

(Original Research Paper)

Puffed Snack Based on Whole Oleaster Powder and Navy Bean Powder, Evaluation of Structural and Functional Characteristics Affected by Extrusion Conditions

Samaneh Gazerani¹, Seyyed Ali Mortazavi¹, Elnaz Milani^{2*}, Amir Hosein Elhami Rad¹, Arash Koochaki³

1-Department of Food Science and Technology, Sabzevar Branch, Islamic Azad University, Sabzevar, Iran.

2-Department of Food Processing, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.

3- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

Received:21/08/2022

Accepted:16/10/2022

DOI: [10.71810/jfst.2024.1004746](https://doi.org/10.71810/jfst.2024.1004746)

Abstract

The entry of legume flour in formulations of food products is increasing these days due to its health and nutritional properties. The whole oleaster flour /navy bean flour blends were extruded in a rotating twin-screw extruder. Processing parameters of feed including screw speed (150-250 rpm), moisture content (15-25%) and defatted whole oleaster flour / whole navy bean flour (20:80-50:50) were optimized for physical and textural properties of blend extrude samples. The experimental design was based on a combined design. Results indicated that; by overage screw speed, and feed moisture and reducing the level of whole oleaster powder, starch gelatinization improves and macro structural characteristics (porosity, hardness and expansion ratio), microstructural features (SEM), functional properties (water absorption, oil absorption index) indicated greater compliance; however a negative effect was observed on water solubility index. Also, the results of the electron microscope images showed that with the increase of whole oleaster powder/navy bean powder, the diameter of the holes in the extruded sample will decrease and the number of holes will increase, as a result, the hardness of the samples will increase. According to optimization results, in order to achieve a product with the characteristic of 3.25 expansion ratio, hardness of 8.92(N), water absorption index of 2.1, solubility in water index of 25.18, oil absorption index 0.5, and the overall acceptability of 4.62, production conditions were determined as follows: moisture content 20%, screw speed 200 (rpm) and whole oleaster powder/navy bean powder ratio 20-80.

Keywords: Extrusion, Whole Oleaster Flour, Navy Bean Flour, Puffed Snacks.

*Corresponding Author: e.milani@jdm.ac.ir

(مقاله پژوهشی)

میان وعده حجیم بر پایه آرد کامل سنجد و لوبیا ارزیابی ویژگی ساختاری و عملکردی متاثر از شرایط اکستروژن

سمانه گازرانی^۱، سید علی مرتضوی^۱، الناز میلانی^{۲*}، امیر حسین الهامی راد^۱، آرش کوچکی^۳

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد سبزوار، دانشگاه آزاد اسلامی، سبزوار، ایران.

۲- پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

۳- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰

DOI:10.71810/jfst.2024.1004746

چکیده

ورود آرد حبوبات در فرمولاسیون فرآورده های غذایی به دلیل خواص سلامت بخش و تغذیه ای روز به روز در حال گسترش است. در این بررسی هدف بهینه سازی فرایند پخت اکستروژن و فرمولاسیون فراورده بافت داده شده بر پایه سنجد و لوبیا است. آزمایش در قالب طرح ترکیبی و تحت شرایط سرعت چرخش مارپیچ ۱۵۰-۲۵۰ دور بر دقیقه، رطوبت ۱۵-۲۵ درصد و نسبت آرد سنجد-بلغور لوبیا ۵۰:۵۰-۸۰:۲۰ انجام گردید. نتایج نشان داد؛ با افزایش سرعت چرخش مارپیچ، رطوبت متوسط و کاهش سطح آرد سنجد کامل، ژلاتینه شدن نشاسته بهبود یافته و ویژگی های ماکروساختار (تخلخل، سختی و ضریب انبساط)، میکروساختار (تصاویر میکروسکوپ الکترونی سطح مقطع و پردازش تصویر) ویژگی عملکردی (جذب آب و روغن) مطلوبیت بیشتری خواهد داشت، با این حال باعث کاهش میزان حلالیت در آب گردید. همچنین نتایج تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان دهنده این بود که با افزایش آرد سنجد-لوبیا از قطر حفرات نمونه اکستروژن شده کاسته خواهد شد و تعداد حفرات افزایش می یابد در نتیجه سختی نمونه ها بیشتر می گردد. مطابق نتایج بهینه سازی جهت دستیابی به فراورده ای با دارا بودن مقادیر بیشینه نسبت انبساط شوندگی ۳/۲۵، اندیس جذب آب ۲/۱، اندیس جذب روغن ۵/۲ و میزان پذیرش کلی ۴/۶۲ و کمینه میزان سختی (N) ۸/۹۲، شرایط بهینه فرآیند شامل رطوبت ۲۰ درصد، سرعت مارپیچ ۲۰۰ دور بر دقیقه و میزان آرد سنجد ۲۰ درصد تعیین گردید. بنابراین در صنعت تهیه اسنک میتوان از درصد سنجد ذکر شده نیز استفاده کرد.

واژه های کلیدی: آرد سنجد کامل، اکستروژن، آرد لوبیا و اسنک حجیم شده.

۱- مقدمه

کمبود مواد غذایی به خصوص مواد پروتئینی یکی از چالش های اصلی در بسیاری از کشورهای جهان به شمار می آید. حیوانات با داشتن محتوای پروتئینی به نسبت بالا تا حدودی کمبود پروتئین حیوانی را جبران می کنند. با این حال حیوانات در بسیاری از مناطق دنیا به دلایلی از جمله زمان بر بودن پخت و هم چنین وجود ترکیبات ضد تغذیه ای و نفاخ در آن ها کم تر مورد استفاده قرار می گیرند (۶، ۱۱). این دسته از مواد غذایی دارای ترکیبات زیست فعال می باشند (۷) که دارای اثرات سلامتی بخش هستند، هم چنین دارای مقادیر بالایی از پروتئین، فیبرهای رژیمی، کمپلکس های کربوهیدراتی و ایزوفلاوون ها نیز می باشند و مقادیر چربی و سدیم آن ها پایین است (۸). غلات که در سبد غذایی خانواده ها بیش از حیوانات مورد استفاده قرار می گیرند، از نظر اسیدهای آمینه ضروری به ویژه لیزین کمبود دارند، در حالی که پروتئین انواع حیوانات حاوی مقدار کافی از لیزین می باشد (۹) همچنین مصرف حیوانات منجر به کاهش ریسک ابتلا به بیماری های قلبی- عروقی، دیابت و سرطان های مربوط به دستگاه گوارش می شود (۱۰). سنجد^۱ میوه بومی ایران می باشد. مقادیر بالای مواد مغذی در آرد سنجد بیانگر آن است که، این ماده غذایی منبعی غنی از فیبرهای رژیمی، عناصر معدنی کم مقدار و اسیدهای چرب ارگانیک است (۴۵). حلالیت آبی و ظرفیت جذب این آرد نیز چشمگیر می باشد. همچنین این آرد بر روی اثر امولسیون کنندگی آلبومین نیز تاثیر بسزایی دارد. بنابراین برای تولید فراورده ای نظیر فراورده لبنی رژیمی، فراورده های غلات و قنادی و نوشیدنی ها مناسب است (۴۴). در حال حاضر استفاده از فرآیند اکستروژن در تولید غذاهای آماده مصرف جایگاه خاصی دارد چون ضمن اینکه این روش تولید دارای ظرفیت و توان بالایی تولید است و از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه می باشد، محصول تولیدی حجیم شده دارای ویژگی آماده سازی سریع است (۱۴). اکستروژن

در واقع جزء فرآیندهای HTST^۲ (دما بالا و زمان کوتاه) می باشند، این ویژگی در خصوص غذاهای مستعد فساد یک مزیت محسوب شده و زمان کوتاه اعمال حرارت باعث محدودیت در دناتوراسیون ناخواسته اجزای غذایی نظیر پروتئین ها، آمینواسیدها، ویتامین ها، نشاسته ها و آنزیم ها می گردد (۱۲، ۵۳). تاکنون محققین بسیاری بر روی استفاده از فرآیند اکستروژن در تولید محصولات فراسودمند با ارزش تغذیه ای بالا و بهبود خواص کاربردی آن کار کرده اند و تمامی آن ها نشان دهنده این بودند که با استفاده از فرآیند اکستروژن خواص تغذیه ای و کاربردی محصول تولیدی افزایش می یابد. بررسی های محققین دیگر بر روی دانه خلر، سورگوم، کنجاله بنه، کنجاله بادام و سبوس گندم و نشاسته ذرت که همگی محصولاتی با فیبر تقریباً بالایی بودند نیز مبین این موضوع است (۱، ۲، ۴، ۵، ۴۶). بنا بر بررسی های انجام شده زمانی که از آرد حیوانات اصلاح شده با فرآیند اکستروژن استفاده می شود، خصوصیات عملکردی فرآورده کیک بدون گلوتن نظیر، قابلیت جذب آب، حلالیت پذیری در آب، قطر و حجم فرآورده نهایی بالا می رود. از طرفی آرد لوبیا اصلاح شده در حین فرآیند اکستروژن طعم لوبیایی خود را از دست داده و از نظر حسی برای مصرف کننده نیز قابل قبول می باشد (۵۱). همچنین فرآیند اکستروژن باعث بهبود میزان فیبر محلول و کاهش میزان قندهایی نظیر رافینوز و استاکیوز می گردد (۱۵). این رو می توان گفت از آن جایی که نان حاصل از آرد گندم یکی از وعده های اصلی غذایی مردم کشور ما می باشد و تنوع غذایی بخصوص نان برای بیماران سلیاکی و دیابتی در کشور ما کم است، استفاده توأم از آرد لوبیا به همراه آرد اصلاح شده سنجد که در این بررسی مورد توجه قرار گرفت، میتواند منجر به تولید نان بدون گلوتنی گردد که، علاوه بر خواص تغذیه ای و کاربردی بالا، برای بیماران سلیاکی و دیابتی هم مناسب می باشد. همچنین با توجه به بررسی های انجام شده بر روی منابع میتوان دید که تاکنون بررسی بر روی استفاده از سنجد که یک گیاه بومی

اندیس حلالیت در آب، تصاویر میکروسکوپ الکترونی و پذیرش کلی میان وعده حجیم مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- آماده سازی ماده اولیه

دانه لوبیا و سنجد کامل به طور جداگانه به وسیله آسیاب آزمایشگاهی مدل Polymix Px-MCF90D، آسیاب گردید. به منظور دانه بندی یکنواخت، هر دو آرد آسیاب شده، از الک با مش ۷۰ عبور داده شدند. برای اندازه گیری رطوبت، خاکستر، چربی، پروتئین، فیبر، لوبیا و سنجد از روش استاندارد AOAC استفاده گردید (۱۳)(جدول ۱).

ایران است و لوبیا سفید انجام نشده است. این استفاده توام یک گیاه بومی ایران و غنی سازی آن با حبوبات که امروزه بسیار مورد توجه است (۵۱) در اسنک ها و آرد نان های مصرفی می تواند به بهبود خواص تغذیه ای خوراک روزانه مصرف کنندگان کمک شایانی بنماید. بدین منظور در پژوهش حاضر، به کمک طرح ترکیبی اثر متغیر فرمولاسیون (سطوح مختلف نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا سفید) و متغیرهای فرایند شامل سطوح رطوبت خوراک ورودی و سرعت چرخش ماریپیچ بر میزان ضریب انبساط، تخلخل، اندیس جذب آب، اندیس جذب روغن،

جدول ۱ ترکیبات شیمیایی مواد اولیه (آرد سنجد کامل و آرد لوبیا سفید) محصول بافت داده و حجیم (100g)

ترکیب ماده غذایی	فیبر	قند	رطوبت	خاکستر	کربوهیدرات	پروتئین	چربی
آرد سنجد کامل	۲۰/۳	۴۶/۵	۱۲/۸	۱/۴	۵۸/۴	۵/۶	۱/۵
آرد لوبیا سفید	۲۲/۴	۴/۱	۶/۲	۱/۲	۴۸/۷	۲۰/۳	۱/۲

نتایج میانگین سه تکرار می باشند.

۲-۲- آماده سازی فرمولاسیون خوراک اولیه

با استفاده از آزمایشات مقدماتی مقادیر کمینه و بیشینه برای هریک از ۳ متغیر (نسبت آرد سنجد : آرد لوبیا (OF:BF)، سرعت چرخش ماریپیچ و رطوبت خوراک

جدول ۲- مقادیر بیشینه و کمینه متغیرهای فاز اول

متغیرها	مقادیر کمینه (w/w)%	مقادیر بیشینه (w/w)%
نسبت (OF:BF)	۲۰:۸۰	۵۰:۵۰
سرعت چرخش ماریپیچ (دور بر دقیقه)	۱۲۰	۲۲۰
رطوبت (%)	۱۵	۲۵

مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۷۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ مایع رویی به درون پلیت انتقال داده شد و ژل باقی مانده توزین و خصوصیت جذب آب به وسیله فرمول ۲ اندازه گیری گردید.

(فرمول ۲)

$$WAI = \frac{mg}{ms}$$

m_g : وزن ژل باقی مانده (گرم)

m_s : وزن نمونه (گرم)

برای اندازه گیری محلولیت در آب، مایع رویی را که پس از سانتریفیوژ به درون پلیت که وزن شده انتقال دادیم به درون آون هوای داغ برده شد تا بخار شده و مقدار ماده خشک باقی مانده را توزین شود. به وسیله فرمول ۳ محلولیت در آب محاسبه گردید.

(فرمول ۳)

$$WAI = \frac{m_{ds}}{ms} * 100$$

m_{ds} : وزن ماده خشک حاصل از آون گذاری مایع رویی

پس از سانتریفیوژ (گرم)

m_s : وزن نمونه (گرم)

۲-۷- اندیس جذب روغن (OAI^2)

۵/۵ گرم محصول آرد شده را درون فالکون ۱۵ میلی لیتری که قبلاً وزن شده انتقال داده و سپس ۳ میلی لیتر روغن ذرت تصفیه شده به آن اضافه گردید و به مدت ۱ دقیقه با ورتکس آن را هم زده و ۳۰ دقیقه آن را به حال خود گذاشته و در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت ۷۰۰ سانتریفیوژ گردید. جذب روغن توسط فرمول ۴ محاسبه شد.

(فرمول ۴)

$$OAI = \frac{V_{oil}}{ms}$$

V_{oil} : حجم روغن جذب شده بر حسب میلی لیتر

ms : وزن نمونه بر حسب گرم

در این پژوهش از اکسترودر دو مارپیچ با چرخش هم جهت استفاده شد. سپس با افزودن آب مقطر به ترکیب آرد لوبیا و سنجد رطوبت تنظیم گردید و برای کاهش کلوخه های تشکیل شده، پس از افزودن آب، آرد از الک عبور داده شد. متغیرهای فرآیند اکستروژن شامل سرعت چرخش مارپیچ، رطوبت و نسبت لوبیا به سنجد با درجه حرارت منطقه سوم پوسته اکسترودر (۱۰۰ درجه سانتیگراد) بود. سرعت ورود خوراک ثابت و برابر ۱۴/۵ کیلوگرم بر ساعت تعیین گردید. نمونه ها پس از خروج از اکسترودر در آون ۴۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به رطوبت ۶٪ خشک شدند.

۲-۳- ضریب انبساط

میزان انبساط از تقسیم قطر فراورده های حجیم شده به قطر روزنه خروجی اکسترودر تعیین گردید. از هر تیمار به صورت تصادفی ۱۰ نمونه انتخاب گردید و میانگین آنها گزارش شد.

۲-۴- دانسیته ی توده ای

دانسیته اسنک با روش جابجایی با دانه های ارزن طبق روش استاندارد AACC2000 انجام شد.

۲-۵- تخلخل

تخلخل به وسیله روش اوشی و همکاران (۳۶) مطابق فرمول زیر محاسبه گردید.

فرمول (۱)

$$Porosity = \frac{Bulk\ Volume - Apparent\ Volum}{Bulk\ Volum}$$

۲-۶- اندیس جذب آب (WAI^1) و محلولیت در آب (WSI^2)

۵/۵ گرم از محصول آرد شده درون لوله فالکون ۱۵ میلی لیتری که قبلاً وزن شده ریخته شد. سپس ۵ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه با ورتکس مدل Biosan MSV-3500 هم زده شد و در ادامه به

۲-۸- سختی

پس از انجام تنظیمات دستگاه تجزیه کننده بافت ۱ مدل (AMETEK Lloyd, TA-Plus instruments Ltd, USA)، از هر تیمار ۱۰ عدد نمونه (از هر سه فاز آزمایش) به طور کاملاً تصادفی انتخاب شده و روی محل مربوطه قرار گرفتند. پس از فرو رفتن پروب استوانه‌ای دستگاه به قطر ۲ میلی‌متر و عمق نفوذ ۸ میلی‌متر به میزان عدد داده شده به دستگاه و رسم نمودار، نمونه از دستگاه جدا و نمونه‌ی بعدی گذاشته شد. نتیجه آزمون، میانگین ۱۰ تکرار بود و در نهایت ماکزیمم نیروی وارد شده توسط دستگاه به عنوان میزان سختی اعلام گردید (۲۱).

۲-۹- تعیین ویژگیهای ریزساختاری محصول

نمونه‌ها ابتدا توسط تیغ جراحی برش داده شده و سپس با استفاده از دستگاه پوشش دهنده توسط طلا-پالادیوم به مدت ۲۴۰ ثانیه در حالت سایه، پوشش دهی شدند. سپس نمونه‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با وضوح ۲/۵ نانومتر و حداکثر ولتاژ ۳۵ کیلوولت در بزرگ نمایی‌های مختلف بررسی گردیدند (۳۵).

۲-۱۰- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی به وسیله ۱۰ پانلیست انجام شد. خصوصیات حسی شامل رنگ، بافت، طعم، تردی و پذیرش کلی براساس مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. عدد ۱ به معنای عدم پسندیدن و عدد ۵ به معنای پسندیدن کامل است (۵).

۲-۱۱- آنالیز و تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ (RSM) و طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم افزار Design Expert 6.0.2 انجام شد. متغیرهای مستقل شامل رطوبت ورودی ۱۵-۲۵٪، سرعت چرخش مارپیچ ۱۲۰-۲۲۰ دور بر دقیقه و درصد لوبیا به سنجد (۲۰-۸۰٪)، ۳۵-۶۵٪، ۵۰-۵۰٪ بودند که در جدول ۳ آمده است. تعداد ۲۰ تیمار در این طرح مد نظر قرار گرفت که از این بین شش تیمار شامل تکرار در نقطه مرکزی، به منظور تعیین خطای آزمایش انتخاب گردید.

جدول ۳- تیمارها و مقادیر متغیرهای مستقل فرایند اکستروژن در فاز اول

تیمار	رطوبت خوراک اولیه (%)	سرعت چرخش مارپیچ (دور بر دقیقه)	آرد لوبیا / آرد سنجد (%)
۱	۲۵	۱۵۰	۵۰:۵۰
۲	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۳	۱۵	۱۵۰	۲۰:۸۰
۴	۱۵	۲۰۰	۳۵:۶۵
۵	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۶	۱۵	۲۵۰	۲۰:۸۰
۷	۲۵	۲۵۰	۲۰:۸۰
۸	۲۵	۲۰۰	۳۵:۶۵
۹	۲۰	۲۵۰	۳۵:۶۵
۱۰	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۱۱	۲۵	۲۵۰	۵۰:۵۰
۱۲	۱۵	۱۵۰	۵۰:۵۰
۱۳	۲۰	۱۵۰	۳۵:۶۵
۱۴	۲۰	۲۰۰	۵۰:۵۰
۱۵	۲۵	۱۵۰	۲۰:۸۰
۱۶	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۱۷	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۱۸	۲۰	۲۰۰	۲۰:۸۰
۱۹	۲۰	۲۰۰	۳۵:۶۵
۲۰	۱۵	۲۵۰	۵۰:۵۰

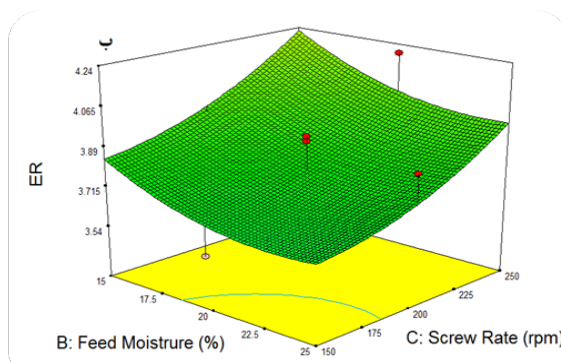
۳- نتایج و بحث

۳-۱- تأثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی ضریب انبساط شوندگی

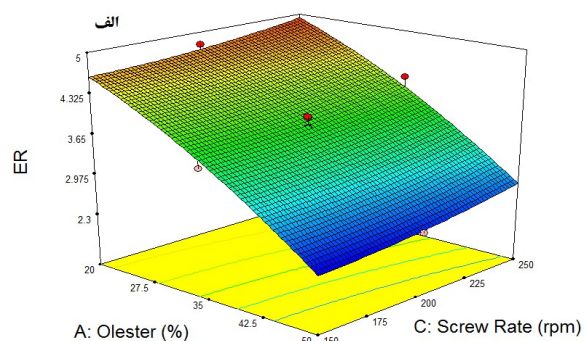
ضریب انبساط سطح مقطع عرضی فراورده های اکستروژن شده را توصیف می نماید، ایجاد ساختار متخلخل و اسفنجی در هنگام خروج خمیر از دای به علت آزاد شدن یک باره بخار آب است. مدل منتخب توسط نرم افزار design expert مدل درجه دوم بود. ضریب انبساط اندازه گیری شده بین ۲/۴۳ تا ۵/۱ بود. همان طور که مشخص است عبارت های معنی دار مدل شامل آرد سنجد کامل، میزان رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ و همچنین اثر متقابل آرد سنجد کامل و رطوبت و رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ بودند ($P < 0.05$). آزمون عدم قطعیت برازش مدل

بیانگر عدم معنی داری آن بود. همان گونه که در شکل ۱ الف مشاهده می گردد، افزایش سطح آرد سنجد کامل (۲۰ تا ۵۰٪) منجر به کاهش چشمگیری در فاکتور ضریب انبساط می گردد. آرد کامل سنجد کامل محتوی فیبر و قند بالا می باشد (۴۵). افزایش میزان فیبر و قند معمولاً به منزله کاهش مقدار نشاسته، درصد ژلاتیناسیون و کاهش قابلیت تورم آن می باشد. فیبر نامحلول دارای خواص هیدروفلیک است که باعث جذب بیشتر آب می شود از این رو موجب تغییر درجه حرارت انتقال شیشه ای در گدازه خواهد شد. فیبر نامحلول طی اتصال با حباب ها موجب ترکیدن و کاهش کشش پذیری سلول های هوایی می گردد (۳۶، ۵۷). این یافته ها با یافته های فیوضی و همکاران ۱۳۹۷ بر روی کنجاله بیه که نشان دادند با افزایش میزان نسبت

پودر جو- آرد جو، آرد ذرت خرچنگ و آرد ماهی- آرد ذرت توسط محققین دیگر گزارش شده است (۳۷، ۳۰، ۸). همچنین کاهش رطوبت منجر به افزایش ضریب انبساط در محصول می‌شود. رطوبت موجود به عنوان روانساز عمل کرده در نتیجه با افزایش رطوبت دمای خمیر کاهش می‌یابد و ویسکوزیته خمیر افزایش می‌یابد و مجموعه این عوامل به انجام ژلاتینه شدن بهتر نشاسته کمک می‌کنند، در نهایت محصول تولیدی ساختار متخلخل و بافت حجیم شده‌ای دارد (۲، ۱۷، ۵۷، ۴۸).



کنجاله به دلیل افزایش فیبر کاهش ضریب انبساط رخ می‌دهد نیز، مطابقت دارد (۳). در شکل ۱ ب اثر هم زمان دو متغیر سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت بر ضریب انبساط نشان داده شده است. همانگونه که در شکل مشاهده می‌گردد سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت اثر متضادی بر فاکتور نسبت انبساط شونده‌گی داشته‌اند. افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش تنش برشی شده و کاهش ویسکوزیته و الاستیسیته خمیر را به دنبال دارد در نتیجه رشد حباب‌های هوا زیادتر شده که نهایتاً به افزایش انبساط فرآورده می‌انجامد. نتایج مشابه برای محصولاتی بر پایه



شکل ۱- نمودار سطح پاسخ "ضریب انبساط" تحت اثر متقابل الف) سرعت چرخش مارپیچ و نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا ب) سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه

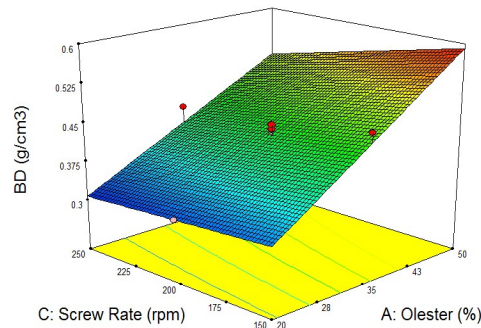
سنجد کامل و سرعت چرخش مارپیچ نمایش داده شده است. بر این اساس کاهش نسبت آرد کامل سنجد و افزایش سرعت چرخش مارپیچ اثر قابل توجهی بر کاهش دانسیته محصول داشت. طوری که کمترین دانسیته به نمونه حاوی ۲۰٪ آرد سنجد کامل و سرعت چرخش ۲۵۰ تعلق داشت. آرد سنجد کامل و آرد لوبیا حاوی فیبر بالا می‌باشد. فیبرهای نامحلول به دلیل اینکه خاصیت هیدروفیلی دارند آب زیادی جذب می‌کنند باعث کاهش الاستیسیته و کاهش ویسکوزیته خمیر می‌شوند (۴۸)، در ضمن فیبرها باعث پاره شدن دیواره‌های سلولی حباب‌ها شده، در سیستم شکل‌گیری حباب‌ها نیز اختلال ایجاد می‌کنند (۳۶، ۵۸، ۶۰). در نتیجه ساختار محصول متراکم‌تر و دانسیته بالاتری داشت. گزارشات 2013, Potter در تولید اسنک رژیمی ویژه کودکان با پودر میوه خشک شده و -Dehghan

۳-۲- تأثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی دانسیته توده

دانسیته توده نشان دهنده افزایش حجم در تمامی ابعاد فراورده اکستروژن شده می‌باشد، دانسیته توده با ضریب انبساط رابطه معکوس دارد. در محصولات حجیم دانسیته پایین همراه با نسبت انبساط بالا از ویژگی‌های مطلوب می‌باشد (۳، ۶۱). مدل منتخب توسط نرم افزار design expert مدل چند جمله‌ای بود. میزان دانسیته محاسبه شده بین 0.291 g/cm^3 تا 0.591 g/cm^3 بود. همان طور که مشخص است عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ و همچنین اثر متقابل آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ بودند. آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. در شکل ۲ اثر متقابل آرد

۶۰). همچنین افزایش سرعت چرخش مارپیچ بر درجه پر بودن و زمان ماند گدازه در پوسته، تجزیه شبکه آمیلوپکتین در آرد لوبیا و تغییر ویژگی‌های رئولوژیکی گدازه تاثیر گذار است. از اینرو تاثیر بسزایی بر الاستیسیته و متعاقبا دانسیته و انبساط فرآورده دارد (۴۲).

Shoar, 2010 در مورد محصولات غنی از فیبر بر پایه پودر گوجه فرنگی موید این قضیه است (۴۱، ۱۹). افزایش سرعت چرخش مارپیچ منجر به کاهش ویسکوزیته گدازه در حال اختلاط و افزایش الاستیسیته خمیر گردد که نهایتا منجر به کاهش دانسیته فرآورده اکستروژن می‌شود (۲۱، ۵۷،



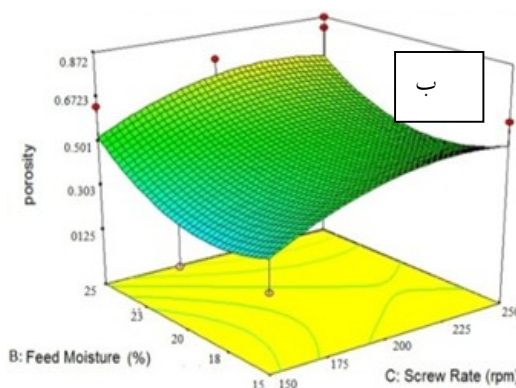
شکل ۲- نمودار سطح پاسخ "دانسیته توده" تحت اثر متقابل نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ

می‌یابد. این فرآیند باعث می‌گردد که ویسکوزیته افزایش یابد و کاهش رشد حباب را داشته باشیم (۳۹). هم چنین افزایش رطوبت باعث می‌شود که حضور آب در معرض دسترس افزایش یافته و در نتیجه باعث می‌شود که حباب کوچکتر و بیشتری شکل بگیرد و بافت محصول نیز متخلخل تر گردد (۵). این موضوع در بررسی محققینی چون یاگچی و گوگر (۱۲ تا ۱۸٪)، ماجومدار و سینگ (۱۸٪ تا ۲۱٪) و میلانی و همکاران (۱۴ تا ۱۶٪) مورد توجه قرار گرفت (۴، ۳۰، ۶۰). از سوی دیگر، با افزایش سرعت چرخش مارپیچ شاهد افزایش میزان تخلخل هستیم. در تحقیقی که بر روی کنجاله بادام و بلغور ذرت نیز انجام شده بود محققین نشان دادند که افزایش سرعت چرخش هلیس باعث افزایش تخلخل می‌گردد (۴). به طور کلی افزایش سرعت چرخش هلیس به دلیل شوک حرارتی و افزایش تنش برشی اعمال شده بر گدازه در حال اکستروژن، سبب تاثیر نامحسوس رطوبت بر تخلخل می‌گردد (۳۶). از آن جایی که افزایش سرعت چرخش هلیس بیشتر از افزایش رطوبت می‌باشد، افزایش تخلخل را بر اساس آن چه که در شکل می‌بینیم داریم. همچنین افزایش تخلخل با افزایش میزان رطوبت توسط محققینی چون ماژومدار و سینگ (۲۰۱۴) (افزایش رطوبت ۱۸ تا ۲۲٪)

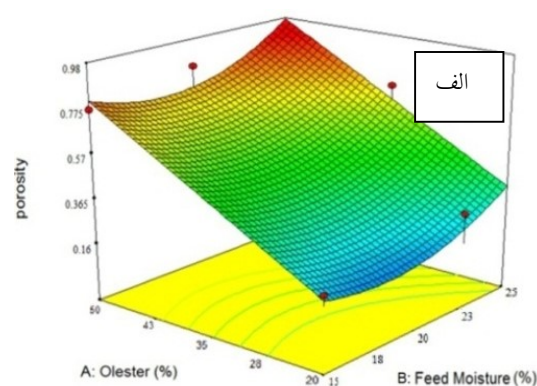
۳-۳- تاثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی تخلخل

یکی از روش‌های پایش ساختار اسفنجی و توصیف ویژگی‌های انبساطی فراورده‌های حجیم اندازه‌گیری تخلخل این فراورده‌ها می‌باشد (۵۶، ۵۷). انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار design expert در جدول شماره ۵ نشان داده شده است ($p < 0.05$). بر اساس نتایج آنالیز واریانس این جدول همان طور که مشخص است عبارت‌های معنی دار مدل شامل میزان آرد سنجد کامل ($p < 0.05$)، رطوبت و سرعت مارپیچ ($p < 0.01$) و همچنین اثر متقابل‌های میزان رطوبت - سرعت چرخش مارپیچ و میزان آرد سنجد کامل به آرد لوبیا - رطوبت بودند ($p < 0.001$). از نظر آماری مدل خطی برای متغیر فرمولاسیون و مدل درجه دوم برای متغیر فرآیند معنی دار بود ($p < 0.05$) چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. میزان حداقل و حداکثر تخلخل بدست آمده در این پژوهش بر اساس داده‌های آماری ۰/۰۶ و ۰/۹۷۶ می‌باشد. با توجه به شکل ۳ الف، افزایش رطوبت از میزان ۲۰ تا ۲۵٪ تاثیر معناداری مثبتی بر تخلخل محصول اکستروژن دارد. این به این دلیل است که، دمای خمیر با افزایش رطوبت به یک باره کاهش

به این دلیل حاصل می شود که، افزایش یافتن میزان فیبر به دلیل داشتن خاصیت هیدروفوبی قوی ایجاد مانعی جهت ژلاتینه شدن نشاسته و همچنین تشکیل دیواره مناسب برای سلول های هوایی و گسترش سلول های هوایی می نماید و با افزایش آرد سنجد از میزان آرد لوبیا موجود در نمونه ها کاسته شده و در نهایت از میزان فیبر نهایی نیز کاسته خواهد شد (۳۴، ۳۶، ۵۸).



و پانکیاما و همکاران ۲۰۱۴ (افزایش رطوبت ۱۲ تا ۱۸٪) و هاشمی و همکاران (افزایش رطوبت از ۱۲ تا ۱۶٪) گزارش شده است (۴، ۳۰، ۴۰). و هاشمی و همکاران (افزایش رطوبت از ۱۲ تا ۱۶٪) گزارش شده است (۴، ۳۰، ۴۰). همانگونه که در شکل ۳ ب، مشاهده می گردد، افزایش میزان آرد سنجد شده بر تخلخل نمونه های اکستروژن شده اثر مثبت دارد. طوری که در سطوح بالای میزان آرد سنجد کامل (۵۰٪) شاهد بیشترین میزان تخلخل بودیم. این پدیده



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ "تخلخل" تحت اثر متقابل الف) سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه ب) میزان رطوبت خوراک اولیه و آرد سنجد کامل به آرد لوبیا

۳-۴- تأثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی شاخص جذب آب

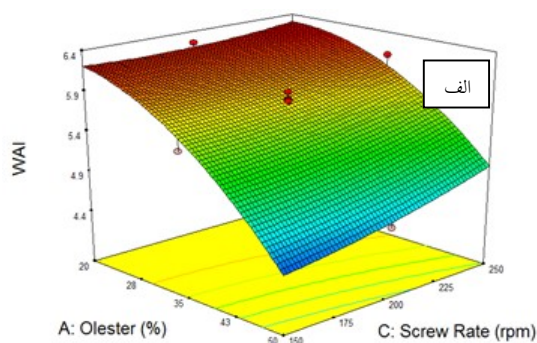
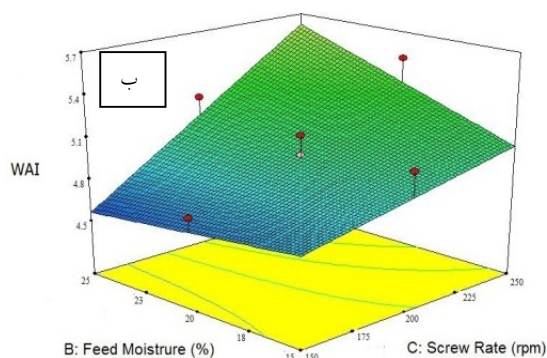
شاخص جذب آب^۱ میزان آب جذب شده توسط نشاسته بعد از متورم شدن را نشان می دهد که برابر با وزن ژل تشکیل شده است (۵۳). این فاکتور نه تنها شاخصی از ژلاتیناسیون نشاسته است بلکه نشان دهنده نسبت مولکول های آسیب ندیده ای است در طی اکستروژن قابلیت جذب آب را حفظ نموده اند (۲۶، ۴۷). میزان شاخص جذب آب WAI بستگی به گروه های هیدروفیل در دسترس و ظرفیت تشکیل ژل توسط ماکرومولکول ها دارد (۳۳، ۵۴). مدل بهینه پیشنهادی که توسط نرم افزار design expert منتخب گردید در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. ($p < 0.05$) همانطور که مشخص است

از آن جایی که نشاسته مسئول ایجاد بافت با ساختار اسفنجی است و در محصول حاصل از آرد لوبیا کامل و آرد سنجد کامل با کاهش نشاسته روبرو هستیم در نتیجه با این کاهش غلظت از میزان تخلخل کاسته می شود. از طرف دیگر در این محصولات افزایش فیبر وجود دارد که به دلیل خاصیت هیدروفوبی قوی که دارد مانع ژلاتینه شدن نشاسته می گردد و لذا تشکیل دیواره مناسب برای سلول های هوایی و گسترش سلول های هوایی با مشکل روبرو می شود. این یافته ها با آن چه که محققینی نظیر یاگچی و گوگل در مورد پودر بادام زمینی چربی گیری شده و توشه و همکاران در مورد محصول حاوی سیب و میلانی و همکاران در مورد محصول حاوی کنجاله بادام به دست آوردند مطابقت دارد (۴، ۳۶، ۶۰).

1-- WAI

عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل آرد سنجد کامل ($p < 0.001$) سرعت چرخش مارپیچ و همچنین اثر متقابل آرد سنجد کامل و سرعت چرخش مارپیچ بودند ($p < 0.001$). آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. در شکل ۴ الف اثر همزمان دو متغیر آرد سنجد کامل و آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ بر شاخص جذب آب نشان داده شده است. اندیس جذب آب با افزایش میزان آرد سنجد کامل کاهش می‌یابد، طوری که شاهد کمینه میزان این شاخص در نمونه های محتوی ۵۰٪ آرد سنجد کامل بودیم. این پدیده به دلیل پایین بودن میزان آرد لوبیا در نمون ۵۰٪ و در نتیجه کاهش غلظت نشاسته و پروتئین می‌باشد. فرآیند اکستروژن باعث کاهش ژلاتیناسیون نشاسته و افزایش فراکسیون های محلول در آب می گردد که در نهایت سبب کاهش جذب آب می شود. لذا با افزایش آرد سنجد کامل نسبت به آرد لوبیا و کاهش میزان نشاسته و پروتئین جذب آب افزایش می یابد. اندیس جذب آب به نوع ماده به کار رفته در فرمولاسیون و تغییرات مواد مانند دنا توره شدن پروتئین های در طی اکستروژن بستگی دارد (۴۷، ۶۲). براساس گزارش یاگچی و گوگوج ۲۰۱۴ با افزایش میزان پودر بادام زمینی چربی گیری شده به دلیل

کاهش محتوای نشاسته اندیس جذب آب کاهش یافته است (۶۰). مشابه این یافته‌ها توسط الکان و همکاران ۲۰۰۸ و سینگت و همکاران ۲۰۰۷ در محصولات اکستروژ شده بر پایه جو-گوجه فرنگی و سیب زمینی نیز ارائه گردیده است (۵۳، ۷). همان طور که در شکل ۴ ب مشاهده می‌گردد با افزایش سرعت چرخش مارپیچ میزان جذب آب افزایش می‌یابد. افزایش سرعت چرخش مارپیچ موجب افزایش میزان ژلاتینه شدن نشاسته و افزایش میزان جذب آب می‌گردد. ژلاتیناسیون فرآیند تبدیل نشاسته خام به ترکیبی پخته و قابل هضم، با استفاده از آب و حرارت می‌باشد و یکی از مهم ترین تغییرات ایجاد شده طی فرآیند اکستروژن بر اجزای نشاسته‌ای می‌باشد (۵۳). به دلیل این که سرعت چرخش مارپیچ بر میزان ژلاتینه شدن نشاسته اثرگذار است لذا روی میزان شاخص جذب آب نیز موثر می‌باشند. هرچه زنجیره پلیمرهای نشاسته سالم‌تر، گروه های هیدروفیل در دسترس بیشتر، امکان ایجاد اتصالات با آب بیشتر و در نتیجه مقادیر شاخص جذب آب بالاتر می‌گردد (۴، ۲۳، ۵۴). این نتایج منطبق بر نتایج Gat et al., 2015 در مورد فراورده اسنک تهیه شده از برنج پیش ژلاتینه شده و در زمینه تولید اسنک بر پایه آرد کامل سیب زمینی شیرین است (۲۲، ۵۹).

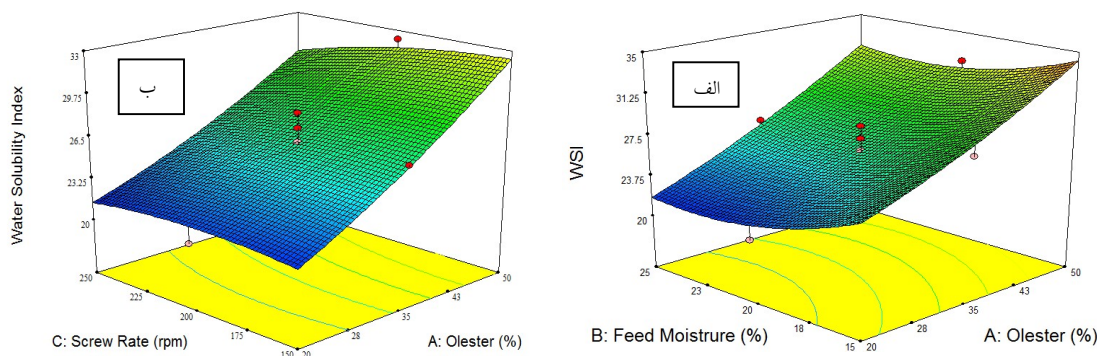


شکل ۴- نمودار سطح پاسخ "شاخص جذب آب" تحت اثر متقابل الف) نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ ب) سرعت چرخش هلیس و رطوبت خوراک اولیه

۳-۵- تاثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی شاخص محلولیت در آب

شاخص محلولیت^۱ در آب نشان دهنده تخریب ملکول نشاسته است و میزان پلی ساکارید محلول آزاد شده از ترکیبات نشاسته‌ای پس از اکستروژن را بیان می‌کند (۲۰، ۳۰). مدل بهینه درجه دوم توسط نرم افزار design expert منتخب گردید و در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. میزان شاخص محلولیت در آب اندازه‌گیری شده بین ۲۰/۷ تا ۳۶/۳۶ بود. همان طور که مشخص است عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل نسبت آرد سنجد کامل و آرد لوبیا ($p < 0/01$)، میزان رطوبت ($p < 0/01$) و همچنین اثر متقابل آرد سنجد کامل و رطوبت و آرد سنجد کامل و سرعت چرخش ماریچ بودند ($p < 0/05$). آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. در شکل- ۵ الف اثر همزمان دو متغیر نسبت آرد سنجد کامل و میزان رطوبت خوراک اولیه بر شاخص محلولیت در آب نشان داده شده است. بر اساس این شکل افزایش میزان رطوبت سبب کاهش معنی‌داری در شاخص محلولیت در آب شد، طوری که بیشینه این شاخص (۳۶/۳۶) به نمونه‌هایی با میزان آرد سنجد کامل ۵۰٪ و رطوبت ۱۵٪ مربوط است. با توجه به این که افزایش اندیس WSI مربوط به فروپاشی گرانول‌های نشاسته و آزاد شدن ترکیبات با وزن مولکولی پایین در گدازه است، لذا افزایش حلالیت به شدت و نوع واکنش‌های تخریبی نشاسته که در طی اکستروژن کردن ایجاد می‌گردد بستگی دارد (۵۵). آب به عنوان عامل

پلاستی سائزر در طول پخت اکستروژن عمل کرده و رطوبت‌بالا، از توسعه و پخش انرژی مخصوص مکانیکی جلوگیری نموده، احتمالاً آسیب و شکستن زنجیره‌های نشاسته را کاهش می‌دهد. در نتیجه رطوبت بر روی ساختار بیوپلیمر نشاسته حالت محافظتی اعمال می‌نماید. این نتایج مشابه نتایج گات و همکاران ۲۰۱۵ در مورد فراورده اسنک تهیه شده از برنج پیش ژلاتینه شده و شارما و همکاران ۲۰۱۷ در مورد فراورده حجیم شده با فرمول لوبیای مانگ و برنج است (۲۲، ۴۹). در شکل ۵ ب اثر هم زمان دو متغیر نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش ماریچ بر شاخص محلولیت در آب نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل نمایان است افزایش آرد سنجد کامل باعث افزایش میزان محلولیت در آب می‌گردد. یکی از دلایل افزایش اندیس WSI در فرآورده‌های اکستروژن با سطح ۵۰٪ آرد سنجد کامل به وجود پایین‌تر نشاسته و پروتئین نسبت به آرد لوبیا وجود میزان بالاتر فیبر و به خصوص قند در آن‌ها مربوط است (۴۵). هرچند حضور فیبر باعث از هم گسیختگی ساختمان پیوسته گدازه در اکستروژن شده و در از تجزیه ترکیبات ماکرومولکولی جلوگیری می‌کند (۳۲). ولیکن حضور ترکیباتی محلولی چون قندهای ساده امکان افزایش حلالیت در آب به شدت افزایش می‌یابد. این یافته‌ها مشابه نتایج محصولات حجیم بر پایه ضایعات سیب-آرد سورگوم و آرد ذرت بود (۲۹).



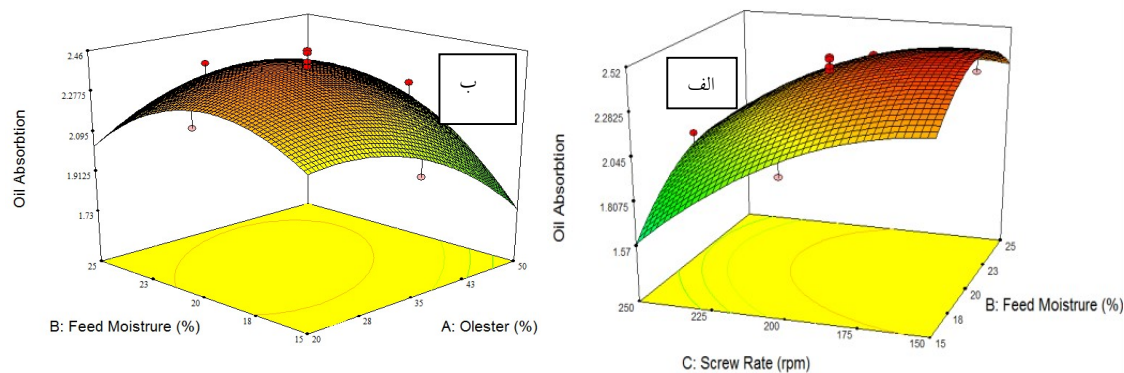
شکل ۵- نمودار سطح پاسخ "شاخص محلولیت آب" تحت اثر متقابل الف) نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و رطوبت ب) نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا و سرعت چرخش مارپیچ

آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی داری آن بود. میزان شاخص جذب روغن محصول اکستروژن شده بین ۱/۰۰۸ تا ۲/۳۹ تعیین شد. میزان شاخص جذب روغن محصول اکستروژن شده بین ۱/۰۰۸ تا ۲/۳۹ تعیین شد. بر اساس شکل ۶ الف، افزایش میزان رطوبت خوراک اولیه در سرعت چرخش مارپیچ پایین (دور بر دقیقه ۱۵۰) اثر چشمگیری بر شاخص جذب روغن داشته و لیکن در سرعت چرخش بالا ضمن افزایش رطوبت شاخص جذب روغن کاهش چشمگیری می یابد. پیامد مذکور نشان دهنده اثر بیشتر و تاثیرگذارتر اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ در شدت تغییرات جذب روغن در مقایسه با اثر رطوبت می باشد (۱۶). همچنین شاهد افزایش اندیس جذب روغن در محصول اکستروژن شده بر پایه دانه کتان چربی گیری شده با کاهش سرعت چرخش مارپیچ از ۵۰۰ به ۳۰۰ دور بر دقیقه در رطوبت ۱۴٪ هستیم، و یافته هایی منطبق بر این نتایج توسط لازو و کروکید (۲۰۰۵)، جینگ و جای (۲۰۱۳) نیز منتشر شده است (۱، ۲۵، ۲۶). ترکیبات مواد غذایی از جمله نشاسته، فیبر و پروتئین رفتارهای متفاوتی در توانایی جذب چربی دارند و لیکن در این زمینه نیز نظرات محققین متفاوت است.

۳-۶- تاثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی شاخص جذب روغن

به طور کلی، شاخص جذب روغن^۱ نشان دهنده میزان چربی جذب شده به وسیله ماتریکس ماده غذایی است (۳۵)، و در واقع شاخصی از ماهیت هیدروفوبیک فرآورده اکستروژن می باشد (۲۶)، و بیان کننده توانایی یک ترکیب در به دام انداختن روغن است این ویژگی از یک طرف سبب بهبود طعم و افزایش احساس دهانی ماده غذایی می گردد و از طرف دیگر فاکتور مهمی جهت نوآوری و تولید محصولات نانوائی و پخت است. انتخاب مدل بهینه پیشنهادی (مدل چندجمله ای درجه ۲) توسط نرم افزار design expert در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. چنان که برای شاخص جذب روغن مدل خطی برای متغیر فرایند و مدل برای متغیر فرمولاسیون چند جمله ای درجه دوم از نظر آماری معنی دار بود. همان طور که مشخص است عبارت های معنی دار مدل نیز شامل میزان نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا، میزان رطوبت خوراک اولیه ($p < 0.05$)، سرعت چرخش مارپیچ ($p < 0.001$) و اثر متقابل نسبت رطوبت و سرعت چرخش مارپیچ ($p < 0.001$) و همچنین اثر متقابل میزان رطوبت و میزان نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا بودند ($p < 0.05$). چنانچه مشاهده می شود

¹ OAI



شکل ۶- نمودار سطح پاسخ "میزان جذب روغن" تحت اثر متقابل الف) سرعت چرخش ماریچ و میزان رطوبت خوراک اولیه ب) میزان رطوبت خوراک اولیه و آرد سنجد کامل به آرد لوبیا

ظرفیت جذب چربی به وسیله پروتئین‌ها به وجود نقاط قطبی و غیر قطبی در ساختمان آن بستگی دارد لذا رفتار پروتئین‌ها در جذب چربی متفاوت می‌باشد، به عنوان مثال قدرت جذب روغن توسط کنسانتره پروتئین کتان از کنسانتره پروتئین آمارانت بیشتر است (۱۶). برخی از پژوهشگران بر این باورند که مکانیسم جذب چربی به صورت به دام انداختن فیزیکی روغن است (۵۱) و جذب چربی به وسیله پروتئین قطعی نمی‌باشد، لذا حضور پروتئین در فرآورده حجیم شده باعث کاهش میزان جذب چربی می‌شود (۲۶، ۳۳، ۴۷). بر اساس یافته‌های مورسی و همکاران ۲۰۱۵ با افزایش میزان پروتئین میزان جذب چربی کاهش می‌یابد که علت آن را در تفاوت میزان پروتئین و اسیدهای آمینه قطبی و غیرقطبی دانستند (۳۳).

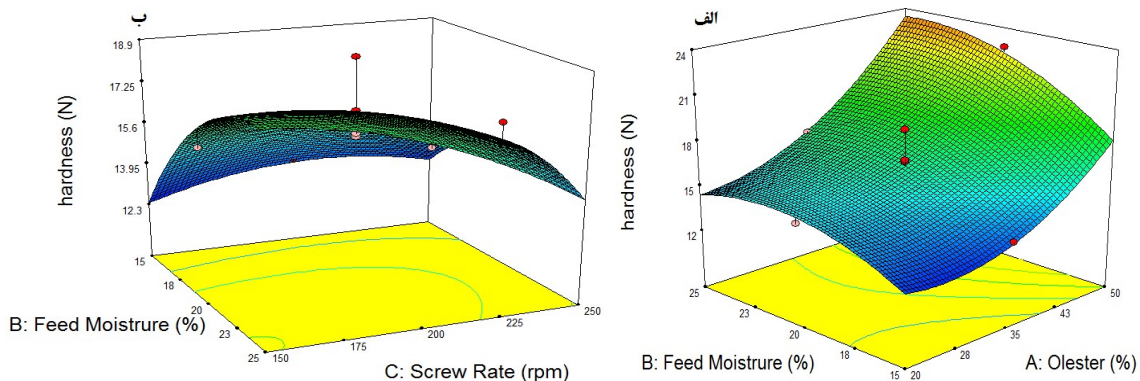
۳-۲- تأثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی سختی بافت

سختی بافت نشان دهنده حداکثر نیروی پروب جهت نفوذ یا سوراخ کردن محصول می‌باشد. سختی و تردی فرآورده‌های حجیم نتیجه ادراک انسان از بافت محصول می‌باشد که مرتبط با انبساط، تخلخل و ساختار سلولی اسنک‌ها است (۳، ۵، ۵۵). سختی بافت فرآورده حجیم علاوه بر صفات حسی با ویژگی‌هایی چون دانسیته، ضریب انبساط و تخلخل در ارتباط است (۳۱). مدل منتخب توسط نرم افزار design expert مدل چند جمله‌ای بود. نتایج

آنالیز واریانس در جدول شماره ۵ نشان داده شده است. میزان سختی بافت اندازه‌گیری شده بین ۱۱/۹۲N تا ۲۵/۱۹ بود. همان طور که مشخص است عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل آرد سنجد کامل، میزان رطوبت ($p < 0.001$) و سرعت چرخش ماریچ و همچنین اثر متقابل آرد سنجد کامل و رطوبت و رطوبت و سرعت چرخش ماریچ بودند ($p < 0.05$). آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر عدم معنی‌داری آن بود. همانگونه که در شکل ۷ الف، مشاهده می‌شود با افزایش آرد سنجد کامل و افزایش رطوبت سختی بافت نمونه‌ها افزایش می‌یابد. طوریکه در سطوح بالاتر آرد سنجد کامل با افزایش همزمان رطوبت سختی محصول به حداکثر (حدود ۲۴ N) می‌رسد. این به این دلیل است که با افزایش آرد سنجد کامل به میزان قابل توجهی میزان فیبر و قند افزوده می‌گردد. از سوی دیگر با افزایش سنجد از میزان لوبیا کاسته شده و در نتیجه به دلیل این که لوبیا دارای نشاسته و پروتئین بالایی است از میزان پروتئین و نشاسته محصول نهایی نیز کاسته خواهد شد. افزایش قند و فیبر و کاهش نشاسته موجود ضمن تغییر ویژگی‌های ویسکوالاستیک خمیر، باعث جذب آب شده و در تشکیل سلولهای هوایی اختلال ایجاد می‌نماید در نتیجه سلولهای هوایی با دیواره قهوه‌تر تشکیل می‌شوند و بافت محصول سفت تر می‌گردد (۱۹). افزایش سختی در محصولات غنی از فیبر و قند مانند اسنک‌هایی برپایه پوره هویج-گل کلم (۶)، انبه (۳۸) و پودر میوه‌های مختلف (سیب، موز و توت

فرنکی) (۴۰) به وسیله سایر محققین نیز گزارش شده است. نتایج حاصل از آنالیز آماری مبین افزایش سختی با افزایش رطوبت است. با افزایش رطوبت و افزایش ویسکوزیته سلولهای هوایی ریزتری تشکیل شده بافت محصول سفت تر می گردد (۱،۲). نتایج ارزیابی بافت محصول اکستروده بر پایه آرد برنج و لویای قرمز نیز نشان دهنده افزایش سختی با افزایش رطوبت از ۱۵ تا ۲۳٪ بود (۲۴). همچنین بررسی هایی که بر روی دانه خلر نیز انجام شده بود نشاندهنده این بود که با افزایش رطوبت و نیز سختی محصول نهایی افزایش می یابد (۶،۱). شکل ۷ ب نشان داد که افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث کاهش سفتی بافت می گردد ($p > 0.05$). با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و افزایش تنش برشی، ویسکوزیته گدازه کاهش یافته و ژلاتینه شدن نشاسته کامل تر صورت گرفته که در نتیجه حباب های رشد یافته تری حاصل می شوند همچنین رشد و توزیع حباب ها داخل بافت گدازه خمیر با شدت

بهتری پیشرفت کرده و گسترش می یابد، با افزایش رشد حباب ها محصول نرم تر با ضریب انبساط بالاتر و دانسیته پایین تر حاصل می شود (۱۸،۲۱،۲۷،۲۸،۵۳). بر اساس شکل ۷ ب کمینه مقدار سختی به نمونه تولیدی در سرعت چرخش ۲۵۰ دور بر دقیقه و رطوبت ۱۵٪ تعلق دارد. کاهش سختی به دلیل افزایش سرعت چرخش مارپیچ در محصولاتی بر پایه ذرت-عدس نیز گزارش شده است (۲۶). کوپین بو و همکاران نیز گزارش دادند که افزایش سرعت چرخش مارپیچ به خصوص در دماهای بالای اکسترودر سبب کاهش مقدار دانسیته و متعاقبا کاهش سختی در نمونه های اسنک تولید شده بر پایه گندم می شود (۴۳). بر اساس نتایج حاصل از آزمون های دانسیته و انبساط شوندگی و ارتباط آن ها با سختی بافت محصول انتظار چنین روندی می رود که محصولی با دانسیته بالا و انبساط شوندگی کم، بافت سخت تری تولید کند.



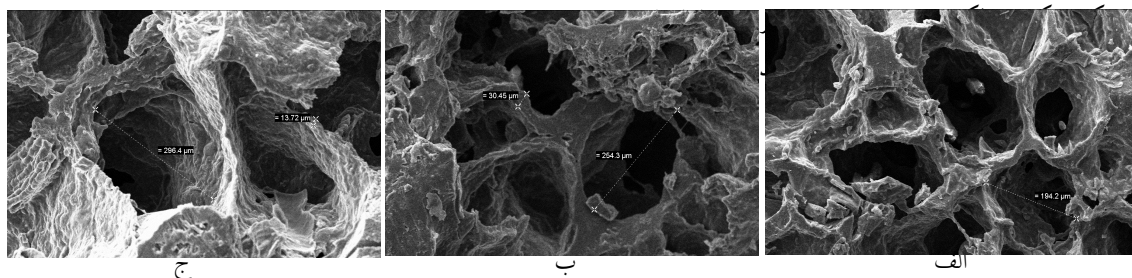
شکل ۷- نمودار سطح پاسخ "سختی" تحت اثر متقابل الف) میزان رطوبت خوراک اولیه و نسبت آرد سنجد کامل به آرد لویا ب) سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه

۳-۸- تصاویر میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM) بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده رابطه معناداری بین پارامترهای بررسی شده در اندازه گیری میکروسکوپی بافت محصول حجیم شده مانند اندازه، تعداد و ضخامت دیواره سلول های هوایی با خصوصیات فیزیکی (تخلخل و دانسیته) و سختی بافت وجود دارد. همچنین رابطه ای بین مدل های ارائه شده جهت تغییر شکل بافت با اندازه سلولهای هوایی،

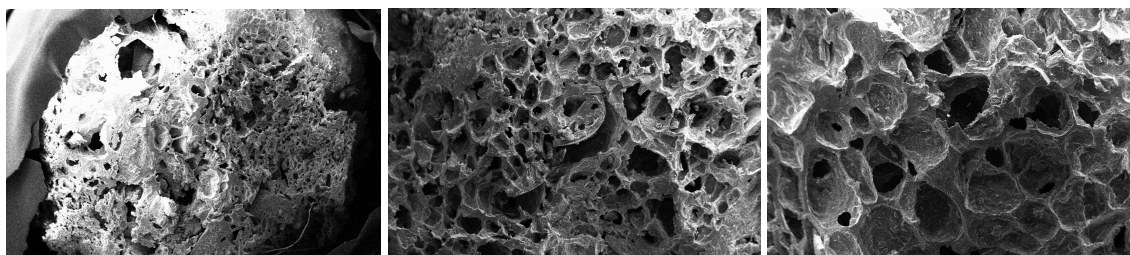
ضخامت دیواره آنها نیز وجود دارد (۲۶، ۵۸). شکل ۸ اثر متغیر فرمولاسیون (نسبت آرد سنجد کامل و آرد لویا) و شکل ۹ اثر پارامترهای فرایند اکستروژن (سرعت چرخش مارپیچ و میزان رطوبت خوراک اولیه) را نشان می دهد. در شکل های مذکور، تصاویر سطح مقطع اسنک ها که با بزرگنمایی ۱۰۰ نمایش داده شده اند نشان دهنده قطر

سلول‌های هوایی و بزرگنمایی ۵۰۰ و نمایانگر ضخامت دیواره سلول‌های هوایی است. در تمام تصاویر ساختار متخلخل با بافت غیر یکنواخت و حفره دار مشاهده می‌گردد. بر اساس شکل ۸ الف، ب و ج با افزایش سطح آرد سنجد کامل در شرایط ثابت فرآیند سرعت چرخش مارپیچ (۲۰۰ دور بر دقیقه) و میزان ثابت رطوبت خوراک اولیه (۲۰٪) تعداد سلولهای هوایی بیشتر با دیواره سلولی ضخیم تر و قطر کمتر مشاهده می‌گردد. به علت افزایش میزان فیبر در نمونه های حاوی ۳۵٪ آرد سنجد کامل و کاهش حجم نشاسته و پروتئین موجود در آرد لویا نقاط هسته‌زایی افزایش می‌یابد و در نتیجه تعداد حباب‌های هوایی زیاد می‌گردد به طوری که در سنجد ۵۰٪ حفرات خیلی ریز و کوچک میشوند و تعدادشان افزایش می‌یابد (۵۸). ولیکن حباب‌ها توانایی توسعه و افزایش حجم را ندارند. لذا قطر حباب‌ها کمتر و دیواره سلولی ضخیم تر می‌شود. این نتایج منطبق بر تفاسیر حاصله از آزمون‌های دانسته، سختی بافت و ضریب انبساط نیز می‌باشد. افزایش ضخامت دیواره سلولی و کاهش قطر آن‌ها با افزایش سطح بادام زمینی در محصول اکستروژن توسط چوی و فیلیپس ۲۰۰۴ نیز بیان شده است. موارد مشابه توسط محققین دیگر چون لازو کروکید ۲۰۱۰ در محصول محتوی عدس، لاسیمتو ۲۰۱۲ و در اسنک حاوی کنجد گزارش شده است (۲۶، ۳۴). همچنین Choi & Philips 2004 اثر ترکیبات خوراک اولیه اکستروژن را بر روی ساختار سلولی با

افزایش آرد بادام زمینی در فرمولاسیون سلول‌های ریز با تعداد بالا تولید می‌گردد. همانگونه که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود در اثر تغییر سرعت چرخش ساختار میکروسکوپی اسنک‌ها دستخوش تغییرات زیادی قرار می‌گیرد. با افزایش سرعت چرخش مارپیچ در رطوبت ثابت و میزان سنجد ثابت از (۱۵۰ دور بر دقیقه ۲۰۰ دور بر دقیقه) (شکل ۹ الف و ب و ج) سلول‌های هوایی بزرگتر با دیواره سلولی نازک تر ملاحظه می‌شود که به علت ژلانتیزاسیون بهتر نشاسته و رشد کافی حباب‌های هوا است به طوری که در نمونه های با سرعت چرخش مارپیچ ۲۵۰ دور بر دقیقه از تعداد سلولها کاسته شده و به قطر آنها افزوده می‌شود همچنین دیواره سلول ها نازک تر خواهد بود. Choi & Phillips, 2004 نیز در محصول محتوی بادام زمینی با کاهش سرعت چرخش مارپیچ سلول‌های هوایی کوچک تر را مشاهده نمودند. آن‌ها بیان کردند زمانی که سرعت چرخش مارپیچ افزایش می‌یابد از ضخامت دیواره سلولی کاسته می‌شود و بر قطر آن افزوده می‌گردد. نتایج مشابه در محصول حاوی عدس (۲۶) و فراورده با فرمول مخلوطی از نشاسته ذرت و مغز پسته (۵) گزارش شده است. به طور کلی محصول تولید شده با سرعت چرخش مارپیچ دور بر دقیقه ۲۵۰ و رطوبت ۲۰٪ دارای سلول‌های هوایی کاملاً رشد یافته و بزرگ همراه با دیواره سلولی با ضخامت اندک هستند. که این شرایط مطلوب تولید محصول با بافت مناسب، دانسته اندک و ضریب انبساط بالا است.



شکل ۸- بررسی ریز ساختار از سطح مقطع محصول بافت داده بر پایه آرد سنجد کامل و آرد لویا با استفاده از میکروسکوپ الکترون روبشی (بزرگنمایی ۱۰۰) در شرایط ثابت فرایند: رطوبت ۲۰٪ و سرعت چرخش تحت دور بر دقیقه ۲۰۰ الف) نسبت آرد سنجد کامل و آرد لویا (۲۰-۸۰) ب) نسبت آرد سنجد کامل و آرد لویا (۳۵-۶۵) ج) نسبت آرد سنجد کامل و آرد لویا (۵۰-۵۰)



ج

ب

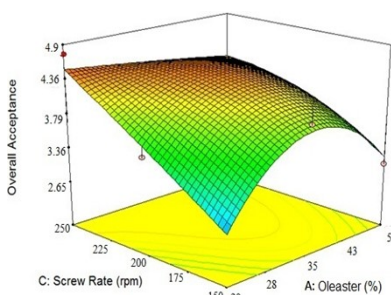
الف

شکل ۹- بررسی ریز ساختار از سطح مقطع محصول بافت داده و حجیم شده بر پایه آرد سنجد کامل و آرد لوبیا به نسبت ثابت (۲۰:۸۰) با استفاده از میکروسکوپ الکترون روبشی (بزرگنمایی ۵۰۰ μm) (الف) شرایط فرایند ۲۰٪ رطوبت و سرعت چرخش تحت دور بر دقیقه ۱۵۰ (ب) شرایط فرایند ۲۰٪ رطوبت و سرعت چرخش تحت دور بر دقیقه ۲۰۰ (ج) شرایط فرایند ۲۰٪ رطوبت و سرعت چرخش تحت دور بر دقیقه ۲۵۰

میزان پذیرش کلی (امتیاز خوب) را در مقادیر متوسط پودر برگ پنیرک (۱-۳٪) که غنی از فیبر و پروتئین است گزارش نمود. به علاوه Nascimento et al., 2012 نیز حداکثر پذیرش کلی مصرف کننده ها را در نمونه اسنک غنی شده با ۲۰٪ کنجاله گنجد گزارش نموده است (۳۴). همچنین در پژوهش Sacchetti et al., 2004 نیز بیشترین میزان پذیرش کلی توسط داوران حسی به اسنک با سطوح متوسط (۳۰٪) آرد نوعی بادام زمینی داده شده بود. یافته‌های این پژوهش حاکی از این است که اسنک حجیم شده به نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا (۲۰ به ۸۰) علاوه بر داشتن خصوصیات تغذیه‌ای مطلوب، دارای ویژگی‌های عملگری و بافتی (میکروساختار و ماکروساختار) مناسب مورد پذیرش مصرف کننده‌ها نیز می‌باشد.

۳-۹- تأثیر پارامترهای فرآیند اکستروژن بر روی پذیرش کلی

با افزایش ۲۰٪ تا ۳۵ میزان آرد سنجد کامل به آرد لوبیا شاهد افزایش پذیرش کلی و در مقادیر بیش از ۳۵٪ شاهد کاهش میزان پذیرش کلی بودیم، طوری که کمترین میزان پذیرش کلی در میزان ۵۰٪ آرد سنجد کامل مشاهده گردید. چون میزان پذیرش کلی فاکتوری است که متأثر از تمامی عوامل ظاهری محصول شامل بافت، طعم، آروما و شکل ظاهری است. لذا در امتیاز دادن مقادیر پذیرش کلی مصرف کننده و ارزیابان مجموعه عوامل مختلف را مد نظر قرار می‌دهد (۱۹). بر اساس شکل ۱۰ از لحاظ پذیرش کلی داوران حسی به نمونه تولید شده در سرعت چرخش ۲۵۰ دور بر دقیقه و نسبت آرد سنجد کامل و آرد لوبیا ۲۰ به ۸۰٪ حداکثر امتیاز را دادند. Morsy et al., 2015 نیز بیشترین



شکل ۱۰- نمودار سطح پاسخ "ارزیابی حسی پذیرش کلی" تحت اثر متقابل سرعت چرخش مارپیچ و نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا در میزان رطوبت ثابت

۳-۱۰- بهینه یابی فرمولاسیون و فرایند اکستروژن در تولید فراورده حجیم

نتایج بهینه جهت دستیابی به فراورده ای با ویژگی بیشینه جذب آب و سختی و ضریب انبساط شوندگی جذب روغن و پذیرش کلی و کمینه میزان محلولیت در آب و سختی در

جدول (۴) قابل مشاهده است. بر این اساس نسبت آرد سنجد کامل به آرد لوبیا ۲۰ به ۸۰، سرعت چرخش مارپیچ ۲۰۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۲۰٪ تعیین گردید.

جدول ۴- نتایج بهینه یابی شرایط اکستروژن و فرمولاسیون

منبع	Porosity	Hardness	ER	BD	OAI	WSI	WAI
مدل	۲FI	چندجمله ای	۲FI	چندجمله ای	چندجمله ای	۲FI	۲FI
معنی دار		درجه دوم		درجه دوم	درجه دوم		
F value	$<0.001***$	$<0.001***$	$<0.001***$	$<0.001***$	$0.0004**$	$<0.001***$	$<0.001***$
A	$<0.001***$	$<0.001***$	$<0.001***$	$<0.001***$	$0.499*$	$<0.001***$	$<0.001***$
B	$0.23**$	$<0.001***$	$0.328*$	0.643	$0.419*$	$0.028*$	0.1577
C	$0.015**$	$0.017*$	$0.328*$	$<0.001***$	$<0.001***$	0.083	$0.035**$
AB	$<0.001***$	$0.0191*$	0.4783	0.603	$0.029**$	$0.456*$	0.5932
AC	$<0.001***$	0.4135	$0.0112*$	$0.0170*$	0.1149	0.1657	$0.347*$
BC	0.0713	$0.0071**$	0.0416	0.1538	$<0.001***$	0.4056	0.9796
Lack of fit	0.923	0.8551	0.3813	0.2389	0.1265	0.4457	0.347
R ²	0.905	0.95	0.98	0.97	0.96	0.95	0.97
R ² (adj)	0.84	0.92	0.97	0.96	0.93	0.91	0.95

جدول ۵- نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) اثر متغیرهای مختلف مورد بررسی

ویژگی ها	انبساط شوندگی	میزان سختی	اندیس جذب آب	محلولیت در آب	اندیس جذب روغن	میزان پذیرش کلی
مقادیر	۳/۲۵	۸/۹۲N	۲/۱±۰/۳۶	۲۵/۱۸±۰/۱۸	۵/۲±۰/۰۳	۴/۶۲

*Significant at $P \leq 0.05$; ** significant at $P \leq 0.01$; *** significant at $P \leq 0.001$; ns, non-significant

۴- نتیجه گیری

با توجه به خصوصیات تغذیه ای مطلوب انواع گیاهان دارویی و حبوبات و کاربرد آن در فرمولاسیون غذاها تاثیر بسزایی در افزایش و بهبود سلامت مصرف کنندگان خواهد داشت. در دهه های اخیر پیشرفت قابل توجهی در تولید و معرفی غذاهای فراسودمند بر پایه این گیاهان حادث شده

است. در بین روش های تولید آرد های بهبود یافته با ارزش تغذیه ای افزوده شده تکنولوژی پخت اکسترون به دلیل اثرات مثبت بر قابلیت هضم و پروتئین و نشاسته و حذف ترکیبات ضد تغذیه ای نظیر قندهای نفخ زا و بازدارنده های تریپسین در حبوبات و همچنین حداقل افت کیفیت تغذیه ای ، جهت تولید این محصول استفاده گردید. با توجه به

۵-منابع

۱. فیوضی ب، وریدی م. ج، میلانی ا، شهیدی ف، حدادخداپرست م. بهینه سازی فرمولاسیون و شرایط فرایند اکستروژن محصول اسنک حجیم حاوی آرد کنجاله بته. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. ۱۳۹۷؛ ۷(۱): ۴۸-۲۹.
۲. میلانی ا، هاشمی ن، مرتضوی س. ع، طباطبایی ف. بررسی اثر شرایط فرایند اکستروژن و فرمولاسیون بر برخی ویژگیهای فیزیکوشیمیایی میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام (*Amygdalus communis L.*) و بلغور ذرت. فصلنامه فناوری های نوین غذایی. ۱۳۹۶؛ ۵(۱): ۱۴۰-۱۲۳.
3. Alam M. S, Pathania S, Sharma A. Optimization of the extrusion process for development of high fibre soybean-rice ready-to-eat snacks using carrot pomace and cauliflower trimmings. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 74: 135-144.
4. Altan A, McCarthy K. L, Maskan M. Twin-screw extrusion of barley-grape pomace blends: Extrudate characteristics & determination of optimum processing conditions, *J. Food Eng.* 2008; 89: 24-32.
5. Altan A, Mc Carthy K. L, Maskan M. Effect of screw configuration & raw material on some properties of barley extrudates, *J. Food Eng.* 2009a: 92: 377-382.
6. Altan A, McCarthy K. L, Maskan M. Effect of extrusion process on antioxidant activity, total phenolics & betaglucan content of extrudates developed from barley-fruit & vegetable by-products. *International Journal of Food Science & Technology*. 2009b: 44: 1263-1271.
7. Altan, A. and Maskan, M. 2011. *Development of Extruded Foods by Utilizing Food Industry By-Products, In Advances in Food Extrusion*, (Editors: M. Maskan and A. Altan) CRC Press, New York, U. S. A., pp.121-228.
8. American Association of Cereal Chemists – AACC. 2000. *Approved Methods of Analysis: guidelines for measurement of volume by rapeseed displacement* (11th Ed.). St. Paul, MN: AACC International.
9. Anton A. A, Fulcher R. G, Arntfield S. D. Physical and nutritional impact of fortification of corn starch-based extruded snacks with مطالعات انجام شده تخلخل فراورده با افزایش رطوبت کاهش یافت و محصول بافتی متراکم به خود گرفت و سختی افزایش یافت. افزایش دما و سرعت چرخش مارپیچ منجر به کاهش میزان سختی فراورده شد. در این بین اثرگذاری سرعت چرخش مارپیچ بر کاهش سختی بیش تر از سایر متغیرها بود. پارامترهای مربوط به رنگ نیز با تغییر رطوبت، سرعت چرخش مارپیچ و دما تغییرات محسوسی از خود نشان دادند. آرد سنجد/لویا با توجه به خصوصیات عملکردی مناسب می تواند به عنوان آردی مطلوب در فراورده های نانوائی و صنایع پخت استفاده شود. فراوری آرد سنجد کامل و آرد لویا سفید به کمک روش اکستروژن سبب بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی آن شد. شاخص جذب روغن یکی از خصوصیات مهم آرد می باشد. میزان شاخص جذب روغن با افزایش سرعت چرخش مارپیچ و محتوای رطوبت کاهش یافت. در این بین بیش ترین اثر مربوط به میزان رطوبت بود. آزمون حسی بخش بسیار مهمی برای تصمیم گیری در ارتباط با انتخاب میزان نسبت آرد سنجد کامل و آرد لویا سفید، رطوبت ورودی و سرعت چرخش مارپیچ به منظور تولید محصول می باشد. به این دلیل که سلیقه مصرف کننده سهم بسیار مهمی در تولید محصول جدید دارد. فراورده اکسترو شده حاصل از آرد سنجد کامل و آرد لویا سفید امتیازات حسی مناسبی از سوی ارزیابان دریافت کرد، اما می توان با کنترل متغیرها محصول مناسب تری از نظر خصوصیات حسی تولید کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از آرد سنجد کامل و آرد لویا سفید (به نسبت ۸۰-۲۰) و با بکارگیری پخت اکستروژن (رطوبت خوراک اولیه ۲۰٪ و سرعت چرخش مارپیچ ۲۰۰ دور بر دقیقه) امکان تولید محصول بافت داده شده مهیا می گردد که این محصول تولیدی، ضمن داشتن ویژگیهای ماکروساختار (تخلخل، سختی و ضریب انبساط) مناسب و دارای ویژگی عملکردی مطلوبی (جذب آب و جذب روغن) نیز می باشد. همچنین از نظر مصرف کننده نیز این محصول بالاترین امتیاز را از نظر پذیرش کلی دریافت نمود.

- properties of ready-to-eat expanded snacks. *J Food Sci Technol*. 2015; 52(5): 2634–2645.
20. Guha M, Ali S. Z, Bhattacharya S. Twin-screw extrusion of rice flour without a die: Effect of barrel temperature & screw speed on extrusion & extrudate characteristics. *Journal of Food Engineering*. 1997; 32 (3): 251-267.
21. Jain D, Devi M, Thakur N. Study on the effect of machine operative parameters on physical characteristics of rice/maize based fruit/vegetable pulp fortified extrudates. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2013; 15: 231-242.
22. Jing Y, Chi Y. J. extrusion on soluble dietary fiber & physicochemical properties of soybean residue. *Food Chemistry*. 2013; 138: 884-889.
23. Lazou A, Krokida M. Functional properties of corn and corn-lentil extrude. *Food Research International*. 2010a; 43(2): 609-616.
24. Li SQ, Zhang H. Q, Jin Z. T, Hsieh Fh. Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed & soya bean concentration International. *Journal of Food Science and Technology*. 2005; 40: 731-741.
25. Liu C, Zhang Y, Liu W, Wan J, Wang W, Wu L, and et al. Preparation, physicochemical & texture properties of texturized rice produce by Improved Extrusion Cooking Technology, *Journal of Cereal Science*. 2011; 54: 473-480.
26. Lohani U. C, Muthukumarappan K. Effect of Extrusion Processing Parameters on Antioxidant, Textural and Functional Properties of Hydrodynamic Cavitated Corn Flour, Sorghum Flour and Apple Pomace-Based Extrudates. *Journal of Food Process Engineering*. 2016; 40(3): 1-15.
27. Majumdar R. K, Singh R. K. R. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties & sensory characteristics of fish-based expend snacks. *Journal of Food Processing & Preservation*. 2014; 38: 864-879.
28. Meng X, Threinen D, Hansen M, Driedger D. Effects of extrusion conditions on system parameters & physical properties of chickpea flour-based snack. *Food Res. Intern*. 2010; 43: 650-658.
29. Moraru C. I, Kokini J. L. Nucleation & expansion during extrusion & microwave heating of cereal foods. common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour: Effects of bean addition and extrusion cooking. *Food Chemistry*. 2009; 113: 989-996.
10. Association of Official Analytical Chemists – AOAC. 2006. *Official methods of analysis of AOAC International* (18th Ed.). Gaithersburg: AOAC International.
11. Bassinello P. Z, Freitas D, De G. C, Ascheri J. L. R, Takeiti C. Y, Carvalho R. N, Koakuzu S. N, Carvalho A. V. Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science*. 2012; 1: 1645-1652.
12. Berriou D. J. O. P, Cámara M, Sánchez-Mata M. C. Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*. 2010; 43(2): 531-536.
13. Bhise S, Kaur A, Manikantan M. R, Singh B. Optimization of extrusion process for production of texturized flaxseed defatted meal by response surface methodology, International. *Journal of Research in Engineering and Technology*. 2013; 2 (10): 302-310.
14. Camacho-Hernández I. L, Zazueta-Morales J. J, Gallegos-Infante J. A, Aguilar-Palazuelos E, Rocha-Guzmán N. E, Navarro-Cortez R. O, et al. Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *CyTA - Journal of Food*. 2014; 12(4): 320-330.
15. Choi I. D, Phillips R. D. Cellular structure of peanut-based extruded snack products using scanning electron microscopy. *J. Texture Studies*. 2004; 33: 353-370.
16. Dehghan-Shoar Z, Hardacre A. K, Breean C. S. The physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene. *Food Chem*. 2010; 123(4): 1117-1122.
17. Ding Q. B, Ainsworth P, Tucker G, Marson H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical conditions & sensory characteristics of rice-exp and snacks. *J. Food Eng*. 2005; 66: 283-289.
18. Ding Q. B, Ainsworth P, Plunkett A, Tucker G, Marson H. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *J. Food Eng*. 2006; 73: 142-148.
19. Gat Y, Ananthanarayan L. Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical

- Journal of food Engineering*. 2005;66(3): 283-289.
40. Qing-Bo D. A. P, Plunkett A, Tucker G, Marson H. The effect of extrusion conditions on the functional & physical properties of wheat-based extruded snacks, *Journal of food engineering*. 2006; 73 (2): 142-148.
41. Sahan Y, Dulger D, Aydin E, Dundar A, Celik G. Food Additives: Oleaster Flour. *Journal of Agricultural science*. 2015; 5(2): 1052-1061.
42. Sahan Y, Gocmen D, Cansev A, Celik G, Aydin E, Dundar A. N, et Al. Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (*Elaeagnus angustifolia* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*. 2015; 88: 34-41.
43. Şahin N, Bilgiçli N, Sayaslan A. Enhancement of extruded corn snacks with substitution of wheat germ, invaluable milling by-product. *Journal of food processing and preservation*. 2022; 61(3): 1-11.
44. Salata C. D. C, Leonel M, Trombini F. R. M, Mischan M. M. Extrusion of blends of cassava leaves & cassava flour: physical characteristics of extrudates. *Food Sci. Technol. Campinas*. 2014; 34(3): 501-506.
45. Santosa B. A, Sudaryono S, Widowati S. Characteristics of extrudate from four varieties of corn with aquadest. *Indosinia journal of agriculture*. 2008; 1(2): 85-94.
46. Sarraf M, Mohamadi Sani A, Mehraban Sang Atash M. Physicochemical, organoleptic characteristics and image analysis of doughnut enriched with oleaster flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2016; 41(4): 1-9.
47. Sharma C, Singh B, Hussain S Z, Sharma S. Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *J Food Sci Technol*. 2017; 54(6): 1711-1720.
48. Siddiq M, Ravi R, Harte J. B, Dolan K. D. Physical & functional characteristics of selected dry bean (*Phaseolus vulgaris* L) flours. *LWT - Food Science & Technology*. 2010; 43: 232-237.
49. Siddiq M, Kelkar S, Harte J. B, Dolan K. D, Nyombaire G. Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *LWT-Food Science and Technology*. 2013; 50(1): 215-219.
- Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*. 2003; 2: 120-138.
30. Morsy N. E, Rayan A. M, Youssef K. M. Physico Chemical Properties, Antioxidant Activity, Phytochemicals & Sensory Evaluation of Rice-Based Extrudates Containing Dried *Corchorus olitorius* L. Leaves. *J. Food Process Technol*. 2015; 6: 408.
31. Nascimento E. M. G. C, Carvalho C. W. P, Takeiti C. Y, Freitas D. G. C, Ascheri J. L. R. Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn extruded extrudate. *Food Res. Int*. 2012; 45: 434-443.
32. Navam S. H, Tajudini A. L, Srinivas J. R, Sivarooban T, Kristofor R. B. Physio-Chemical & Sensory Properties of Protein-Fortified Extruded Breakfast Cereal/Snack Formulated to Combat Protein Malnutrition in Developing Countries. *J. Food Process Technol*. 2014; 5(8): 1-9.
33. O'Shea N, Arendt E. puffed snack by optimising die head temperature, screw speed and apple pomace inclusion. *Food Bioprocess Technol*. 7: 1767-1782.
34. Obatolu V. A, Skonberg D. I, Camire M. E, Dougherty M. P. Effect of Moisture Content and Screw Speed on the Physical Chemical Properties of an Extruded Crab-based Snack. *Food Sci Tech Int*. 2005; 11(2): 121-127.
35. Orrego C. E, Salgado N, Giraldo G. I. Influence of the extrusion operating conditions on the antioxidant, hardness and color properties of extruded mango. *LWT - Food Science and Technology*. 2017; 86: 209-218.
36. Ozer E. A, Ibanoglu S, Ainsworth P, Cahide Y. Expansion characteristics of a nutritive extruded snack food using response surface methodology. *Eur. Food Res. Technol*. 2004; 218: 474-479.
37. Pankyamma V, Basu S, Suryaprabha Bhadrans S, Chouksey M. K, Gudipati V. Fish oil-fortified extruded snack: evaluation of physical properties & oxidative stability by response surface methodology. *Journal of Food Process Engineering*. 2014; 37: 349-361.
38. Potter R, Stojceska V, Plunkett A. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets. *LWT-Food Sci Technol*. 2013; 51: 537-544.
39. Qing-Bo D. A. P, Tucker G, Marson H. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties & sensory characteristics of rice-based extruded snacks.

55. Van der Sman R. G. M, Broeze J. Structuring of indirectly extruded snacks based on potato ingredients: A review. *J. Food Eng.* 2013; 114 (4) 413-425.
56. Waramboi JG, Gidley M J, Sopade P. A. Influence of extrusion on expansion, functional and digestibility properties of whole sweetpotato flour. *LWT - Food Science and Technology.* 2014;59: 1136-1145.
57. Yağci S, Göğüş F. Response surface methodology for evaluation of physical & functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *J. Food Eng.* 2008; 86: 122-132.
58. Yağci, S., Göğüş F. 2011. Quality Control Parameters of Extrudates & Methods for Determination. In *Advances in Food Extrusion* (M. Maskan & A. Altan Eds). CRC Press, New York, U. S. A., pp. 297-326.
59. Yu C, Liu J, Tang X, Shen X, Liu S. Correlations between the physical properties and chemical bonds of extruded corn starch enriched with whey protein concentrate. *RSC Adv.* 2017; 7: 11979-1198.
50. Singh B, Sekhon K. S, Singh N. Effects of moisture, temperature & level of pea grits on extrusion behaviour & product characteristics of rice. *Food Chemistry.* 2007; 100: 198-202.
51. Singh R. K. R, Majumdar R. K, Venkateshwarlu G. Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology. *J. Food Sci. Technol.* 2014; 51(9): 1827-1836.
52. Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu Ş. The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food chemistry.* 2010; 121(1): 156-164.
53. Taverna L. G, Leonel M, Mischon M. M. Changes in physical properties of extruded sour cassava starch & quinoa flour blend snacks, *Ciênc. Tecnol. Aliment. Campinas.* 2012; 32(4): 826-834.
54. Thymi S, Krokida M. K, Pappa A, Maroulis Z. B. Structural properties of extruded corn starch. *J Food Eng.* 2005;68: 519-526.