significant at  $p < 0.05$ , \*\* significant at  $p < 0.01$ , A: quinoa flour, B: moisture, C: screw speed

بودن مدل برازش یافته در مورد سختی را نشان می‌دهد. مقادیر بالای  $R^2 = 0/9902$  و  $R^2_{(Adj)} = 0/9857$  مربوط به مدل نشان‌دهنده توان بالای مدل در برازش داده‌ها می‌باشد.

مطابق جدول (3)، مدل ارائه‌شده برای شاخص سختی از نظر آماری معنی‌دار بوده است ( $P < 0.0001$ ) و همچنین آزمون ضعیف برازش معنی‌دار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). این نتایج مناسب

ماتریس، ساختار و شکل‌گیری ماکرو مولکولی آن‌ها که بر خصوصیات کششی محصولات اکستروژن شده تأثیر می‌گذارد، باعث کاهش نسبت انبساط می‌شود [17]. همچنین کینوا ممکن است به دلیل میزان بالای پروتئین و چربی و میزان کم آمیلوز، باعث کاهش نسبت انبساط گردد، چراکه هر سه این فاکتورها در کاهش نسبت انبساط نقش دارند [19].

همچنین وجود سبوس در کینوا (2,5%) باعث کاهش قابلیت گسترش دیواره‌های سلولی و همچنین مانع از گسترش حباب‌های هوا شده که این امر موجب کاهش نسبت انبساط می‌گردد [14] و [20]. هاشیموتو و گروسمان (2003) به نتیجه مشابه در مورد محصول اکستروژن شده سبوس کاساوا و نشاسته کاساوا دست یافتند [21].

افزایش رطوبت سبب کاهش دمای محفظه می‌گردد. دمای پایین فرایند منجر به کاهش ژلاتیناسیون و درنهایت منجر به کاهش نسبت انبساط و افزایش دانسیته توده میان وعده می‌شود [22]. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از مطالعات آلوارز-مارتینز و همکاران (1988) و لیو و همکاران (2000) و دینگ و همکاران (2006) و راموس دیاز (2013) که به ترتیب اثر رطوبت بر نسبت انبساط فرآورده اکستروژن شده غنی‌شده با ذرت، ذرت و جو دوسر، گندم، آمارانت و کینوا بر پایه ذرت مطابقت داشت [24]، [25]، [23] و [10].

همان‌طور که از شکل 1 مشاهده می‌شود، با افزایش سرعت چرخش نسبت انبساط نیز افزایش یافت اما برعکس، با افزایش میزان جایگزینی کینوا از صفر تا 50 درصد کاهش شیب ملایمی بر نسبت انبساط مشاهده گردید. به‌طوری‌که بیشترین نسبت انبساط در سرعت چرخش 200 و در صفر درصد جایگزین کینوا رخ داده است. علل احتمالی اثر سرعت چرخش بر نسبت انبساط کاهش ویسکوزیته خوراک می‌باشد. به‌طورکلی افزایش سرعت چرخش سبب افزایش میزان برش و درنهایت موجب کاهش ویسکوزیته ذوب می‌گردد که دارای اثر مثبت بر نسبت انبساط می‌باشد [26]. درحالی‌که خارات و همکاران (2018) به این نتیجه رسیدند که بهترین نسبت انبساط زمانی رخ می‌دهد که با سرعت چرخش کمتر زمان ماندن خوراک بیشتر بوده و موادی که نیاز به نیروی برشی بیشتر هستند باعث افزایش نسبت انبساط در آن‌ها می‌گردد [27].

نتایج این آزمون با نتایج آزمون راموس ریاز (2017) درباره

همان‌طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، مدل ارائه‌شده برای شاخص جذب آب از نظر آماری معنی‌دار بوده است ( $P < 0.0001$ ). با توجه به این نتیجه و همچنین معنی‌دار نبودن آزمون ضعف برازش ( $P > 0.05$ ) چنین انبساط می‌شود که مدل خطی، مدل مناسبی در مورد این متغیر وابسته می‌باشد. عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل سطوح افزودن کینوا (A)  $P < 0.0001$ ، رطوبت (B)  $P < 0.0001$  و سرعت چرخش (C)  $P < 0.0003$  بودند. مقادیر بالای  $R^2$  و  $R^2_{(Adj)}$  که به ترتیب برای WAI برابر 0,8826 و 0,8606 نشان از برازش خوب مدل با داده‌های موردبررسی بود.

همان‌طور که در جدول (3) مشاهده می‌شود، مدل چندجمله‌ای درجه اول برای شاخص انحلال در آب از نظر آماری معنی‌دار بود ( $P < 0.0001$ )، درعین‌حال، آزمون ضعف برازش معنی‌دار نمی‌باشد ( $P > 0.05$ ). این نتایج مناسب بودن مدل برازش یافته در مورد شاخص انحلال در آب را نشان می‌دهد. مقادیر بالای  $R^2$  و  $R^2_{(Adj)}$  برای WSI برابر 0,9673 و 0,9523 بودند که بیانگر قدرت بالای مدل در پیش‌بینی می‌باشد.

مطابق جدول (3)، مدل ارائه شده برای ارزیابی حسی از نظر آماری معنی‌دار بوده است ( $P < 0.0001$ )، با توجه به این نتیجه و همچنین معنی‌دار نبودن آزمون ضعف برازش ( $P > 0.05$ ) چنین استنباط می‌شود که مدل چند جمله درجه اول، مدل مناسبی در مورد این متغیر وابسته می‌باشد. همچنین مقادیر  $R^2$  و  $R^2_{(Adj)}$  که به ترتیب برابر 0,9512 و 0,9287 بودند نشان‌دهنده قدرت بالای مدل برازش داده‌شده با داده‌های مورد بررسی می‌باشد.

### 3-1- بررسی اثر متغیر فرمولاسیون و شرایط

#### اکستروژن بر نسبت انبساط

نسبت انبساط نشان دهنده ی میزان پف کردن ماده مذاب پخته شده پس از خروج از دستگاه اکستروژن است [18]. همان‌طور که از شکل 1 و 2 پیداست با افزایش سطوح جایگزینی کینوا، از 3,34 به 2,86 میزان نسبت انبساط در محصول اکستروژن شده، کاهش پیدا کرده است و با افزایش سرعت چرخش از 120 به 200 نسبت انبساط نیز افزایش یافت. همچنین با افزایش میزان رطوبت خوراک از 12 به 18 درصد میزان نسبت انبساط با شیب تندی کاهش پیدا کرد.

چندین محقق ثابت کرده‌اند که پروتئین‌ها به‌عنوان رقیق‌کننده عمل می‌کنند که این امر به دلیل توانایی تأثیر توزیع آب در

خصوصیات بافتی محصولات اکستروژده شده تولید شده استفاده می‌شود [28]. سختی فراورده غذایی اکستروژده شده به میزان انبساط و ساختار سلول‌های محصول بستگی دارد [29]. سختی فراورده اکستروژده شده به صورت خطی با افزایش میزان درصد جایگزین کینوا، رطوبت و سرعت چرخش تغییر کرد. نمودارهای سطح پاسخ نشان دادند که با افزایش میزان کینوا و رطوبت، سختی افزایش و با افزایش سرعت چرخش، سختی کاهش یافت میزان سختی فراورده اکستروژده شده بین 4,728 تا 11,573 نیوتن به دست آمد. حداقل میزان سختی (4/72 نیوتن) با میزان صفر درصد جایگزینی کینوا، رطوبت 12 درصد و سرعت چرخش 200 دور در دقیقه حاصل شد. در واقع سختی مقدار بیشینه نیروی مورد نیاز پروب برای نفوذ به داخل فراورده اکستروژده شده می‌باشد. هرچه میزان بیشینه نیرو بیشتر باشد، میزان سختی بیشتر است. سختی با افزایش محتوای رطوبت افزایش یافت.

با افزایش میزان جایگزینی کینوا سختی نیز به صورت خطی افزایش یافت. دلیل احتمالی ممکن است به خاطر ترکیبات اصلی کینوا باشد. کینوا با داشتن مقادیر زیاد پروتئین و چربی ممکن است بر ویژگی ماتریس نشاسته اثر بگذارد (به عنوان مثال بر روی خصوصیات ویسکوالاستیک ماده مذاب) به گونه‌ای که دیگر بخار آب را در خود نمی‌تواند نگه دارد و در نتیجه مقاومت به شکست آن افزایش می‌یابد و سختی محصول اکستروژده شده افزایش می‌یابد [30]. پروتئین کینوا عمدتاً از آلبومین‌ها و گلوبولین‌ها تشکیل شده است [14]. آلبومین‌ها با حرارت منقعد می‌شوند و ممکن است علت افزایش سختی بافت به دلیل انعقاد پروتئین‌های کینوا باشد همچنین پروتئین گندم (گلوتن) در آب حل نمی‌شود و باعث افزایش ظرفیت خمیر از نظر تورم می‌گردد ولی به دلیل آنزیم پروتئاز فعال در گندم سن زده تخریب شده و نمی‌تواند بخارات آب را در خود نگه دارد، لذا باعث افزایش سختی می‌گردد [31]. اما کالتر ولورنز (1991) نتیجه‌ای متفاوت داشتند. آن‌ها اظهار کردند، محصولی که حاوی 30 درصد جایگزین کینوا بود در مقایسه با محصول 100 درصد ذرت میزان سختی کمتری برخوردار بود چراکه با افزایش میزان کینوا بافت خشن و زبر، دیواره‌های سلولی شکسته، عدم توزیع مساوی سلول‌های هوایی و ایجاد فضاهای بازتری نسبت به محصول 100 درصد ذرت داشت و

محصول اکستروژده شده مخلوط کینوا و آمارانت بر پایه ذرت مطابقت داشت [12].

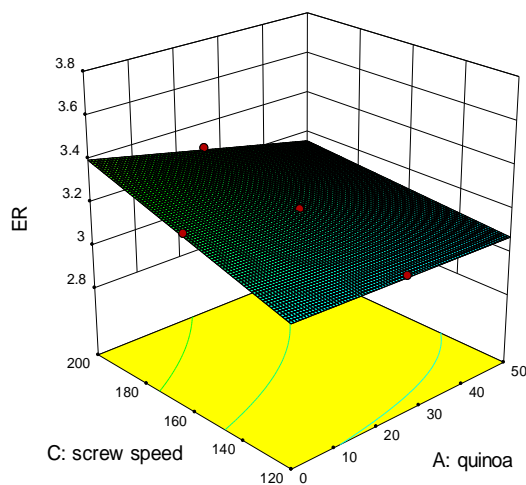


Fig 1 Effect of quinoa flour- screw speed on expansion ratio

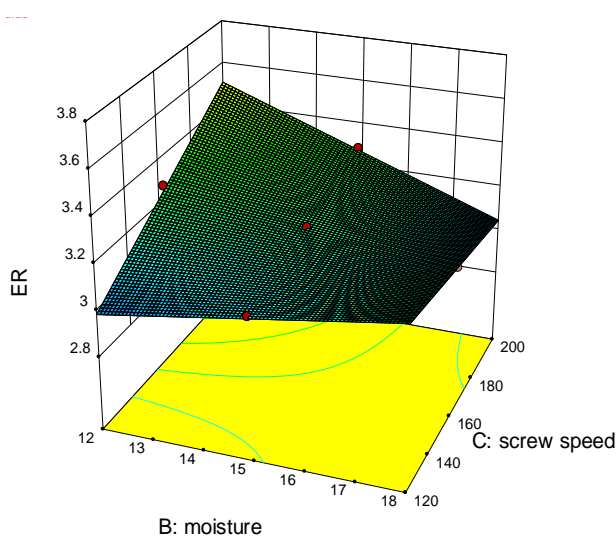


Fig 2 Effect of moisture- screw speed on expansion ratio

### 3-2- تأثیر فرمولاسیون متغیرهای اکستروژن بر

#### سختی

بافت یکی از مهم‌ترین خصوصیات حسی محصولات اکستروژده شده می‌باشد. از سختی، تردی<sup>4</sup>، شکنندگی<sup>5</sup> جهت ارزیابی

4. Crispness

5. Brittleness

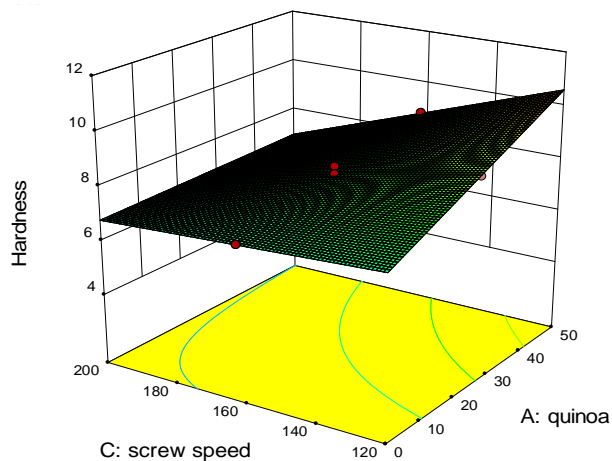


Fig 4 Effect of quinoa- screw speed on Hardness

### 3-3- تأثیر فرمولاسیون متغیرهای اکستروژن بر

#### شاخص جذب آب

جذب آب به در دسترس بودن گروه‌های هیدروفیل و توانایی ایجاد زل توسط ماکرو مولکول‌ها بستگی داشته و نشان‌دهنده مقدار آب جذب‌شده توسط نشاسته و شاخص ژلاتین شدن آن به شمار می‌آید [22]. میزان جذب آب با افزایش رطوبت به صورت خطی افزایش یافت اما با افزایش میزان درصد جایگزینی کینوا و سرعت چرخش کاهش یافت.

افزودن کینوا منجر به کاهش جذب آب گردید. یاگسی وگوگس (2009) به این نتیجه رسید که زمانی که آرد فندق چربی گرفته‌شده به فرمول اضافه کرد به دلیل کاهش نسبی محتوای نشاسته بر میزان ژلاتیناسیون نشاسته در اکستروژن اثر منفی داشت و منجر به کاهش جذب آب گردید [29]. کینوا به دلیل داشتن چربی که نقش روان کنندگی در اکستروژن ایفا می‌کند و باعث کاهش میزان ژلاتیناسیون نشاسته می‌گردند که خود موجب کاهش  $WAI^6$  می‌شود [37]. سینگ و همکاران (2007) به نتیجه مشابه دست یافت. به طوریکه با افزودن بلغور نخود در محصول اکستروژن‌شده از برنج کاهش در جذب آب مشاهده کرد و علت را رقیق شدن نشاسته در مخلوط نخود- برنج اعلام کرد [34].

این امر مقاومت برشی کمتر در محصول اکستروژن شده حاوی کینوا را توجیه کرد [19].

نتایج این آزمون با نتیجه تحقیق تاورنا و همکاران (2012)، ایلو و همکاران (1999) به ترتیب بر روی محصول اکستروژن شده حاوی نشاسته کاساوا- کینوا و مخلوط آرد برنج - آمارانت تطابق داشت [11] و [32].

رطوبت از عوامل اصلی تأثیرگذار بر دانسیته توده و نسبت انبساط می‌باشد. محصولی با دانسیته بالا دیواره سلولی ضخیم دارد که به طور مستقیم با سختی میان وعده مرتبط می‌باشد [33]. افزایش رطوبت، میزان ژلاتیناسیون نشاسته را کاهش و مانع از رشد حباب‌های در محصولات اکستروژن شده می‌شود که خود منجر به افزایش سختی می‌گردد [34]. نتایج این آزمون با دینگ و همکاران (2005) بر روی محصول اکستروژن شده آرد برنج تطابق داشت [35].

همان‌طور که از نمودارهای سطح پاسخ پیداست با افزایش سرعت چرخش میزان سختی کاهش یافته است. علت احتمالی این پدیده مربوط به اثر سرعت چرخش با افزایش نیروی برشی منجر به افزایش میزان انبساط و کاهش سختی بافت گردد [26]. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که با افزایش سرعت ماریچ منجر به کاهش ویسکوزیته ماده مذاب شده و افزایش حجم آن باعث تولید حباب‌های یکنواخت با دیواره نازک می‌گردد که خود منجر به کاهش سختی بافت می‌گردد [23]. نتایج حاصل با نتایج آلتان و همکاران (2008)، وو و همکاران (2007) و دینگ و همکاران (2006) که به ترتیب در مورد محصولات اکستروژن شده آرد جو و تغاله گوجه‌فرنگی، آرد بذر کتان - ذرت و گندم تطابق داشت [28]، [36] و [23].

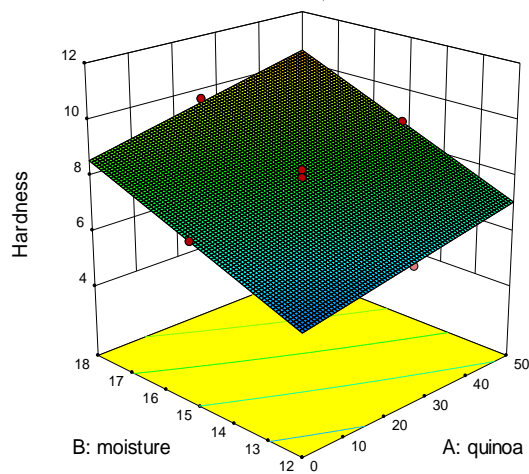


Fig 3 Effect of quinoa- moisture on Hardness



سرعت چرخش اثر مثبت بر حلالیت در آب داشت به طوری که با افزایش سرعت چرخش میزان حلالیت در آب نیز افزایش پیدا کرد. افزایش سرعت چرخش به دلیل افزایش نیروی برشی میزان تخریب نشاسته را افزایش می‌دهد که در نتیجه میزان ترکیبات محلول هم افزایش می‌یابد [43]. نتایج این آزمون با نتایج لی وهمکاران (2005) و اکبر زاده وهمکاران (1395) که به ترتیب بر روی محصولات اکستروود شده برنج و خلر صورت گرفته بود، تطابق داشت [44] و [40].

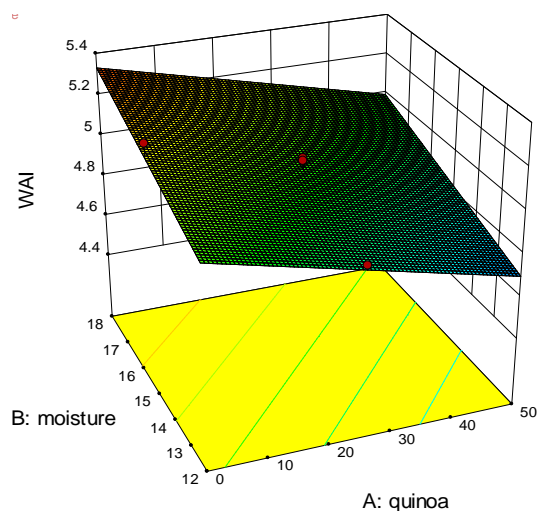


Fig 5 Effect of quinoa – moisture on WAI

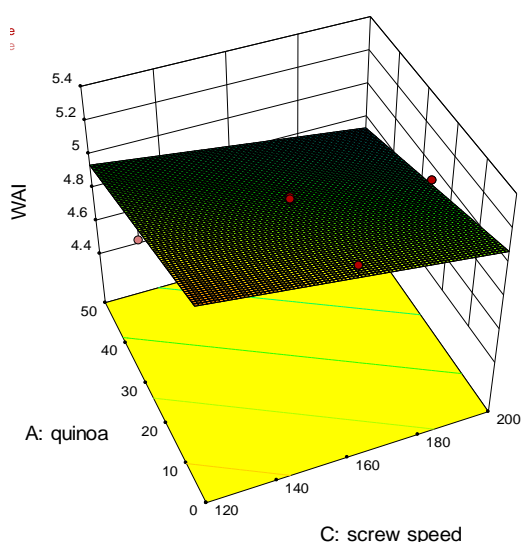


Fig 6 Effect of quinoa- screw speed on WAI

رطوبت در فرآیند اکستروژن باعث افزایش ژلاتیناسیون و کاهش و کاهش تخریب نشاسته می‌شود ولی در رطوبت های پایین، محافظی برای نشاسته وجود ندارد [38]. همچنین در دمای بالا و رطوبت کم، نشاسته به جای ژلاتین، دکستریز می‌شود که منجر به کاهش جذب آب می‌گردد [23]. نتایج این آزمایش با نتایج دینگ وهمکاران (2005) و سینگ وهمکاران (2007) به ترتیب در مورد محصولات اکستروود شده برنج و برنج-بلغور نخود مطابقت داشت [35] و [34].

با افزایش سرعت چرخش میزان جذب آب فرآورده‌های اکستروود شده کاهش یافت. در واقع به دلیل افزایش نیروی برشی (سرعت چرخش بالا) میزان تخریب شاخه‌های پلیمری افزایش می‌یابد و در نتیجه قابلیت اتصال گروه‌های آب‌دوست به مولکول‌های کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به کاهش جذب آب می‌گردد [39]. همچنین در سرعت چرخش کم زمان ماند، در اکستروژن افزایش می‌یابد که منجر به افزایش ژلاتیناسیون نشاسته و در نهایت باعث افزایش جذب آب می‌گردد [17]. نتایج این آزمون با نتایج اکبرزاده وهمکاران (1395) در مورد فرآورده اسنک خلر تطابق داشت [40].

### 3-4- تأثیر فرمولاسیون متغیرهای اکستروژن بر

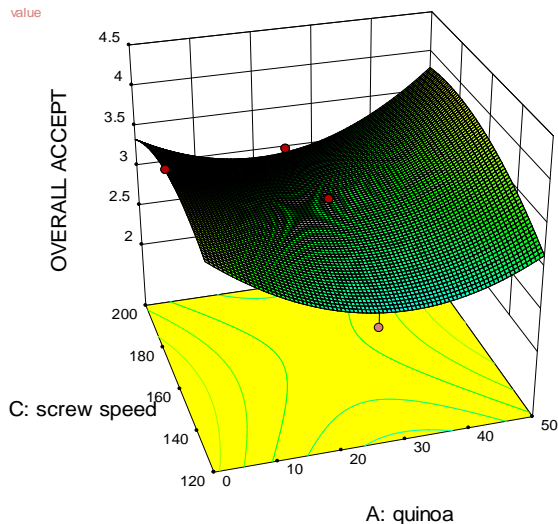
#### شاخص حلالیت در آب

حلالیت در آب به‌عنوان شاخص تخریب اجزای مولکول، مورد استفاده قرار می‌گیرد و در واقع میزان تبدیل اجزای نشاسته به پلی ساکارید های محلول آزاد شده طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند [23].

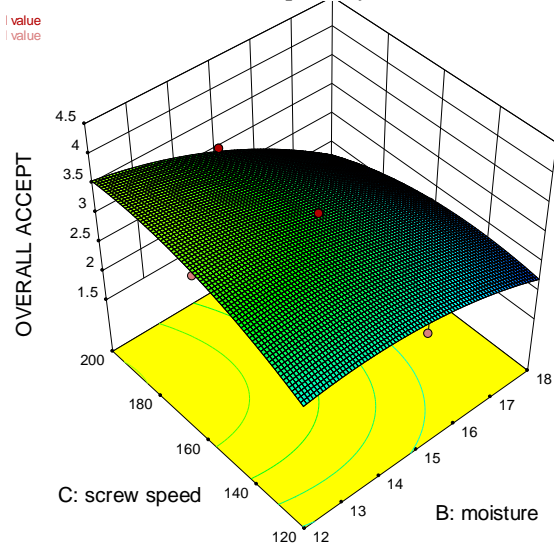
با افزایش رطوبت میزان  $WSI^7$  فرآورده اکستروود شده کاهش یافت. دکستریز شدن نشاسته فرایند غالب تخریب نشاسته در رطوبت‌های پایین در اکستروژن می‌باشد. همچنین انتظار می‌رود که محصولات اکستروود شده که رطوبت کمتری داشته باشند حلالیت در آب بالاتری داشته باشند. در واقع به دلیل افزایش دکستریز شده نشاسته در رطوبت کم افزایش حلالیت در آب رخ می‌دهد [41]. نتایج حاصل با نتایج دینگ وهمکاران (2005) و لازو وهمکاران (2010) که به ترتیب در مورد محصولات اکستروود شده برنج و آرد ذرت و عدس، تطابق داشت [35] و [42].

7. Water Solution Index

میزان درصد جایگزینی کینوا به دلیل بهبود در طعم و ظاهر، افزایش یافت. همچنین با افزایش رطوبت به دلیل افزایش سختی و ظاهری نامناسب، کاهش یافت و در نهایت با افزایش سرعت چرخش به دلیل ایجاد رنگ، طعم مطلوب و سختی کم، افزایش یافت.



**Fig 8** Effect of quinoa- screw speed on overall acceptability



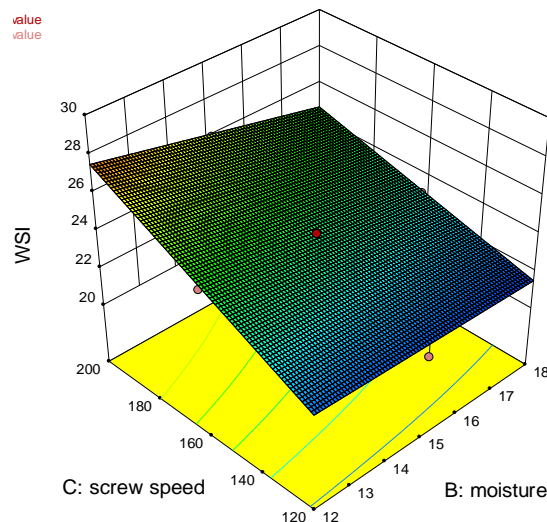
**Fig 9** Effect of moisture- screw speed on overall acceptability

با توجه به پارامترهای دارای اثر معنی دار، معادله برازش داده شده در مورد پذیرش ظاهر، رنگ، بافت، طعم و پذیرش کلی به ترتیب از جانب ارزیابان به صورت زیر می باشد:

$$\text{ظهور پذیرش} = +3.32 + 0.20A - 0.42B + 0.24C - 0.11AB$$

$$\text{رنگ پذیرش} = +3.01 + 0.30B - 0.100BC + 0.43B^2$$

$$\text{بافت پذیرش} = +3.21 - 0.19A - 0.84B + 0.30AC - 0.60BC$$



**Fig 7** Effect of moisture- screw speed on WSI

### 3-5- تأثیر فرمولاسیون متغیرهای اکستروژن بر

#### ارزیابی حسی

پذیرش ظاهر از سوی ارزیابان با افزایش میزان جایگزینی کینوا افزایش و با افزایش رطوبت و سرعت چرخش کاهش یافت. در مورد پذیرش رنگ افزایش سرعت چرخش و رطوبت هر دو باعث افزایش پذیرش رنگ از سوی ارزیابان گردید. در واقع افزایش رطوبت نقش روان کنندگی داشته و اثر دمای اکستروژن را کاهش می دهد که خود منجر به کاهش واکنش های قهوه ای میلارد می گردد [44]. همچنین سرعت چرخش بالاتر با کاهش زمان ماند، کمک به کاهش واکنش های میلارد را دارد و در بهبود رنگ اثرگذار می باشد. در حالی که افزایش درصد جایگزینی کینوا اثر معناداری بر پذیرش رنگ از سوی ارزیابان نداشت. پذیرش بافت با افزایش میزان درصد جایگزینی کینوا و رطوبت از سوی ارزیابان کاهش یافت. در واقع افزایش رطوبت اثر دما را بر ماده در اکستروژن کاهش داده و میزان ژلاتیناسیون نشاسته کاهش می یابد که در نهایت منجر به کاهش انبساط و سختی بافت می گردد. در حالی که با افزایش سرعت چرخش پذیرش بافت نیز افزایش یافت. پذیرش طعم با افزایش میزان درصد جایگزینی کینوا و سرعت چرخش از سوی ارزیابان افزایش ولی پذیرش طعم در رطوبت های پایین تر افزایش یافت. پذیرش کلی شامل تمامی عوامل از جمله، ظاهر محصول، رنگ، بافت و طعم می باشد. لذا در امتیاز دادن مقادیر پذیرش کلی ارزیابان، مجموعه عوامل مختلف مدنظر قرار می گیرد. با توجه به شکل 8 و 9، با افزایش

فرایند تولید میان وعده با درصد جایگزینی کینوا 19% رطوبت 12% و سرعت چرخش 175 دور بر دقیقه تخمین زده شد.

$$+0.14AC -0.41BC -0.55B +2.96 \text{ پذیرش طعم} \\ +0.45A^2 -0.30C^2 \\ -0.59B +0.090C +0.24AC - \\ 0.31BC +0.63A^2 -0.27B^2 -0.27C^2$$

#### 4- نتیجه گیری

با توجه به خصوصیات بافتی و نیز استفاده از مواد طعمی و رنگ‌های جذاب، مصرف میان وعده در بین اقشار مختلف جامعه به‌ویژه کودکان از جاذبه زیادی برخوردار می‌باشد. همچنین با توجه به برخی از آثار سوء تغذیه‌ای بعضی از میان وعده‌های موجود، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آن‌ها وجود دارد. لذا بهبود ارزش تغذیه‌ای فرآورده‌های حجیم می‌تواند نقشی مؤثر در وضعیت تغذیه‌ای و سلامتی جامعه ایفا نماید. در این پژوهش اثر پارامترهای فرایند اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و حسی میان وعده بر کامپوزیت آرد کینوا- گندم سن زده مورد بررسی قرار گرفت.

به‌طور کلی، در آزمایش‌های انجام‌شده روی میان وعده حجیم شده، تأثیر مثبت درصد کینوا جایگزین شده روی ویژگی‌های فیزیکی محصول نمایان است. نتایج به‌طور کلی نشان داد کینوا به‌طور نسبی می‌تواند نسبت انبساط و شاخص جذب آب را کاهش دهد اما همچنین می‌تواند باعث افزایش دانسیته توده، سختی، شاخص حلالیت در آب، پذیرش ظاهر، طعم و پذیرش کلی شود. افزایش میزان رطوبت باعث کاهش در نسبت انبساط گشت در واقع کاهش رشد حباب‌ها افزایش ضخامت دیواره سلولی را در پی داشت که منجر به افزایش شاخص جذب آب و سختی میان وعده گردید. همچنین شاخص حلالیت در آب، پذیرش ظاهر، بافت، طعم و پذیرش کلی کاهش یافت. کاهش رطوبت اثرات مثبتی بر نسبت انبساط، سختی، شاخص حلالیت و ارزیابی حسی داشت. و همچنین افزایش سرعت چرخش منجر به افزایش شاخص حلالیت در آب، پذیرش (رنگ، بافت، طعم) و پذیرش کلی گردید. بهینه‌یابی با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی<sup>8</sup> جستجو شد. این بهینه‌سازی به‌منظور رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب برای کاربرد در فرآورده غذایی می‌باشد. ویژگی‌هایی که در شرایط بهینه مورد توجه قرار گرفت، شامل: بیشینه نسبت انبساط، شاخص جذب آب، پذیرش حسی طعم و پذیرش کلی و کمینه سختی بودند. در نهایت شرایط بهینه

#### 5- منابع

- [1] Flegal, K. M. (2005). Epidemiologic aspects of overweight and obesity in the United States. *Physiology & behavior*, 86(5), 599-602.
- [2] Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A., Glaser, B. K., Lorenz, K. J., & Johnson, D. L. (1993). Composition and protein nutritional quality of quinoa. *Cereal chemistry*, 70, 303-303.
- [3] Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *Food Chemistry*, 120(1), 128-133.
- [4] Dini, I., Tenore, G. C., & Dini, A. (2005). Nutritional and antinutritional composition of Kancolla seeds: an interesting and underexploited andine food plant. *Food Chemistry*, 92(1), 125-132.
- [5] Lario, Y., Sendra, E. (2004). Preparation of highdietary fiber powder from lemon juice by-product. *IFSET*, 5, 113-117.
- [6] RASEKH, M., FIROUZABADI, B., Minaei, S., AFKARI, S. A., & ASGHARI, A. (2007). Comparison of Some of Physical and Mechanical Properties of Sound and Sunn Pest-damaged Wheat Kernel of Salary Variety (for Identification).
- [7] Afsarian M, 2006. The effect of moisture stress and cultivar on the population of some important autumn wheat crops in Isfahan, Master thesis in Entomology, agriculture faculty, Isfahan University of Technology.
- [8] Talayi Hasanlouyi, R. (1999). Plantpotology department, Agriculture faculty, university of Tehran
- [9] Kiyoumars M, Kadivar M, Zarei R, Talebi M. 2016. Investigation the qualitative, functional and activating properties of sunnibug wheat, *Quarterly Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology* 5(4). [https://www.civica.com/Paper-JR\\_JRIFST-JR\\_JRIFST-5-4\\_006.html](https://www.civica.com/Paper-JR_JRIFST-JR_JRIFST-5-4_006.html)

8. Numerical optimization

- [21] Hashimoto, J. M., & Grossmann, M. V. E. (2003). Effects of extrusion conditions on quality of cassava bran/cassava starch extrudates. *International journal of food science & technology*, 38(5), 511-517.
- [22] Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.
- [23] 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. *Journal of food engineering*, 73(2), 142-148.
- [24] Alvarez-Martinez, L., Kondury, K. P., & Harper, J. M. (1988). A general model for expansion of extruded products. *Journal of Food Science*, 53(2), 609-615.
- [25] Liu, Y., Hsieh, E., Heymann, H., & Huff, H. E. 2000. Effect of process conditions on the physical and sensory properties of extruded oat-corn puff. *Journal of Food Science*, 65(7): 1253-1259.
- [26] Fiyouzi B, Varidi M, Milani E, SHahidi F, Hadad khoda parast M. 2018. Optimization of formulation variables and extrusion process conditions of snack product containing baneh meal flour. *Journal of Research and Innovation in Food Science and Technology*, 7(1), 29-48, Doi: 10.22101/JRIFST.2018.05.19.713.
- [27] Kharat, S., Medina-meza, I. G., Kowalski, R. J., Hosamani, A., Ramachandra, C. T., Hiregoudar, S., & Ganjyal, G. M. (2018). SC. Food and Bioproducts Processing. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.07.002>.
- [28] Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. 2008. Evaluation of snack foods from barley-tomato pomace blends by extrusion processing. *Journal of Food Engineering*, 84(2): 231-242.
- [29] Yağcı, S., & Göğüş, F. (2009). Effect of incorporation of various food by-products on some nutritional properties of rice-based extruded foods. *Food Science and Technology International*, 15(6), 571-581.
- [30] Li, S. Q., Zhang, H. Q., Tony Jin, Z., & Hsieh, F. H. (2005). Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed and soya bean concentration. *International journal of food science & technology*, 40(7), 731-741.
- [31] Ehsanpour A, Arab L, Haji-Hashemi SH, Riahi M. 2012. Comparison of electrophoresis
- [10] Diaz, J. M. R., Kirjoranta, S., Tenitz, S., Penttilä, P. A., Serimaa, R., Lampi, A. M., & Jouppila, K. (2013). Use of amaranth, quinoa and kañiwa in extruded corn-based snacks. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 59-67.
- [11] Taverna, L. G., Leonel, M., & Mischán, M. M. (2012). Changes in physical properties of extruded sour cassava starch and quinoa flour blend snacks. *Food Science and Technology*, 32(4), 826-834.
- [12] Ramos Diaz, J. M., Sundarrajan, L., Kariluoto, S., Lampi, A. M., Tenitz, S., & Jouppila, K. (2017). Effect of Extrusion Cooking on Physical Properties and Chemical Composition of Corn-Based Snacks Containing Amaranth and Quinoa: Application of Partial Least Squares Regression. *Journal of Food Process Engineering*, 40(1), e12320.
- [13] William, H. and George, W.L., 2000. Official methods of analysis of AOAC international. USA, AOAC International Suite, 500: 481.
- [14] Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of food composition and analysis*, 5(1), 35-68.
- [15] Harper, J.M. 1981. *Extrusion of Foods*. Florida: CRC Press.
- [16] Bourne, M.C. 2002. *Food Texture and Viscosity: Concept and measurement*. Academic Press, 2th ed. New York, 50-70.
- [17] Rathod, R.P. and Annapure, U.S. 2016. Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT-Food Science and Technology*, 66: 114-123.
- [18] Asare, E.K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., & Afoakwa, E. O. 2004. Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice-cowpea-groundnut blends. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55: 431-439.
- [19] Coulter, L. A., & Lorenz, K. (1991). Extruded corn grits—quinoa blends: II. Physical characteristics of extruded products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 15(4), 243-259.
- [20] Rinaldi, V. E. A., Ng, P. K. W., & Bennink, M. R. (2000). Effects of extrusion on dietary fiber and isoflavone contents of wheat extrudates enriched with wet okara. *Cereal Chemistry*, 77(2), 237-240.

- extruded snacks using taro (*Colocasia esculenta*) and nixtamalized maize (*Zea mays*) flour blends. *LWT - Food Science and Technology*, 44:673–680.
- [39] Oikonomou, N.A. and Krokida, M.K. 2012. Water absorption index and water solubility index prediction for extruded food products. *International Journal of Food Properties*, 15(1): 157-168.
- [40] Akbarzadeh N. 2016. Evaluation effect of extrusion variables on physicochemical, functional & sensory properties of extrudate khollar (*Lathyrus sativus*) and extrudate's flour. Master thesis, agriculture faculty, Ferdowsi University of Mashhad.
- [41] Gomez, M. H., & Aguilera, J. M. (1983). Changes in the starch fraction during extrusion-cooking corn. *Journal of Food Science*, 48(2), 378-381.
- [42] Lazou, A. and Krokida, M., 2010. Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3): 392-408.
- [43] Mezreb, K., Goullieux, A., Ralainirina, R. & Queneudec, M. 2003. Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *Journal of Food Engineering*, 57: 145–152.
- [44] Lazou, A., Krokida, M., Zogzas, N., and Karathanos, V. 2011. Lentil-based snacks: Structural and textural evaluation. *Procedia Food Science*, 1: 1593–1600.
- patterns of prolamins, glutelins, globulins and albumins proteins of flour seed rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. 4(12), 29-36.
- [32] Ilo, S., Liu, Y., & Berghofer, E. (1999). Extrusion cooking of rice flour and amaranth blends. *LWT-Food Science and Technology*, 32(2), 79-88.
- [33] Yuliani, S., Torley, P. J., Arcy, B. D. O., Nicholson, T., & Bhandari, B. 2006. Extrusion of mixtures of starch and D - limonene encapsulated with b-cyclodextrin: Flavour retention and physical properties. *Food Research International*, 39: 318–331.
- [34] Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 916-929.
- [35] Ding, Q.-B., Ainsworth, P. Plonkell, A. Tucker, G. and Marson, H. 2005. The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 66:283-289.
- [36] Wu, W., Huff, H. E., & Hsieh, F. (2007). Processing and properties of extruded flaxseed-corn puff. *Journal of food processing and preservation*, 31(2), 211-226.
- [37] Robin, F., Théoduloz, C., & Srichuwong, S. (2015). Properties of extruded whole grain cereals and pseudocereals flours. *International journal of food science & technology*, 50(10), 2152-2159.
- [38] Rodríguez-miranda, J., Ruiz-lópez, I. I., Herman-lara, E., Martínez-sánchez, C. E., & Delgado-licon, E. 2011. Development of

## Investigating the effect of formulation variables and extrusion conditions of suni-bug (*Eurygaster* spp.) damaged wheat-quinoa composite flour in snack formulation

Ghiafe Shirzadi, A. <sup>1</sup>, Varidi, M. J. <sup>2\*</sup>, Milani, E. <sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

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

3. Assistant Professor, Institute of Food Science and Technology, Central Organization of Academic Jihad, Mashhad, Iran.

(Received: 2020/04/21 Accepted: 2020/06/29)

Snacks have become a significant part of the diet of many people, especially children. These snacks have many fans due to their attractive objects and colors, high durability and relatively low cost. Most of them are made from cereals, and the main problem with these snacks is insufficient nutrients, which have a negative effect on health and increase obesity in people, especially children. Using quinoa grain in products, it creates diversity in current products and also increases the nutritional value of snack. On the other hand, today, attention has been paid to the re-use of by-product in the food industry and the rate of agriculture inputs, and returning these products to the production cycle will increase the value added. One of these by-product is suni bug damaged wheat, which is used not used in the cooking industry due to the damage of the gluten network and is consumed by livestock feed. In this study, the effect of the independent variables included the percentage of addition of quinoa (0.25%, 50%), moisture content (12, 15, 18%), the screw speed (120,160,200 rpm) was in the form of a central composite design. The influence of the independent variables on some physical and functional properties was investigated, including expansion ratio, hardness, water absorption index, water solubility index, sensory evaluation. The results showed that with increasing quinoa up to 50%, increased the hardness (4.72-11.57N), water solubility index (21-28.4) and overall acceptability of the extruded product, and also decreased the ratio of expansion (3.77-2.86), water absorption index (5.39-5.05) and sensory acceptability of the texture. Sensory evaluation results showed that 12% humidity conditions, 175rpm screw speed and quinoa addition levels (19%) in the suni- bug wheat were suitable for snack production and had the highest overall acceptability.

**Keyword:** Extruded Snacks, Quinoa, Suni -Bug wheat, Functional Properties, Extrusion

---

\* Corresponding Author E-Mail address: mjvaridi@um.ac.ir