



تأثیر متغیرهای اکستروژن بر ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی غلات صبحانه بر پایه آردهای کامل جو

دوسر و سنجد

شهره تاتاری^۱، فخری شهیدی^{۲*}، محمد جواد وریدی^۳، الناز میلانی^۴، محبت محبی^۵

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

۲- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

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

۴- دانشیار گروه علوم و فناوری مواد غذایی، سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

۵- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، خراسان رضوی، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶

کلمات کلیدی:

اکستروژن،

جو دوسر،

مرکب مرکزی چرخش پذیر،

سنجد،

ویژگی‌های فیزیکی.

با توجه به اهمیت غلات صبحانه در رژیم غذایی کنونی، این فراورده‌ها می‌توانند به عنوان حامل مواد مغذی مهم به کار روند. بنابراین هدف از این پژوهش، مطالعه تأثیر متغیرهای اکستروژن شامل فرمولاسیون خوراک ورودی (نسبت آرد کامل جو دوسر- آرد کامل سنجد (۹۰-۱۰، ۷۵-۲۵ و ۶۰-۴۰ درصد)، رطوبت خوراک (۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور در دقیقه) بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی غلات صبحانه بود. این ویژگی‌ها که شامل میزان رطوبت، دانسیته توده، سختی، اندیس حلالیت در آب و شاخص‌های رنگی محصول بودند توسط روش مرکب مرکزی چرخش پذیر مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده، افزایش آرد کامل سنجد و رطوبت خوراک باعث افزایش میزان رطوبت و سختی و کاهش زردی نمونه‌ها شد. در حالی که، اندیس حلالیت در آب در اثر افزایش آرد کامل سنجد افزایش و در اثر افزایش رطوبت خوراک کاهش یافت. نتایج ارزیابی سرعت چرخش مارپیچ نشان داد، افزایش سرعت باعث کاهش دانسیته توده، سختی و اندیس حلالیت در آب گردید. همچنین با افزایش تمامی متغیرهای مورد بررسی، میزان روشنی نمونه‌ها کاهش یافت. از سویی، تفاوت بین محتوای اجزاء و ساختار آرد کامل سنجد و آرد کامل جو دوسر یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر نتایج به دست آمده بود. از سوی دیگر، اثر متغیرهای رطوبت خوراک و سرعت چرخش مارپیچ، به عنوان فاکتورهای بسیار مهم فرایند اکستروژن، بر تمامی خصوصیات فیزیکی و عملکردی محصول کاملاً قابل تشخیص بود. مطابق نتایج بهینه‌یابی به منظور تولید فراورده حجیم با ویژگی مطلوب میزان رطوبت ۱۰/۲۶ درصد، دانسیته توده ۰/۱۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب، سختی بافت ۱۱/۰۱ نیوتن، حلالیت در آب ۱۲/۶۶ درصد، روشنی رنگ ۵۶/۰۹، شرایط فرایند شامل نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جو دوسر ۹۰:۱۰، سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۲۲ درصد تعیین گردید.

DOI: 10.52547/fsct.19.124.257

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.4.1

* مسئول مکاتبات:

fshahidi@um.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه به دلیل افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان و همچنین تغییر در عادات و رژیم‌های غذایی جوامع، تقاضا برای تولید فراورده‌هایی که ضمن سهولت استفاده دارای ارزش تغذیه‌ای بالا نیز باشند، در حال گسترش است. در این راستا می‌توان به غلات صبحانه اشاره کرد که بخش قابل توجهی از سهم رژیم غذایی افراد را در زندگی مدرن به خود اختصاص داده و به دلیل طعم متنوع و رنگ‌های جذاب، ماندگاری بالا و هزینه نسبتاً کم، طرفداران بسیاری در بین افراد جامعه به ویژه کودکان و نوجوانان دارند. از این رو غلات صبحانه در طبقه‌بندی مواد غذایی در دسته‌ی غذاهای فاقد مواد مغذی^۱ قرار می‌گیرند و غنی‌سازی آن‌ها با مواد مغذی به گونه‌ای که خواص تکنولوژیکی دستخوش تغییرات نامطلوب نشود، الزامی به نظر می‌رسد [۱ و ۲].

تغییر در عادات و رژیم‌های غذایی جوامع، صنعت غذا را با خواسته‌هایی همچون ارائه فراورده‌هایی با ارزش غذایی روبه‌رو ساخته است. افزایش سطح آگاهی مصرف‌کنندگان، باعث افزایش چشمگیر سهم فراورده‌های سلامتی‌زا در رژیم‌های غذایی گردیده است [۱]. نقش مثبت فیبر رژیمی در سلامت مصرف‌کنندگان اثبات گردیده است؛ جو دوسر با نام علمی *Avena sativa* گیاهی از خانواده گندمیان است که خاستگاه آن نواحی مدیترانه، آسیای غربی از جمله ایران، اروپا و آسیای شرقی است. بر اساس مطالعات صورت گرفته، این غله منبع خوبی از اسیدهای آمینه ضروری، اسیدهای چرب غیر اشباع، ویتامین‌ها به ویژه ویتامین B₁ و مواد معدنی از قبیل آهن و فسفر است [۳]. همچنین جو دوسر حاوی مقادیر زیادی از پلی‌ساکاریدهای غیر نشاسته‌ای در دو نوع فیبر رژیمی محلول در آب مانند بتاگلوکان و نامحلول در آب مانند سلولز است. نوع محلول در آب به واسطه ایجاد ویسکوزیته در محیط دستگاه گوارش، باعث کاهش جذب استرول و گلوکز از سطح روده می‌گردد. کاربرد فیبرهای نامحلول در آب نیز به دلیل دارا بودن ظرفیت نگهداری آب^۲ بالا، بهبود عملکرد سیستم هاضمه را به دنبال خواهد داشت [۴].

با توجه به لزوم استفاده از قندهای طبیعی در فرمولاسیون غلات صبحانه می‌توان از سنجد که حاوی قندهای اصلی

گلوکز و فروکتوز می‌باشد، در فرمولاسیون غلات صبحانه استفاده نمود [۱-۳].

میوه سنجد (*Elaeagnus Angustifolia*) به دلیل سازگاری با محیط‌های مختلف در اغلب نقاط کره زمین از جمله ایران قابل کشت است. از آنجا که سنجد دارای مقادیر قابل توجهی مواد مغذی مانند قند، فیبرهای رژیمی، ترکیبات فلاونوئیدی، اسیدهای چرب آلی، ویتامین C و مواد معدنی کمیاب (پتاسیم، منیزیم، سدیم، آهن، کلسیم، روی و مس) می‌باشد، کاربردهای درمانی و صنعتی دارد [۵].

در این راستا گازرانی و همکاران (۲۰۱۷) خواص فیزیکی و کاربردی اسنک حاصل از آرد سنجد کامل و لوبیای سفید را بررسی کردند. متغیرهای فرایند اکستروژن شامل رطوبت (۲۵-۱۵ درصد)، سرعت چرخش مارپیچ (۲۵۰-۱۵۰ rpm) و درصدهای مختلف آرد سنجد کامل (۶۵-۲۰ درصد) بود. بر اساس نتایج این مطالعه، افزایش آرد سنجد باعث افزایش فیبرهای محلول و حلالیت در آب و همچنین کاهش فیبرهای نامحلول و جذب روغن اسنک نهایی گردید [۶]. وانی و همکاران (۲۰۱۶) ارزش تغذیه‌ای اسنک اکستروژ شده بر پایه آرد برنج، آرد نخود و آرد ذرت را با افزودن پودر دانه شنبلیله و آرد جو دوسر مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد با افزایش مقادیر پودر دانه شنبلیله و آرد جو دوسر، دانسیته توده و سختی افزایش یافت. همچنین افزایش آرد جو دوسر افزایش شاخص حلالیت در آب را در پی داشت [۷]. لاباتو و همکاران (۲۰۱۱) نیز با به کارگیری تکنولوژی اکستروژن، فراورده اکستروژ شده حاصل از سبوس جو دوسر، آرد سویا و نشاسته ذرت را تهیه و با استفاده از طرح آزمایشی مخلوط اثر ترکیبات خوراک بر بافت آن را مورد بررسی قرار داده و بیان داشتند بر خلاف نشاسته، افزایش درصد سایر ترکیبات باعث افزایش سختی شد [۸].

با در نظر گرفتن مطالب فوق، در این پژوهش از فرایند اکستروژن برای تهیه غلات صبحانه بر پایه نسبت‌های مختلف آردهای کامل جو دوسر و سنجد استفاده شد. در این راستا، اثر متغیرهای مستقل که شامل درصد جایگزینی آرد کامل جو دوسر- سنجد بر اساس ماده خشک (۹۰-۱۰، ۷۵-۲۵ و ۶۰-۴۰ درصد)، رطوبت خوراک اولیه (۱۴، ۱۸ و ۲۲ درصد) و سرعت چرخش مارپیچ (۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دور در دقیقه) بود، بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و عملکردی (رطوبت، دانسیته

1. Junk Food

2. Water holding capacity

دور از نور، حرارت و رطوبت در دمای اتاق نگهداری گردید [۶].

۲-۲-۳- ارزیابی خصوصیات غلات صبحانه اکستروژ شده

۲-۲-۳-۱- اندازه‌گیری میزان رطوبت: اندازه‌گیری رطوبت طبق روش استاندارد (۱۵-۱۴، AACC، ۲۰۰۰)، محاسبه شد. ۲-۲-۳-۲- دانسیته توده

برای محاسبه دانسیته توده (BD^4)، از رابطه ۱، استفاده گردید: (رابطه ۱) $BD=4m/(\pi D^2 L)$

که در آن، m جرم یک قطعه اسنک (گرم)، L و D به ترتیب طول و قطر اسنک اکستروژ شده (cm) می‌باشد. بدین منظور ۱۰ عدد اسنک به صورت تصادفی انتخاب گردید و مقادیر میانگین در فرمول بالا قرار داده شد [۹].

۲-۲-۳-۳- سختی بافت

جهت بافت سنجی نمونه‌ها از دستگاه آنالیز بافت،^۵ (AMETEK Lloyd, TA-Plus instruments Ltd, USA) استفاده شد. پروب به کار رفته از نوع استوانه‌ای به قطر ۲ میلی‌متر و عمق نفوذ در نمونه ۸ میلی‌متر بود. نتیجه آزمون، میانگین ۱۰ تکرار بود و در نهایت حداکثر نیروی وارد شده توسط دستگاه به عنوان میزان سختی اعلام گردید [۱۰].

۲-۲-۳-۴- اندیس حلالیت در آب (WSI^6)

۰/۲ گرم از محصول، درون فالتون ریخته و توزین گردید. سپس ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه، به مدت ۲ دقیقه با ورتکس هم‌زده شد و به مدت ۲۰ دقیقه در ۷۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ گردید. مایع رویی حاصل از سانتریفیوژ در آون خشک و توزین شد. حلالیت در آب طبق رابطه ۲، محاسبه گردید [۱۰].

$$WSI=(m_{ds}/m_s)\times 100 \quad (\text{رابطه ۲})$$

m_{ds} : وزن ماده خشک حاصل از آون‌گذاری مایع رویی پس از سانتریفیوژ (گرم)، m_s : وزن نمونه (گرم)

۲-۲-۳-۵- رنگ سنجی محصول

از دستگاه هانتربل برای تعیین پارامترهای رنگی نمونه‌های تولید شده استفاده شد. بدین منظور ابتدا نمونه‌ها پودر و در کاپ مخصوص ریخته شد، به طوریکه سطح پایینی آن کاملاً

توده، سختی، حلالیت در آب و پارامترهای رنگی) فراورده تولید شده مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

سنجد کامل (با هسته) واریته شکری از بازار محلی سبزوار و جو دوسر کامل از بازار محلی مشهد خریداری گردید و سپس توسط آسیاب چکشی- سایشی خرد شد. نمونه‌های آسیاب شده از الک با مش ۶۰ ($250\mu m$) عبور داده شد.

۲-۲- روش‌ها

۲-۲-۱- ارزیابی خصوصیات شیمیایی آرد کامل

سنجد و جو دوسر

پارامترهای شیمیایی آردهای کامل سنجد و جو دوسر شامل رطوبت (۱۵-۱۴، AACC)، خاکستر کل (۰۸-۰۱، AACC)، پروتئین (۰۸-۰۴، AACC) و چربی (۲۵-۳۰، AACC) اندازه‌گیری شد. همچنین میزان فیبر محلول و نامحلول طبق استانداردهای مربوطه (۴۳-۹۹۱، ۲۰۰۵، AOAC) و میزان قند کل و قند احیا کننده آرد سنجد کامل توسط روش لین و اینون^۳، تعیین گردید. از اختلاف مجموع درصد چربی، پروتئین، خاکستر و رطوبت با ۱۰۰ مقدار کربوهیدرات محاسبه شد.

۲-۲-۲- فرایند اکستروژن

ابتدا نسبت‌های مشخص آرد جو دوسر و سنجد (جدول ۲) با هم مخلوط گردید. بر اساس مربع پیرسون، رطوبت مطلوب (۲۲-۱۴ درصد) از طریق افزودن آب تنظیم شد و پس از مخلوط کردن، برای به تعادل رسیدن رطوبت، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند. به منظور تهیه غلات صبحانه از دستگاه اکستروژر دوماردونه (مدل DS56، شرکت Jinan Saxin) استفاده شد. با توجه به پیش تست‌های انجام شده دمای پخت اکستروژر، ثابت و ۱۴۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد. فراورده‌های اکستروژ شده جهت خشک شدن بلافاصله پس از تولید به آون ۴۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۲ ساعت منتقل شد، بعد از خنک شدن تا دمای محیط درون کیسه‌های پلی اتیلنی ضخیم قرار گرفت و درب‌بندی گردید. تمامی نمونه‌های تولیدی تا زمان انجام آزمایش‌های تکمیلی

4. Bulk density

5. Texture analyzer

6. Water Solubility Index

3. Lane and Inon

پوشانده شد. در این آزمون مقادیر L^* ، a^* و b^* تعیین گردید. مقادیر L^* که بین صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) متغیر است به عنوان شاخص روشنی، مقادیر مثبت a شاخص قرمزی و مقادیر منفی آن شاخص سبزی محصول است. همچنین مقادیر مثبت b شاخص زردی و مقادیر منفی آن شاخص میزان آبی بودن نمونه است [۱۱].

۲-۲-۴- طرح آماری

برای آنالیز نتایج از روش مرکب مرکزی چرخش پذیر استفاده

Table 1 The results of regression analysis in terms of coded levels

code	WOLF ¹ (A, %)	Feed moisture (B, %)	Screw rate (C, rpm)
1	40	14	120
2	25	18	150
3	25	18	150
4	40	22	180
5	25	18	150
6	25	22	150
7	25	14	150
8	10	22	180
9	25	18	150
10	25	18	180
11	40	14	180
12	25	18	150
13	25	18	150
14	25	18	150
15	10	18	150
16	40	22	120
17	25	18	150
18	10	22	120
19	25	18	120
20	40	18	150

1. Whole oleaster flour

۳- نتایج و بحث

ترکیبات شیمیایی خوراک اولیه به شرح جدول ۲، بود. نتایج میانگین سه تکرار هستند.

۳-۱- ترکیبات شیمیایی خوراک اولیه (آردهای

کامل سنجد و جو دوسر)

Table 2 The proximate composition of raw whole oleaster flour and whole oat flour

Ingredients (%)	Raw Whole Oleaster Flour (WOLF)	Raw Whole Oat Flour (WOAF)
Total Dietary Fiber	45.54±0.84	12.97±0.37
Insoluble Dietary Fiber	38.24±0.62	5.72±0.12
Soluble Dietary Fiber	7.30±0.24	7.25±0.31
Ash	2.41±0.05	2.74±0.07
Fat	0.72±0.02	4.25±0.08
Humidity	7.72±0.15	7.53±0.35
Carbohydrates	84.66±1.52	75.78±1.38
Sugar	53.33±0.93	-
Protein	4.49±0.07	9.69±1.02

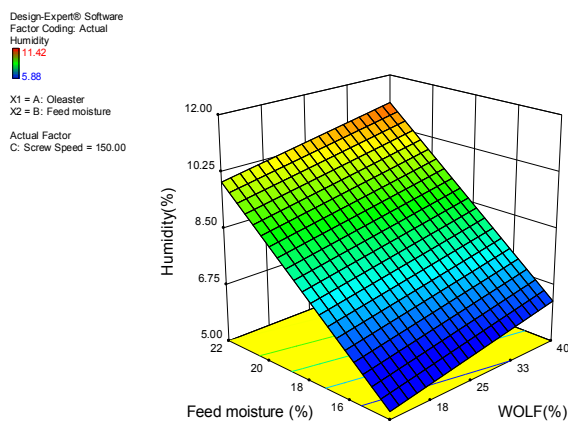


Fig 1 Effect of WOLF and feed moisture on humidity of extruded breakfast cereal

آرد کامل سنجد دارای فیبر بالاتری (۴۵/۵۴) نسبت به فیبر آرد کامل جو دوسر (۱۲/۹۷) است. محصولات حاوی فیبر بالا توانایی باند شدن و نگهداری آب آزاد را در شبکه ماده غذایی داشته و باعث حفظ بیشتر آب در محصول نهایی می‌شود [۱۴]، این نتایج منطبق بر نتایج حاصل از میان وعده حجیم بر پایه کنجاله بادام و ذرت می‌باشد [۱۴]. مقدار رطوبت باقیمانده در محصول اکستروژن شده تابعی از متغیرهای فرمولاسیون و حجم آب محصور شده در ماتریس نشاسته، ژلاتیناسیون نشاسته و میزان تبدیل آب به بخار حین افزایش حجم محصول در فرایند اکستروژن می‌باشد [۱۵]. برخی محققان افزایش رطوبت خوراک اولیه را مهمترین عامل افزایش رطوبت نمونه‌ها دانسته‌اند. در این راستا، نتایج مشابهی در فراورده‌های حجیم بر پایه برنج - بادام زمینی، برنج - سویای چربی‌گیری شده و سورگوم - سویا گزارش شده است [۱۶، ۱۷ و ۱۸].

۳-۲- ارزیابی متغیرهای مورد بررسی بر میزان

رطوبت نمونه‌های غلات صبحانه

میزان رطوبت یکی از مهمترین فاکتورها جهت تعیین مدت ماندگاری محصولات غذایی است. فراورده‌های اکستروژن شده بر خلاف سایر محصولات غلات مانند نان، کیک و مافین به دلیل دارا بودن رطوبت کمتر از ۱۲ درصد دارای ماندگاری بیشتری هستند [۱۲ و ۱۳]. از نظر آماری مدل پیشنهادی توسط نرم افزار مدل خطی بود که مقادیر بالای ضریب تبیین (۰/۹۳) و ضریب تبیین اصلاح شده (۰/۹۱) بیانگر تناسب بالای این مدل برای برازش داده‌ها است. بر اساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳)، عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان آرد سنجد (p<۰/۰۱) و رطوبت (p<۰/۰۱) بودند. میزان رطوبت نمونه‌ها بین مقادیر ۵/۸۵ و ۱۱/۴۲ درصد بود، که این محدوده مشابه با نتایج رطوبت حاصل از اسنک حجیم شده لوبیا سفید و سنجد می‌باشد [۶].

شکل ۱، اثر میزان آرد سنجد و رطوبت خوراک اولیه بر رطوبت محصول را نشان می‌دهد. با افزایش نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جو دوسر و همچنین افزایش رطوبت خوراک ورودی، میزان رطوبت محصول افزایش یافت، به طوریکه بیشترین میزان رطوبت غلات صبحانه به رطوبت خوراک اولیه ۲۲ درصد و میزان آرد سنجد ۴۰ درصد تعلق داشت. تأثیر افزایش آرد سنجد بر رطوبت را می‌توان به تفاوت در ساختار و نوع ترکیبات آردهای سنجد و جو دوسر مرتبط دانست.

Table 3 Coefficient of variables in the predictive model for response variables

Variables	Humidity	Bulk Density (BD)	Hardness (HD)	Water Solubility Index (WSI)	Lightness (L*)	Redness (a*)	Yellowness (b*)
A	0.540**	0.024***	8.510***	7.170***	-5.270***	0.100 ^{ns}	-1.490***
B	2.400***	0.004 ^{ns}	5.260***	-1.090*	-3.000***	-1.330***	-1.110***
C	-0.059 ^{ns}	-0.013**	-3.900**	-0.340 ^{ns}	-1.160*	0.900***	0.220 ^{ns}
A×B	-	-	-	-0.750 ^{ns}	-	-	-0.800**
A×C	-	-	-	-0.160 ^{ns}	-	-	0.100 ^{ns}
B×C	-	-	-	-1.040*	-	-	-0.086 ^{ns}
A ²	-	-	-	-	-	-	-
B ²	-	-	-	-	-	-	-
C ²	-	-	-	-	-	-	-
F Value	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0001***	0.0001***
R ²	0.93	0.84	0.82	0.97	0.87	0.80	0.94
Adj R ²	0.91	0.81	0.78	0.96	0.84	0.77	0.91
Lack of fit	0.5985 ^{ns}	0.0784 ^{ns}	0.5197 ^{ns}	0.1738 ^{ns}	0.4636 ^{ns}	0.3483 ^{ns}	0.4503 ^{ns}

سایر پژوهشگران تأثیر افزایش سرعت چرخش مارپیچ بر کاهش دانسیته توده را در تولید آرد برنج اکستروژده، بدلیل تأثیر بر افزایش ژلاتیناسیون دانستند [۲۴].

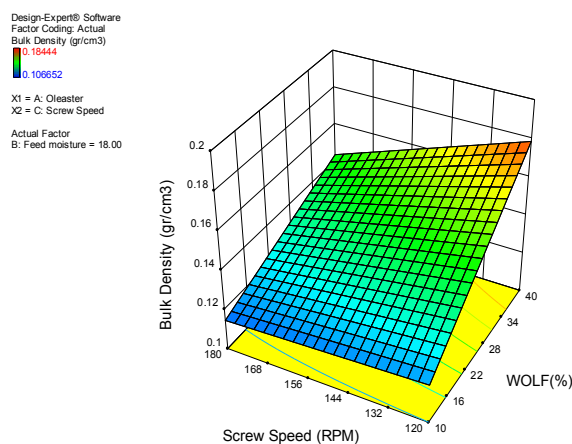


Fig 2 Effect of WOLF and screw speed on bulk density of extruded breakfast cereal

۳-۳-۳- ارزیابی متغیرهای مورد بررسی بر سختی بافت نمونه‌های غلات صبحانه

سختی بافت نشان‌دهنده حداکثر نیروی مورد نیاز جهت نفوذ یا سوراخ کردن محصول به وسیله پروب می‌باشد. بافت یکی از مهم‌ترین خصوصیات بازاریابی غلات صبحانه بوده و در نحوه پخش شدن و اختلاط این ترکیبات با آب یا شیر نقش ویژه‌ای را ایفا می‌نماید. افزودن هر نوع فراورده جانبی به فرمولاسیون محصولات اکستروژده شده سبب تغییرات بافتی محصولات می‌گردد. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده، مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار مدل خطی بود که مقادیر نسبتاً بالای ضریب تبیین (۰/۸۲) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۷۸) حاکی از تناسب آن جهت برازش داده‌ها است. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان آرد سنجده، رطوبت (p<۰/۰۰۱) و سرعت چرخش مارپیچ (p<۰/۰۱) بودند. محدوده سختی بافت نمونه‌ها در دامنه ۱۱/۶N تا ۴۰/۹ قرار داشت.

همانگونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش آرد سنجده و افزایش رطوبت، سختی نمونه‌ها افزایش یافت. با افزایش آرد سنجده، میزان قند غلات صبحانه افزایش یافته که این امر سبب افزایش سختی شده است. وقوع این پدیده به علت تشکیل حباب‌های ضعیف ایجاد شده در اثر کاهش پلیمر نشاسته‌ای و کاهش گیر افتادن بین پلی‌ساکاریدهای نشاسته به علت تغییر در ساختار نشاسته می‌باشد [۲۵]. این نتایج مطابق با یافته‌های

۳-۳- ارزیابی متغیرهای مورد بررسی بر

دانسیته توده نمونه‌های غلات صبحانه

دانسیته توده یک خاصیت فیزیکی عمده غلات صبحانه و بیانگر افزایش حجم در تمامی ابعاد فراورده‌های اکستروژده شده می‌باشد. دانسیته توده دارای رابطه ای معکوس با ضریب انبساط دارد و دانسیته پایین همراه با نسبت انبساط بالا از ویژگی‌های مطلوب و مورد انتظار در غلات صبحانه اکستروژده هستند. از آنجایی که دانسیته توده و سختی هر دو تحت تأثیر ضریب انبساط قرار دارند، دانسیته توده می‌تواند به عنوان یک پارامتر کیفیت برای بررسی ویژگی‌های بافت غلات صبحانه استفاده شود [۱۸]. از نظر آماری مدل خطی برای دانسیته توده مناسب ارزیابی شد که دارای مقادیر بالای ضریب تبیین (۰/۸۴) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۸۱) بود. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر خطی میزان آرد سنجده (p<۰/۰۰۱) و سرعت چرخش مارپیچ (p<۰/۰۰۱) معنی‌دار بود (جدول ۳). محدوده دانسیته محاسبه شده نمونه‌ها بین ۰/۱۰۶۶ g/cm³ تا ۰/۱۸۴۴ بود.

در شکل ۲ چنانچه مشاهده می‌شود افزایش سنجده تأثیر معنی‌داری بر روند افزایش دانسیته توده داشت. همچنین با افزایش سرعت چرخش مارپیچ کاهش دانسیته توده مشاهده شد. با این حال افزایش همزمان دو پارامتر بدلیل تأثیر بیشتر سنجده بر روند تغییرات سبب افزایش روند تغییرات دانسیته گردید. با افزایش سنجده فیبر موجود در فراورده اکستروژده شده افزایش می‌یابد. افزایش فیبر در محصولات اکستروژده شده سبب ساختاری متراکم، کاهش اندازه سلول‌های هوایی، افزایش تعداد منافذ غیریکنواخت در دیواره سلولی شده و در نهایت سبب کاهش انبساط و افزایش دانسیته توده می‌گردد [۱۹]. مطابق نتایج مطالعه‌ای فیبرها اتصال قوی‌تری در مقایسه با پروتئین و نشاسته با آب برقرار می‌کنند و این اتصال می‌تواند با محدود کردن آب در دسترس، سبب کاهش میزان انبساط و افزایش دانسیته توده گردد [۲۰]. پژوهش حاضر با نتایج محققان دیگر در خصوص تولید اسنک رژیمی ویژه کودکان با پودر میوه خشک شده و در مورد فراورده‌های غنی از فیبر بر پایه پودر گوجه‌فرنگی مطابقت داشت [۲۱ و ۲۲]. افزایش سرعت چرخش مارپیچ با افزایش همزمان نیروی برشی و درجه حرارت از طریق کاهش ویسکوزیته خمیر مذاب در حال اختلاط و افزایش الاستیسیته خمیر، کاهش دانسیته را سبب می‌شود [۲۳].

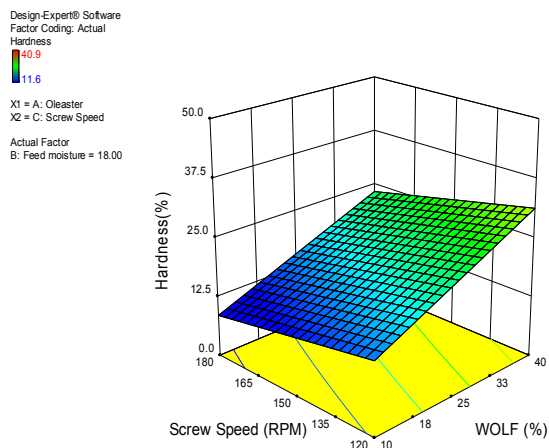


Fig 4 Effect of WOLF and screw speed on hardness of extruded breakfast cereal

۳-۴- ارزیابی متغیرهای مورد بررسی بر شاخص حلالیت در آب نمونه‌های غلات صبحانه

شاخص حلالیت در آب به عنوان شاخص تخریب اجزای مولکول مورد استفاده قرار می‌گیرد و در واقع میزان تبدیل اجزای نشاسته به پلی ساکاریدهای محلول آزاد شده طی اکستروژن را اندازه‌گیری می‌کند [۱۰]. از نظر آماری مدل چندجمله‌ای درجه ۲ برای متغیرهای فرایند معنی‌دار بود ($p < 0.05$). بر اساس نتایج آنالیز واریانس مندرج در جدول ۲ همان طور که مشخص است عبارت های معنی‌دار مدل شامل میزان آرد سنجید ($p < 0.001$)، میزان رطوبت ($p < 0.05$) و اثر متقابل بین میزان رطوبت و سرعت ماریچ ($p < 0.05$) بودند. چنانچه مشاهده می‌شود آزمون عدم قطعیت برازش مدل بیانگر معنی‌داری آن بود. از سوی دیگر بر اساس جدول ۳ مقادیر بالای ضریب تبیین (0.97) و ضریب تبیین تصحیح شده (0.96)، بیانگر تناسب بالای مدل برای برازش داده‌ها است. میزان شاخص حلالیت در آب حاصله از این نمونه‌ها بین مقادیر ۱۲ و ۳۰/۸۴ بود.

با توجه به شکل ۵، افزایش آرد سنجید باعث افزایش میزان حلالیت و افزایش رطوبت خوراک باعث کاهش میزان حلالیت در آب گردید، هرچند به دلیل تأثیرگذارتر بودن میزان افزایش آرد سنجید، با افزایش همزمان هر دو متغیر میزان حلالیت در آب نیز افزایش یافت. بیشینه شاخص حلالیت در آب (۳۰/۸۴) در نمونه‌هایی با میزان آرد سنجید ۴۰ درصد و رطوبت ۱۴

حاصل از تولید غلات صبحانه غنی‌شده با پودر میوه‌های مختلف (سیب، موز، نارنگی و توت فرنگی) می‌باشد [۲۱]. افزایش رطوبت سبب کاهش دمای خمیر مذاب در طول اکسترودر شده و کاهش دمای خمیر مذاب سبب کاهش ویسکوزیته و شل شدن خمیر می‌گردد، از این‌رو با افت ناگهانی دمای پخت دمای کافی برای تبدیل آب موجود در خمیر به بخار آب وجود نداشته و رشد حباب‌ها در طول خمیر با مشکل مواجه شده و سبب خروج فراورده‌ای با انبساط کم و بافت سفت خواهد شد [۲۲]. در این راستا، نتایج مشابهی با افزایش رطوبت از ۱۵ تا ۲۳ درصد طی تولید فراورده اکسترودر شده بر پایه آرد برنج و لوبیای قرمز گزارش شده است [۲۶].

شکل ۴، نشان داد که افزایش سرعت چرخش ماریچ و افزایش مستقل میزان سنجید به ترتیب باعث کاهش و افزایش سختی شد، اما به دلیل تأثیر بیشتر فاکتور غلظت سنجید، با افزایش همزمان دو متغیر میزان سختی نیز افزایش یافت. افزایش سرعت چرخش ماریچ با افزایش نیروی برشی در اکسترودر همراه است که این امر سبب افزایش میزان انبساط محصولات اکسترودر شده می‌شود، بنابراین کاهش سختی را به همراه خواهد داشت. همچنین تشدید اثر حرارت روی خمیر مذاب داخل اکسترودر به دلیل کاهش زمان تماس خمیر مذاب با حرارت در اکسترودر سبب افزایش میزان ژلاتیناسیون و کاهش سختی می‌گردد [۲۷-۳۱]. کاهش سختی به دلیل افزایش سرعت چرخش ماریچ در فراورده‌هایی بر پایه پوره هویج-گل کلم [۳۲] و ذرت-عدس [۳۳] نیز گزارش شده است.

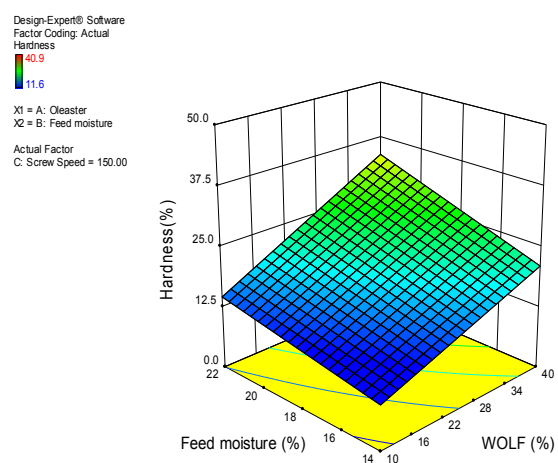


Fig 3 Effect of WOLF and feed moisture on hardness of extruded breakfast cereal

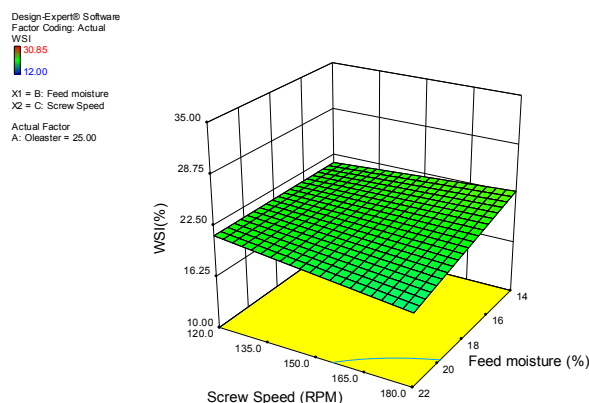


Fig 6 Effect of feed moisture and screw speed on WSI of extruded breakfast cereal

۳-۵- ارزیابی متغیرهای مورد بررسی بر

شاخص‌های رنگی نمونه‌های غلات صبحانه

۳-۵-۱- شاخص روشنی (L^*) نمونه‌های غلات

صبحانه

رنگ، اولین و مهمترین فاکتور کیفی در جذب مصرف‌کننده پیش از انتخاب محصول است که می‌تواند اطلاعات مهمی درباره شدت فرآیند اکستروژن در اختیار قرار دهد. بر اساس تجزیه و تحلیل آماری، مدل خطی با ضریب تبیین (0.87) و ضریب تبیین تصحیح شده (0.84) به عنوان بهترین مدل توسط نرم افزار معرفی گردید. نتایج آنالیز واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار افزودن میزان آرد سنجد ($p < 0.001$)، رطوبت خوراک ($p < 0.001$) و سرعت چرخش مارپیچ ($p < 0.05$) بر شاخص روشنی (L^*) بود (جدول ۳). میزان شاخص روشنی رنگ اندازه‌گیری شده بین 46.49 تا 61.02 بود.

بر اساس شکل ۷، با افزایش میزان آرد سنجد و رطوبت، روشنی محصول کاهش یافت.

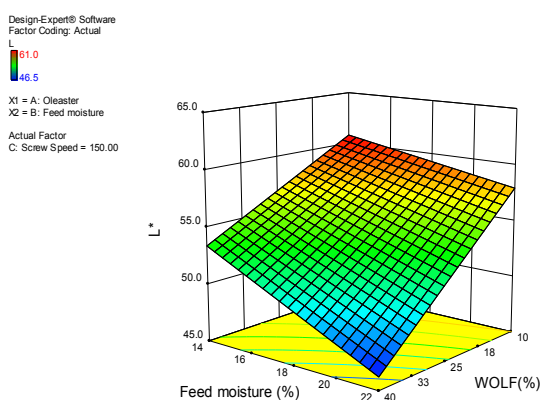


Fig 7 Effect of WOLF and feed moisture on L^* of extruded breakfast cereal

درصد مشاهده گردید. افزایش میزان حلالیت احتمالاً به دلیل تأثیر فرایند اکستروژن در تغییر دادن ساختار مولکولی فیبرها و ایجاد ترکیباتی با وزن مولکولی پایین‌تر در نمونه‌هاست [۳۴]، همچنین این افزایش می‌تواند مربوط به مقدار کمتر نشاسته، میزان بالاتر فیبر و قند آرد سنجد نسبت به آردجو دوسر باشد، این نتایج مشابه با یافته‌های حاصل از فراوده حجیم سنجد و لوبیای سفید می‌باشد [۶].

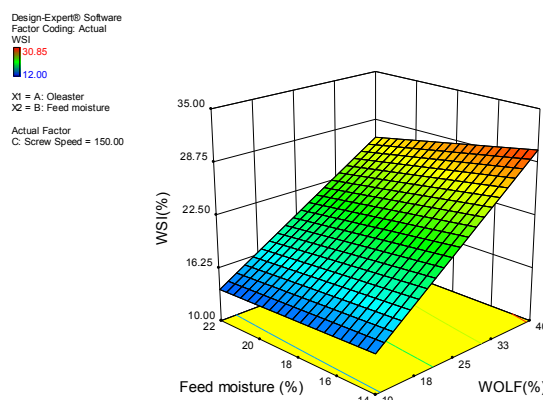


Fig 5 Effect of WOLF and feed moisture on WSI of extruded breakfast cereal

از طرفی آب به عنوان عامل پلاستی‌سایزر در طول پخت اکستروژن عمل کرده [۳۵ و ۳۶] و رطوبت بالا از توسعه و پخش انرژی مخصوص مکانیکی جلوگیری نموده و احتمالاً آسیب و شکسته شدن زنجیره‌های نشاسته را کاهش داده است. در نتیجه رطوبت بر روی ساختار بیوپلیمر نشاسته حالت محافظتی اعمال می‌کند [۳۷] و باعث کاهش حلالیت در آب می‌گردد. این نتایج مشابه نتایج در مورد اسنک حاصل از برنج پیش‌ژلاتینه شده و فراورده حجیم بر پایه لوبیای مانگ و برنج است [۳۶ و ۳۷].

همچنین با توجه به شکل ۶، با افزایش همزمان سرعت چرخش مارپیچ و رطوبت خوراک کاهش میزان حلالیت در آب مشاهده گردید.

از آنجایی‌که فرایند اکستروژن در سرعت چرخش مارپیچ بالا ضمن ایجاد شکاف و تخریب در زنجیره نشاسته، تولید دکستروزین را به دنبال دارد، ممکن است باعث ایجاد اثرات متقابل مولکولی بین نشاسته تخریب شده، پروتئین و چربی شده و انحلال پذیری را کاهش دهد [۳۸].

($p < 0.001$) بر شاخص قرمزی نمونه‌ها داشتند (جدول ۳). میزان شاخص قرمزی در محدوده ۵/۳۰ تا ۱۰/۲۵ به‌دست آمد.

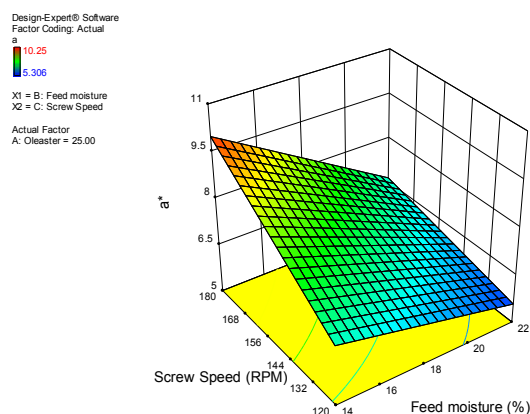


Fig 9 Effect of feed moisture and screw speed on a^* of extruded breakfast cereal

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌گردد، هر چند افزایش رطوبت باعث کاهش شاخص قرمزی و افزایش سرعت چرخش مارپیچ باعث افزایش شاخص قرمزی شد، به دلیل تأثیرگذارتر بودن سرعت چرخش مارپیچ، با افزایش همزمان هر دو متغیر میزان این شاخص رنگی افزایش یافت. دلیل کاهش شاخص قرمزی در اثر افزایش رطوبت را می‌توان به محافظت بیشتر پیگمان‌ها در برابر تخریب و کاهش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مرتبط نمود. در گزارش‌هایی دیگر نیز عامل افزایش شاخص قرمزی در نمونه حجیم بر پایه پسماند برنج و سویا، شدت یافتن واکنش‌های کاراملیزاسیون و مایلارد در رطوبت پایین (کمتر از ۱۶/۹ درصد) بیان شده است [۴۲]. همچنین افزایش انرژی مکانیکی ویژه که در اثر کاهش رطوبت و افزایش سرعت چرخش مارپیچ حادث می‌گردد باعث افزایش شاخص قرمزی گردید [۴۳].

۳-۵-۳- شاخص زردی (b^*) نمونه‌های غلات صبحانه

در راستای بررسی شاخص زردی، مدل چند جمله‌ای درجه ۲ توسط نرم‌افزار انتخاب گردید که دارای مقادیر بالای ضریب تبیین (۰/۹۴) و ضریب تبیین تصحیح شده (۰/۹۱) بود. بر اساس نتایج آنالیز واریانس، عبارت‌های معنی‌دار مدل شامل میزان آرد سنج و رطوبت ($p < 0.001$) و همچنین اثر متقابل آن‌ها ($p < 0.001$) بود (جدول ۳). میزان شاخص زردی غلات صبحانه بین ۲۱/۶۴ و ۲۷/۲۱ محاسبه گردید.

با افزایش میزان آرد سنج به دلیل حضور پیگمان‌های قهوه‌ای رنگ در آرد سنج کامل (به ویژه پوست آن) روشنی محصول کاهش یافت. در زمینه محصولات بر پایه سنج با افزایش ۳ تا ۱۵ درصد سطح جایگزینی سنج با گندم در نان، کاهش معنی‌دار روشنی در مقادیر بیش از ۹ درصد آرد سنج گزارش شده است [۴۰]. از سوی دیگر، با افزایش میزان رطوبت به دلیل کاهش انبساط نمونه‌های غلات صبحانه، میزان روشنی آن‌ها کاهش یافت [۴۱]. به عبارتی می‌توان بیان نمود که بافت‌های سفت و متراکم، به دلیل ناهمگون و غیر یکنواخت بودن، انعکاس نور کمتری داشته و مقدار مولفه رنگی L^* در آن‌ها کمتر است [۴۰].

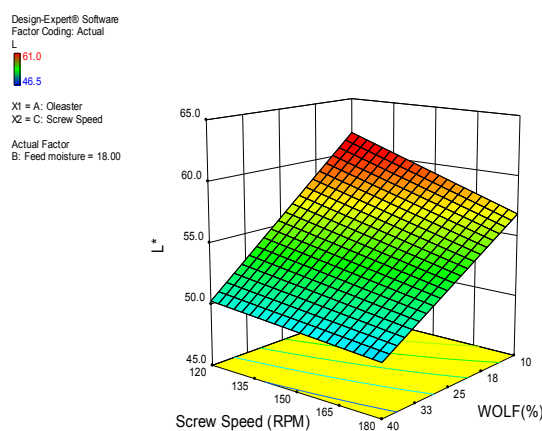


Fig 8 Effect of WOLF and screw speed on L^* of extruded breakfast cereal

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش هر دو پارامتر میزان آرد سنج و سرعت چرخش مارپیچ، میزان روشنایی کاهش یافته و روند کاملاً نزولی در نمودار مشاهده می‌شود. هم‌زمان با افزایش میزان آرد سنج سهم نشاسته کاهش یافته و بالطبع آن میزان ژلاتیناسیون کاهش می‌یابد، از این رو با افزایش سرعت چرخش مارپیچ دکستریزه شدن نشاسته افزایش یافته بطوری که در سرعت چرخش ۱۸۰rpm با کاهش ژلاتیناسیون و افزایش تخریب مولکول‌های نشاسته دیواره سلول‌های هوائی بسیار نازک شده و توانایی محصور کردن بخار آب را نداشته و تخریب می‌شود کلیه این پدیده‌ها سبب کاهش روشنایی فراورده خروجی می‌گردد [۳۸].

۳-۵-۲- شاخص قرمزی (a^*) نمونه‌های غلات صبحانه

مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم‌افزار مدل خطی بود که در آن، متغیرهای رطوبت و سرعت مارپیچ تأثیر معنی‌داری

مایلارد کاهش می‌یابد، ازاین رو نیز شاخص زردی کاهش می‌یابد [۴۴]. این نتایج مشابه تولید فراورده حجیم حاصل از دانه چیا است [۴۱].

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual
b
27.2
21.6
X1 = A: Oleaster
X2 = B: Feed moisture
Actual Factor
C: Screw Speed = 150.00

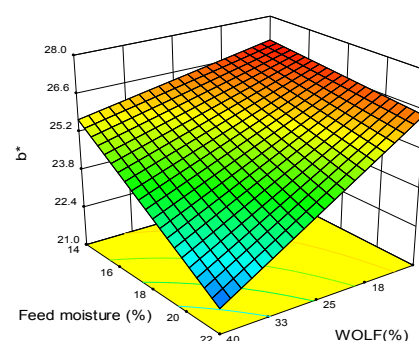


Fig 9 Effect of WOLF and feed moisture on b^* of extruded breakfast cereal

با توجه به شکل ۱۰، با افزایش همزمان رطوبت خوراک ورودی و میزان آرد سنجد، به دلیل نقش پلاستی سایزری آب، زمان ماند ماده در داخل اکسترودر کاهش یافته و در نتیجه اثر تخریبی اکسترودر بر پیگمان‌های رنگی و شدت واکنش

۴- بهینه‌یابی فرمولاسیون و فرآیند اکستروژن در تولید غلات صبحانه

در این پژوهش، هدف از بهینه‌یابی رسیدن به محصولی با ویژگی‌های مطلوب کمینه میزان سختی، دانسیته توده و بیشینه حلالیت در آب بود. نتایج بهینه‌یابی در جدول شماره ۴ آورده شده است. شرایط بهینه فرمولاسیون و فرایند شامل نسبت آرد کامل سنجد به آرد کامل جو دوسر ۹۰ : ۱۰، سرعت چرخش مارپیچ ۱۸۰ دور بر دقیقه و میزان رطوبت خوراک ورودی ۲۲ درصد تعیین گردید.

Table 4 Predicted value for expanded breakfast cereal response variables

Humidity (%)	Bulk Density (BD) (g.cm-3)	Hardness (HD) (N)	Water Solubility Index (WSI) (%)	Lightness (L*)	Redness (a*)	Yellowness (b*)
10.26	0.11	11.01	12.66	56.09	7.07	26.51

and Niakowsari, M. 2013. The effects of oat gum on the physicochemical and sensory properties of noodles. *20st International Congress on Food Technology*, 71-81.

[3] Arendt, E.K., and Zannini, E. 2013. *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries*, Elsevier.

[4] Sahan, Y., Gocmen, D., Cansev, A., Celik, G., Aydin, E., Dundar, A.N., Dulger, D., H. Kaplan, B., Kilci, A., and Gucer, S. 2015. Chemical and techno-functional properties of flours from peeled and unpeeled oleaster (*Elaeagnus Angustifolia* L.). *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88:34 – 41.

[5]-Sahan, Y., Neslihan Dundar, A., Aydin, E., Kilci, A., Dulger, D., Kaplan, F. B., Gocmen, D., & Celik, G. 2013. Characteristics of cookies supplemented with Oleaster (*Elaeagnus Angustifolia* L.) Flour. I Physicochemical, Sensorial and Textural properties, *Journal of Agricultural Science*, 5:160-168.

[6] Gazerani S., Mortazavi S.A., ElhamiRad A.H., and Koochaki A. 2017. Physical and

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به لزوم غنی‌سازی فرمولاسیون غلات صبحانه و با درنظرگرفتن اینکه غلات صبحانه بیشتر در کودکان و یا افراد در حال رشد مورد مصرف قرار می‌گیرد، از اینرو یکی از اهداف برنامه‌های غنی‌سازی می‌تواند تاکید بر تغییر فرمولاسیون غلات صبحانه با رویکرد جایگزین‌های طبیعی شکر و کاربرد غلات مفیدی از جمله جو دوسر باشد. در این پژوهش با تولید غله صبحانه بر پایه آردهای کامل جو دوسر-سنجد، امکان تولید فراورده‌ای سالم، مغذی و قابل جایگزینی با نمونه‌های تجاری موجود در بازار حاصل گردید. همچنین این پژوهش بیانگر کارایی مناسب فراورده‌های صنایع تبدیلی در فرمولاسیون انواع غلات صبحانه سلامتی‌زا بود.

۶- منابع

- [1] Mardani Toroghi, P., and Basiri, A. 2014. Wheat-based instant drink. *The First National Congress on Snack Foods*, 90-92.
- [2] Layegh, B., Majzoobi, M., Farahnaki, A.,

- Effect of process parameters on the proximate composition, functional & sensory properties, *World academy of science, engineering & technology*, 7: 540-549.
- [16] Singh, D. S., Garg, S. K., Singh, M., and Kalpana, D. 2005. Optimization of processing parameters of soy-sorghum blends extrudates, *Journal of Agriculture Engineering*, 42: 45-49.
- [17] Garg, S. K. and Singh, D. S. 2010, Optimization of extrusion conditions for defatted soy-rice blend extrudates, *Journal of Food Science Technology*, 47(6): 606-612.
- [18] Chessari, C. J., & Sellaheewa, J. N. (2000). Effective process control. In R. Guy (Ed.), *Extrusion cooking technologies and applications*. pp: 83-107.
- [19] Altan, A. McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008a). Extrusion cooking of barley flour and process parameter optimization by using response surface methodology. *Journal of Science Food and Agriculture*, 88(9):1648-1659.
- [20] Camire, M.E., & King, C.C. (1991). Protein and fiber supplementation effects on extruded cornmeal snack quality. *Journal of Food Science*, 56(3):760-763.
- [21] Potter, R., Stojceska, V., and Plunkett, A. 2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable for children's diets, *LWT-Food Science Technology*, 51: 537-544.
- [22] Dehghan-Shoar, Z., Hardacre, A. K., and Breean, C., S. 2010. The Physico-chemical characteristics of extruded snacks enriched with tomato lycopene, *Food Chemistry*, 123:1117-1122.
- [23] Yağci, S., and Göğüş, F. 2008. Response surface methodology for evaluation of physical & functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products, *Journal of Food Engineering*, 86: 122-132.
- [24] Hagenimana, A., Ding, X., and Fang, T. 2006. Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science* 43(1): 38-46.
- [25] Sacchetti, G., Pinnavaia, G.G., Guldon, E., Dall Rosa, M., 2004. Effect of extrusion temperature and feed composition on functional, physical and sensory properties of Chestnut and rice flour-based snack-like products. *Food Research International*. 37:527-534.
- functional evaluation puffed snack prepared from whole oleaster powder and navy bean powder, *Asian Journal of Biological and Life Sciences*, 6:447-454.
- [7] Wani, S. A., and Kumar, P. 2016. Fenugreek enriched extruded product: optimization of ingredients using response surface methodology, *International Food Research Journal*, 23:18-25.
- [8] Lobato, L.P., Anibal, D., Lazaretti, M.M., and Grossmann, M.V.E. 2011. Extruded puffed functional ingredient with oat bran and soy flour, *Food Science and Technology*, 44: 933-939.
- [9] Wani, S.A., Solanke, N., and Kumar, P. 2015. Extruded Product Based on Oat and Fenugreek and their Storage Stability, *Current Nutrition and Food Science*, 11:78-84.
- [10] Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A. Tucker, G., and Marson, H. 2006. The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks, *Journal of Food Engineering*, 73: 142-148.
- [11] Lei, H., Ruan, R., Fulcher, R. G., and van Lengerich, B. 2008. Color development in an extrusion-cooked model system, *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 1: 55-63.
- [12] Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Afoakwa, E. O., Sakyi-Dawson, E., and Budu, A. S. 2012, Extrusion cooking of rice-groundnut-cowpea mixtures-effects of extruder characteristics on nutritive value & physic-functional properties of extrudates using response surface methodology, *Journal of Food Processing & Preservation*, 36: 465-476.
- [13] Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., and 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 & Nutrition*, 55(5): 431-439.
- [14] Hashemi, N., Mortazavi, S. A., Milani, E., Tabatabai-Yazdi, F., 2016, Microstructural and textural properties of puffed snack prepared from partially defatted almond powder and cornflour, *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI 10.1111/jfpp.13210.
- [15] Omohimi, C. I., Sobukola, O. P., Sarafadeen, K. O., and Sanni, L. O. 2013.

- Science*, 43: 38-46.
- [36] Gat, Y., and Ananthanarayan, L. 2015. Effect of extrusion process parameters and pregelatinized rice flour on physicochemical properties of ready-to-eat expanded snacks. *Journal of Food Science Technology*, 25:2634-2645.
- [37] Sharma, C., Singh, B., Hussain, S Z., and Sharma, S. 2017. Investigation of process and product parameters for physicochemical properties of rice and mung bean (*Vigna radiata*) flour based extruded snacks. *Journal of Food Science Technology*, DOI 10.1007/s13197-017-2606-8.
- [38] Moraru, C. I., Kokini, J. L. 2003. Nucleation & expansion during extrusion & microwave heating of cereal foods, *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2: 120-138.
- [39] Oliveira, L. C., Schmiele, M., and Steel, C. J. 2017. Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture. *LWT - Food Science and Technology*, 75: 261-270.
- [40] Sarraf, M., Mohamadi Sani, A., and Mehraban Sang Atash, M. 2016. Physicochemical, organoleptic characteristics and image analysis of doughnut enriched with oleaster flour. *Journal of Food Processing and Preservation*. DOI:10.1111/jfpp.13021.
- [41] Byars, J. A., and Singh, M. 2014. Properties of extruded chiaecorn meal puffs, *LWT - Food Science and Technology*. DOI 10.1016/j.lwt.2014.06.036.
- [42] Lazou, A., and Krokida, M. 2010. Structural & textural characterization of corn-lentil extruded snacks, *Journal of Food Engineering*, 100: 392-408.
- [43] Milani, E., Hashemi, N., Mortazavi, S.A., Tabatabaiyazdi, F. 2017. The effect of extrusion parameters and formulation on Physicochemical properties of extruded snacks based on deffated almond powder and corn flour. *New food technologies*. 5(1): 123-140.
- [44] Goli Movahed, G., Millani, E., and Jafari, M. 2018. Utilization of extruded wheat bran in Barbary bread: Evaluation of sensory, color and texture properties of bread and rheological properties of dough. *Journal of Food Science and Technology*. 82(15): 129-137.
- [26] Jain, D., Devi, M., and Thakur, N. 2013. 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*, 15: 231-242.
- [27] Singh, B., Rachna Hussain, S. Z. and Sharma, S. 2014, Response surface analysis & process optimization of twin-screw extrusion cooking of potato-based snacks, *Journal of Food Process*, 3:1-12.
- [28] Singh, R. K. R., Majumdar, R. K., and Venkateshwarlu, G. 2014. Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology, *Journal of Food Science Technology*, 51: 1827-1836.
- [29] Choi, I. D., and Phillips, R. D. 2004. Cellular structure of peanut-based extruded snack products using scanning electron microscopy, *Journal of Texture Studies*, 35: 353-370.
- [30] Li, SQ., Zhang, H. Q., Jin, Z. T. and Hsieh, Fh. 2005. Textural modification of soya bean/corn extrudates as affected by moisture content, screw speed & soya bean concentration, *International Journal of Food Science & Technology*, 40: 731-741.
- [31] Liu, C., Zhang, Y., Liu, W., Wan, J., Wang, W., Wu, L., Zuo, N., Zhou, Y., and Yin, Z. 2011. Preparation, physicochemical & texture properties of texturized rice produced by Improved Extrusion Cooking Technology, *Journal of Cereal Science*, 54:473-480.
- [32] Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., and Gupta, K. 2016. Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53: 445-473
- [33] Lazou, A., and Krokida, M. 2010. Sensory properties & acceptability of corn & lentil extruded puffs, *Journal of sensory studies*, 25: 838-860.
- [34] Brennan MA, Derbyshire E, Tiwari BK, Brennan CS (2013). Integration of β -glucan fiber-rich fractions from barley and mushrooms to form healthy extruded snacks. *Pla foods hum nut*. 68(1): 78-82.
- [35] Hagenimana, A., Ding, X., and Fang, T. 2006, Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal*



The effect of extrusion variables on physical and functional properties of breakfast cereal based on whole oleaster and oat flours

Tatari, Sh. ¹, Shahidi, F. ^{2*}, Varidi, M. J. ³, Milani, E. ⁴, Mohebi, M. ⁵

1. Ph.D. Student of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
2. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
3. Profesor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
4. Associate Professor, Department of Food Processing, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.
5. Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Khorasan Razavi, Iran.

ABSTRACT

With regard to the importance of breakfast cereal in today's eating habit, these products can serve as vehicles for the main nutrients. Therefore, the purpose of this research was to investigate the effect of extrusion variables containing replacement level of whole oat flour with whole oleaster flour (10, 25 and 40%), feed moisture (14, 18 and 22%) and screw speed (120, 150 and 180 rpm) on some physical and functional properties of breakfast cereal. These properties included moisture content, bulk density (BD), hardness (HD), water solubility index (WSI) and color parameters assessed by central composite rotatable design. Based on the obtained results, an increase of the whole oleaster flour and feed moisture increased the moisture content and hardness and decreased the yellowness of the samples. While the water solubility index was increased by increasing the whole oleaster flour and was decreased by increasing the feed moisture. The evaluation results of the screw speed indicated that increasing the speed resulted in less bulk density, hardness and water solubility index. Additionally, the lightness of samples decreased due to a higher amount of all the variables studied. On the one hand, the difference between ingredients content and structure of the whole oleaster flour and the whole oat flour was one of the most effective factors on the obtained results. On the other hand, the influence of the feed moisture and screw speed, as very important factors of the extrusion process, on the physical and functional properties of the product was completely recognized. Optimum condition was found to the blends of whole oleaster flour/whole oat flour (10:90), screw rate of 180 rpm, and feed moisture content of 22% with desirable properties including humidity(10.26%), bulk density (0.11 g/cm³), hardness (11.01 N), water solubility index (12.66 %), lightness (56.09).

ARTICLE INFO

Article History:

Received 2019/ 12/ 27
Accepted 2020/ 04/ 04

Keywords:

Extrusion,
Oat, Oleaster,
Physical properties,
Central composite rotatable

DOI: 10.52547/fsct.19.124.257

DOR: 20.1001.1.20088787.1401.19.124.4.1

*Corresponding Author E-Mail:
fshahidi@um.ac.ir