بررسی و یژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی میان وعده حجیم غنی‌شده با کنسانتره پروتئین آب‌پنیر

شیرین یاقوت کار[۱]، النازمیلانی[۲*]، غلامعلی گلی موحد[۳]

۱- کارشناس ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد قوچان
۲- استادیار، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاه یخراسان رضوی
۳- مربی، پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی
(تاریخ دریافت: ۹۶ /۰۸/۰٤ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۷/۲٤)

چکیده

نیاز مبرم برای توسعه انواع اسنک (میان وعده) های حجیم با رویکرد بهبود ویژگی عملگری و تغذیه‌ای در حال افزایش است. هدف از این پژوهش بهینه‌سازی فرمولاسیون میان وعده حجیم غذایی حاوی پروتئین بالا بود. پروتئین آب‌پنیر مهم‌ترین نوع تجاری شده در بازار و درمقایسه با سایر منابع پروتئینی می‌باشد. در این راستا، تاثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (٤-۱۲ درصد) و رطوبت خوراک ورودی به اکسترودر (۱۱-۱٦ درصد) بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی و عملکردی اسنک حجیم مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از دراژه زنی با پودر لبو (۱۵-۵درصد) و روغن ذرت (٦۰-٤۰ درصد) اسنک تولیدی ازنظر حسی ارزیابی شدند.ویژگی های تردی، تخلخل و بافت سنجی، عطر و طعم، احساس دهانی و پذبرش کلی بررسی شدند.نتایج حاصل از بهینه یابی نشان داد مطلوب‌ترین حالت برای تولید فراورده حجیم شامل رطوبت خوراک ورودی ۱۱/۱۰٪ و میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر ۸/۸۳٪ تعیین گردید. براین اساس میزان رطوبت محصول نهایی: ۱/۷۰٪، میزان انبساط شوندگی: ٦/٤۹٪، دانسیته ی توده:($g\ cm^{-3}$) ۰/۰۷، میزان تخلخل: ۰/۹٪و میزان سختی اسنک حجیم:۱/٦۱N به دست آمدند. خصوصیات عملکردی اسنک حجیم شامل شاخص جذب روغن، شاخص حلالیت در آب و شاخص جذب آب به ترتیب(g/g) ٦۳/ ۲،(g/g)٤۹/۵۰ و(g/g)۳/۵۳ بود. همچنین نتایج نشان داد میزان شاخص روشنایی: ۵۷/۰۳، شاخص قرمزی: ۷/۵۰ و شاخص زردی اسنک حجیم: ۲۱/٦۸ بودند.مناسب ترین فرمول برای رسیدن به دراژه ای با ویژگی های حسی مطلوب نیز شامل۱۵ درصد پودر لبو و ٤۰/۱۷۰۸ درصد روغن ذرت تایین گردید. این مطالعه به‌خوبی نشان داد پودر کنسانتره ی پروتئین آب‌پنیر به‌عنوان فراورده جنبی صنایع غذایی، می‌تواند نامزد مناسبی در برنامه غنی‌سازی میان وعده غذاییبه‌ویژه غذای کودک باشد.

کلید واژگان: میان وعده حجیم، پختاکستروژن، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، بافت.

*مسئول مکاتبات: e.milani@jdm.ac.ir

۱- مقدمه

توجه به وضعیت سلامت و تغذیه کودکان از مسائل زیر بنایی جوامع پیشرفته به شمار می‌رود. بسیاری از کودکان تمایل به مصرف صبحانه ندارند که می‌توان با ارائه میان وعده‌های غذایی سالمکه شامل اجزاء ضروری رژیم غذایی کودکان می‌باشد تمایل آن‌ها را برای مصرف صبحانه افزایش داد. امروزه فراورده‌های حجیم‌شده نظیر اسنک‌ها و غلات صبحانه به دلیل دارا بودن بافتی ترد بسیار محبوب می‌باشند که این بافت ترد به دلیل ایجاد ساختار لانه زنبوری در فراورده در طی عملیات اکستروژن می‌باشد [۱ و ۲].

اکستروژن یک فرایند دمای بالا-زمان کوتاه[1] برای تولید طیف گسترده‌ای از مواد غذایی است. طی این فرایند مواد غذایی تحت گرما و نیروی برشی بالا قرار می‌گیرند تا به شکل مذاب و ویسکوز تبدیل شوند. این ماده‌ی ذوب‌شده با فشار از یک قالب عبور می‌کند و در اثر اختلاف فشار بین محیط داخل و اتمسفر انبساط یافته و محصول نهایی تشکیل می‌شود. این فرایند دارای مزایای خاص مانند کاهش محتوای میکروبی، غیرفعال کردن برخی از آنزیم‌ها و فاکتورهای ضد تغذیه (کاهش فیتات و بازدارنده‌های تریپسین)، افزایش قابلیت هضم نشاسته و پروتئین و اصلاح ویژگی‌هایحسی می‌باشد [۳، ٤ و ٥].

در فرمولاسیون غذای کودک، همواره باید توجه داشت که غذای کودک ازنظر ترکیبات پروتئینی، اسیدهای آمینه ضروری، ویتامین‌ها و اسیدهای چرب مناسب بوده و قابلیت هضم بالایی داشته باشند. در فرمولاسیون غذای کودک اولین مرحله، انتخاب ماده اولیه‌ی غالب در فرمولاسیون می‌باشدکه اغلب گندم، ذرت و برنج می‌باشد. ولیکن این غلات منابع فقیر پروتئین و به‌ویژه‌ی اسیدهای آمینه ضروری لیزین می‌باشند. ازاین‌رو افزودن و ترکیب نمودن منابع پروتئینی با محصولات بر پایه‌ی غلات ضروری به نظر می‌رسد[۱، ۲، ٦-۸].

کنسانتره پروتئین آب‌پنیر[2] یکی از فراورده‌های جنبی پنیر فراپالایش است که به دلیل دارا بودن خصوصیاتی مانند قابلیت هضم و حلالیت بالا، ایجاد ویسکوزیته، قابلیت تشکیل ژل، خاصیت امولسیون کنندگی، قابلیت زدن و تشکیل کف از ارزش تغذیه‌ای و تکنولوژیکی بالایی برخوردار می‌باشد و کاربرد فراوانی در صنایع غذایی دارد. این محصول حاوی ۵۵ درصد پروتئین بوده و به‌صورت محلول یا پودر خشک در دسترس می‌باشد. ازنظر جنبه‌های تغذیه‌ای، پروتئین ایزوله شده آب‌پنیر، پروتئین کامل و باکیفیت بالا بوده و قادر است تمام اسیدهای آمینه ضروری بدن را فراهم سازد[٦-۸]. از پروتئین‌های آب‌پنیر تنها به‌عنوان پوشش پودری طعم‌دهنده در اسنک‌ها استفاده شده است؛ اما اخیراً استفاده از آن به‌عنوان ترکیب مغذی و همچنین مقرون به صرفه بودن در تولید اسنک‌های دارای پروتئین بالا موردتوجه قرار گرفته است [۱، ۸-۱۰]. پروتئین‌های آب‌پنیر به علت تشکیل ژل از وارفتگی و ازهم‌پاشیدگی محصول در طول فرایند اکستروژن جلوگیری کرده و می‌تواند به محصول با بافت مناسب تبدیل شود [۳، ٦، ۸-۱۳]. همچنین میزان رطوبت در فرمولاسیون‌های آرد غلات از پارامترهای مهمی می‌باشد که بر میزان ژلاتیناسیون نشاسته، انحلال، سختی و خصوصیات عملکردی محصول نهایی تأثیر می‌گذارد[٦، ١٤-١٩]. ویژگی‌های منحصر به‌فرد میان وعده حجیم متأثر از تغییر شرایط فرمولاسیون بوده و افزودن ترکیبات جدید سبب تغییر کلیه خصوصیات می‌گردد؛ بنابراین، هدف از این تحقیق بررسی تأثیرکنسانتره پودر آب‌پنیر و میزان رطوبت خوراک ورودی به ترتیب در مقادیر ٤-۱۲ درصد و ۱۱-۱٦ درصد بر ویژگی‌های فیزیکی (محتوای رطوبتی رطوبت، شاخص انبساط شوندگی، دانسیته توده، میزان تخلخل و سختی اسنک حجیم)، عملکردی (شاخص‌های جذب آب، حلالیت در آب و جذب روغن) و رنگی اسنک حجیم بر پایه‌ی بلغور ذرت بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

مواد مورد نیاز در این تحقیق شامل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر ۳۵ درصد از شرکت گلشاد مشهد، بلغور ذرت از شرکت ذرت طلایی و روغن ذرتاز مغازه تهیه گردیدند.

۲-۲- فرایند اکستروژن

برای آماده‌سازی خوراک ورودی اکسترودر، بلغور ذرت و پودر آب‌پنیرکه رطوبت آن‌ها قبلاً اندازه‌گیری شده بود، مخلوط گردید و برای تنظیم رطوبت مخلوط نهایی مقدار آب لازم به کمک مربع پیرسون محاسبه و به مخلوط اضافه شد. سپس،

1. High temperature- Short time
2. WPC

توسط اکسترودر دو ماردونه با چرخش هم‌جهت مدل DS 56 ساخت شرکت Saxin Jinanکشور چین با قطر دای ٤ میلی‌متر فرایندگردید. در این پژوهش اثر متغیرهای رطوبت (١١-١٦ درصد) و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (٤-١٢ درصد) در درجه حرارت ثابت ١٢٠ درجه سانتی‌گراد، سرعت ورودی خوراک Kg/h ١٠و سرعت چرخش ماردون ١٧٠دور در دقیقه بر خصوصیات محصول بررسی گردید. درنهایت فراورده‌ی حجیم‌شده به مدت ٢ ساعت در ٥٠ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به رطوبت ٦ درصد خشک گردید (رطوبت ٦ درصد، رطوبت مناسب برای بررسی خصوصیات محصولات اکسترود شده در نظر گرفته می‌شود). اندازه‌گیری برخی از ویژگی‌های موردنظر نظیر بافت سنجی، انبساط شوندگی و دانسیته بلافاصله پس از تولید انجام پذیرفت[٣، ١٣، ١٤، ١٧ و ١٩] .

٢-٣- خصوصیات فیزیکوشیمیایی

٢-٣-١-اندازه‌گیری میزان رطوبت

جهت اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌های اسنک از آون با دمای ١٠٥ درجه سانتی‌گراد استفاده شد. رطوبت نمونه‌های اسنک با استفاده ازرابطه ٢-١ محاسبه گردید [١٤].

$$M = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100$$

M = رطوبت m_1= وزن نمونه‌ی اولیه m_2= وزن نمونه‌ی خشک‌شده

٢-٣-٢- تعیین شاخص انبساط شوندگی

به‌طور تصادفی از هر تیمار ١٠ قطعه از محصول اکسترودی انتخاب شد و جهت اندازه‌گیری نسبت انبساط شوندگی قسمتی از دو انتهای آن را جدا شد تا کاملاً استوانه‌ای شکل گردد. حال با استفاده از کولیس قطر نمونه‌های اکسترود شده و قطر قالب دستگاه اکستروژن را اندازه‌گیری کرده و درنهایت توسط رابطه‌ی ٢-٢ نسبت انبساط شوندگی محاسبه شد[١٤].

$$E = \frac{d_{ex}}{d_d}$$

E= نسبت انبساط شوندگی d_{ex}= قطر نمونه اکسترود شده d_d= قطر دای

٢-٣-٣- اندازه‌گیری دانسیته توده

جهت اندازه‌گیری دانسیته توده از روش جابجایی در ارزن استفاده شد. ابتدا با استفاده از یک مزور ٥٠٠میلی‌لیتری دانسیته توده‌ی ارزن تعیین شد بدین‌صورت که مقداری ارزن با جرم معین تا یک حجم ثابت در مزور پر شد. در مرحله‌ی بعد ٥ عدد اسنک سالم (پودر نشده) از هر تیمار ابتدا توزین و سپس در داخل مزور قرار گرفت. در مرحله بعد مزور تا یک حجم معین، سطحی بالاتر از سطح اشغال‌شده توسط اسنک‌ها، از ارزن پر شد. با علم به جرم مزور و ٥ عدد اسنک که از قبل توزین شده بودند، جرم ارزن اضافه‌شده به مزور به طریقه‌ی زیر محاسبه گردید[١٩].

= جرم ارزن جرم ٥ عدد اسنک- جرم مزور- جرم کل

در مرحله بعد حجم ارزن موجود در مزور و حجم ٥ عدد اسنک با استفاده از رابطه ٢-٤ و ٢-٥ تعیین شد.

دانسیته ی توده‌ی ارزن / جرم ارزن = حجم ارزن

حجم ارزن- حجم کل = حجم ٥ عدد اسنک

در نهایت دانسیته توده اسنک از تقسیم جرم اسنک بر حجم آن محاسبه گردید.

٢-٣-٤- اندازه‌گیری میزان تخلخل

روش اندازه‌گیری تخلخل نمونه‌های اسنک مشابه‌اندازه‌گیری دانسیته توده می‌باشد. همانند روش قبل حجم نمونه‌های اسنک سالم اندازه‌گیری گردید. سپس ٥ عدد اسنک مذکور آسیاب شدند. در مرحله بعد حجم نمونه‌های آسیاب شده اسنک با استفاده از مزور اندازه‌گیری شد. تخلخل نمونه‌های اسنک با توجه به حجم نمونه‌های اسنک در قبل و بعد از آسیاب از طریق رابطه ٢-٦ محاسبه شد[١٧].

$$P = \frac{v_1 - v_2}{v_1}$$

P= تخلخل v_1= حجم نمونه‌های اسنک قبل از آسیاب v_2= حجم نمونه‌های اسنک بعد از آسیاب

٢-٣-٥- آزمون بافت سنجی

برای اندازه‌گیری سختیمحصول از دستگاه تکسچرآنالایزر استفاده می‌گردد. به این منظور دستگاه تکسچرآنالایزر مدل (Plus-TA,lloyd instruments Ltd,USA AMETEK)مورداستفاده قرار گرفت. روش آزمایش به‌صورت نفوذ پروب استوانه‌ای به قطر ٢ میلی‌متر بود. عمق نفوذ معادل ٨ میلی‌متر تعیین گردید[٣].

۲-۳-٦- تعیین شاخصه‌های رنگی

جهت تعیین شاخصه‌های رنگی اسنک‌های تولیدشده از دستگاه هانترلب بر اساس روشی که توسط ورونیکاو همکاران (۲۰۰٦) توضیح داده‌شده است، استفاده شد[۵، ۱۳].

۲-٤- خصوصیات عملکردی

۲-٤-۱- اندازه‌گیری خصوصیات جذب آب و حلالیت در آب

ابتدا ۰/۲ گرم محصول به‌صورت پودر شده درون لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتری که قبلاً وزن شده، ریخته شد.سپس ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و به مدت ۲ دقیقه با ورتکس آن را هم زده و در ادامه به مدت ۲۰ دقیقه در سرعت g ۷۰۰سانتریفیوژ گردید. پس از سانتریفیوژ مایع رویی به درون پتری دیش منتقل شد و ژل باقی‌مانده توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم، وزن شد و شاخص جذب آب طبق رابطه ۲-۷ محاسبه گردید[۱۷].

$$WAI = \frac{M_g}{M_s} * 100$$

WAI= شاخص جذب آب M_g = وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم M_s= وزن نمونه برحسب گرم

برای اندازه‌گیری حلالیت در آب، مایع رویی را که پس از سانتریفیوژ به داخل پلیت که قبلاً وزن شده انتقال دادیم و سپس به درون آون هوای داغ برده شد تا بخار شود و مقدار ماده خشک باقیمانده توزین گردد. درنهایت توسط رابطه‌ی ۲-۸ شاخص حلالیت در آب محاسبه گردید.

$$WSI = \frac{M_{ds}}{M_s} * 100$$

WSI= شاخص حلالیت در آب M_{ds}= وزن ماده خشک حاصل از آون گذاری مایع رویی پس از سانتریفیوژ برحسب گرم M_s= وزن نمونه برحسب گرم

۲-٤-۲- اندازه‌گیری خصوصیات جذب روغن

برای این منظور ۰/۵ گرم از نمونه پودر شده، به درون لوله فالکون ۱۵ میلی‌لیتری که قبلاً وزن شده ریخته شد.سپس ۳ میلی‌لیتر روغن ذرت تصفیه‌شده که معادل ۲/۷ گرم می‌باشد به آن اضافه گردید و به مدت ۱دقیقه با ورتکس هم زده شد. نمونه به مدت ۳۰دقیقه در حال خود ماند و سپس به مدت ۲۰دقیقه در سرعت g ۷۰۰سانتریفیوژ گردید. درنهایت توسط رابطه ۲-۹ شاخص جذب روغن اندازه‌گیری شد[۱۷].

$$OAI = \frac{M_g}{M_s}$$

OAI= شاخص جذب روغن M_g= وزن ژل باقی‌مانده برحسب گرم M_s= وزن نمونه برحسب گرم

۲-۵- آنالیز حسی

پس از دراژه زنین با پودر لبو محصولات از نظر حسی آنالیزگردیدند. به منظور تهیه دراژه نسبتهای تعیین شده از ترکیبات پودر کنسانتره پروتئین آب پنیر، پودر لبو، شکر و روغن ذرت را باهم مخلوط کردیم. تهیه ی مخلوط در درجه حرارت بین ۵۰ تا ٦۰ درجه سانتیگراد صورت گرفت. سپس دراژه تهیه شده توسط دستگاه دراژه زن دوار به صورت یکنواخت بر سطح اسنک ها پوشش داده شد. اثر متغیرهای روغن ذرت (٤۰-٦۰ درصد) و پودر لبو (۵-۱۵ درصد) ویژگیهای حسی اسنک حجیم دراژه دار مورد بررسی قرار گرفت [۲۰]. برای انجام ارزیابی حسی از ۲۰ نفر داور استفاده شد. ویژگی‌های حسی مورد ارزیابی شامل: تردی بافت، شاخص پیکره و تخلخل بافت، احساس دهانی، عطر و طعم و پذیرش کلی است.

۲-٦- طرح آزمایش و تجزیه‌و تحلیل آماری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ[1](RSM) و طرح مرکب مرکزی چرخش پذیر جهت بررسی اثر متغیرهای آزمایش استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 6.0.2 انجام شد.در این مطالعه اثر متغیرهای مستقل شامل رطوبت (X_1) و پودر پروتئین آب پنیر (X_2)، در سه سطح مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۱). مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ عموماً چندجمله‌ای درجه دوم می‌باشد. درروش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر جداگانه بیان می‌نماید، مدل چند متغیره به‌صورت زیر می‌باشد (۲-۱۰). در معادله مذکور Y پاسخ پیش‌بینی‌شده، β_0ضریب ثابت، β_1, β_2 اثرات خطی، β_{11}, β_{22} اثرات مربعی و β_{21}, β_{12} اثرات متقابل می‌باشند.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_2 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} X_{12} + \beta_{22} X_{22} + \beta_{12} X_2 + \beta_{21} X_1 X_2$$

1. Response Surface Methodology

Table 1 Independent variables of the process

Coded variable	X2 (Whey protein content %)	X1(Moisture %)
-1	4	11
0	8	13.5
1	12	16

۳- نتایج و بحث

جدول ویژگی‌های شیمیایی ترکیبات اولیه در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج مشخص شد پروتئین آب‌پنیر میزان خاکستر، پروتئین و چربی بیشتری نسبت به بلغور ذرت داشت.

Table 2 Chemical Composition of Raw Materials

Compounds	(٪) Carbohydrate	Ash (%)	(٪)Protein	(٪) Fat	(٪) Moisture
Whey protein	52	1.3	35	3.5	8.2
Corn grits	-	0.67	11.23	1.64	8.67

۳-۱- محتوی رطوبت

محتوی رطوبتی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده مدت ماندگاری محصول تلقی می‌شود. برخلاف دیگرفرآورده‌های غلات نظیر نان، کیک و کلوچه که محتوی رطوبتی بالایی دارند، اسنک‌های اکسترود حاوی مقدار پایینی رطوبت می‌باشند و به همین دلیل دارای ماندگاری طولانی‌تری هستند[۲۱].

در شکل ۱، تأثیر میزان رطوبت خوراک ورودی و غلظت پروتئین آب‌پنیر بر میزان رطوبت اسنک تولیدی نشان داده‌شده است. برای محتوای رطوبتی اسنک حجیم مدل خطی ازنظر آماری معنی‌دار بود (p۰/۰۵>). همان‌طور که مشخص است عبارت‌های معنی‌دار مدل (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) شامل رطوبت خوراک ورودی بود (p۰/۰۵>) (معادله ۳-۱). افزایش هرکدام از متغیرها به‌صورت جداگانه باعث افزایش محتوی رطوبتی شدند. همچنین در بررسی اثر متقابل، مشخص شد هردو پارامتر اثر مثبتی بر افزایش محتوای رطوبتی داشتند.

افزایش رطوبت اکسترده با افزایش میزان رطوبت خوراک ورودی احتمالاً به دلیل افزایش میزان ژلاتیناسیون نشاسته می‌باشد. افزایش میزان ژلاتیناسیون نشاسته سبب افزایش جذب آب و در نتیجه افزایش رطوبت فراورده می‌شود[۱۶].

کنسانتره آب‌پنیر به دلیل قابلیت بالای اتصال به آب پروتئین و لاکتوز موجود در آن سبب افزایش رطوبت فراورده نهایی می‌شود. در این راستا محققان مختلف بیان کردند کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به دلیل غنی بودن از پروتئین، لاکتوز و نمک‌های معدنی، رطوبت محصول نهایی را افزایش می‌دهد [۶، ۹].کوچرلا و همکاران[۲۲] بیان کردند افزودن پودر آب‌پنیر در فرمولاسیون اسنک بر پایه‌ی آرد ذرت-آرد برنج به دلیل قابلیت اتصال به آب پروتئین‌ها و جاذبه الرطوبه بودن قندها (لاکتوز) رطوبت نهایی را افزایش داد.

$$Moisture = +2.01 + 0.35 * X_1 + 0.11 * X_2$$

۳-۲- میزان شاخص انبساط شوندگی

میزان شاخص انبساط شوندگی از خصوصیات مهم اسنک تولیدی می‌باشد. میزان انبساط شوندگی بر ساختار و بافت محصول اکسترود شده را تأثیر می‌گذارد[۲۳].برای شاخص انبساط شوندگی اسنک حجیم مدل خطی (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) از نظر آماری معنی‌دار بود (p۰/۰۵>) (معادله ۳-۲).همان‌طور که مشخص است عبارت‌هایمعنی‌دار مدل شامل کنسانتره پروتئینآب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی بود (p۰/۰۵>). نتایج نشان داد هر دو متغیر رطوبت خوراک ورودی و غلظت پروتئین آب‌پنیر تأثیر منفی بر شاخص انبساط شوندگی اسنک تولیدی داشتند (رابطه‌ی ۳-۲). بر این اساس، با افزایش میزان کنسانتره آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی میزان انبساط شوندگی کاهش یافت (p۰/۰۵>) (شکل۱). تأثیر هم‌زمان کنسانتره آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی سبب کاهش معنی‌داری در شاخص انبساط شوندگی شد. این نتایج در تطابق یا یافته‌های سایر محققین می‌باشد[۱، ۹]. آلن و همکاران[۱] بیان کردند با افزایش میزان پودر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در مخلوط نشاسته به دلیل افزایش برهمکنش نشاسته-پروتئین، شاخص انبساط شوندگی کاهش یافت. همچنین

پروتئین دناتوره شده در طول فرایند اکستروژن از طریق رقابت با نشاسته برای جذب آب موجود در سیستم، در توانایی انبساط نشاسته ذوب شده مداخله نموده و بر میزان انبساط فراورده تأثیر گذار می‌باشند[۳، ۱۳].

میزان انبساط شوندگی به ویسکوزیته و الاستیسیته خمیر مذاب داخل اکسترودر و همچنین میزان ژلاتیناسیون نشاسته بستگی دارد[۱۰]. افزایش رطوبت خوراک ورودی منجر به کاهش میزان ژلاتیناسیون نشاسته و دمای خمیر شده و با تأثیر بر ساختمان مولکولی آمیلوپکتین موجب کاهش نسبت انبساط شوندگی می‌گردد[۱۰، ۲٤].

$$\text{Expansion ratio} = +6.03 - 0.56 * X_1 - 0.37 * X_2$$

۳-۳- میزان شاخص تخلخل

تخلخل بیانگر وجود تعداد حفرات، اندازه حفرات و ضخامت دیواره حفرات در سطح بافت اسنک حجیم می‌باشد. هرچه میزان تخلخل بیشتر باشد درواقع تعداد حفرات بیشتر می‌باشد. نشاسته اولین مرکز تشکیل هسته در محصول می‌باشد که حباب‌های هوا را ایجاد کرده و باعث ایجاد تخلخل در محصول نهایی می‌شود؛پس مهم‌ترین نقش را در ایجاد تخلخل محصولات اسنکی دارا می‌باشد[۸، ۱۹، ۲۵].

نتایج نشان داد برای تخلخل اسنک حجیم، مدل چندجمله‌ای ازنظر آماری معنی‌دار بود (رابطه‌ی ۳-۳).عبارت‌های معنی‌دار مدل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، رطوبت خوراک ورودی و اثر متقابل متغیرها بودند ($p<۰/۰۵$). با افزایش درصد رطوبت خوراک ورودی و میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر میزان تخلخل محصول کاهش یافت (شکل۱). جعفری و همکاران[۲٦]نیز بیان کردند تخلخل آرد سورگوم اکسترود شده با افزایش رطوبت خوراک ورودی کاهش یافت. افزایشرطوبت خوراک ورودی و کنسانتره پروتئین آب‌پنیرسببافزایش تراکم در فراورده می‌شود که در نتیجه میزان تخلخل فراورده کاهش می‌یابد. افزودن پودر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به دلیل جایگزینی با نشاسته و تداخل در فرایند ژلاتیناسیون نشاسته سبب کاهش انبساط فراورده می‌شود. ازاین‌رو، میزان تخلخل فراورده نیز کاهش می‌یابد[۸]. همچنین به دلیل افزایش برهمکنش نشاسته-پروتئین و رقابت پروتئین دناتوره شده با نشاسته توانایی انبساط فراورده و میزان تخلخل آن کاهش می‌یابد[۱]. نشاسته از مراکز اولیه جهت تشکیل حباب‌های هوا است؛ کاهشویسکوزیته باعث رشد حباب‌ها شده و با افزایش حباب‌هامحصول نرم‌ترمی‌شود[۲٦]. دناتوراسیون پروتئین در طی فرایند اکستروژن سبب افزایش ویسکوزیته ماده مذاب شده و ازاین‌رو با جلوگیری از رشد حباب‌های هوا سبب کاهش تخلخل محصول نهایی می‌شود.

$$\text{Porosity} = +0.87 - 0.047 * X_1 - 0.033 * X_2 + 0.017 * X_1 * X_2$$

۳-٤- میزان شاخص دانسیته توده

دانسیته توده پارامتر مهمی از جهت پر کردن ظرف، ذخیره سازی و حمل و نقل محصول تولید شده می‌باشد. دانسیته توده به اندازه، شکل و میزان انبساط شوندگی فراورده بستگی دارد [٤، ۲٦]. برای شاخص دانسیته توده مدل خطی (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) از نظر آماری معنی‌دار بود ($p <۰/۰۵$) (معادله ۳-٤). نتایج نشان داد در کمترین مقدار رطوبت خوراک ورودی، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر از ٤ به ۱۲ درصد، دانسیته توده به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد ($p<۰/۰۵$) (شکل۱). یاداو و همکاران[۸] نیز بیان کردند با افزایش میزان پودر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، دانسیته توده به‌طورچشمگیری افزایش پیدا کرد. همچنین رابطه معکوسی بین دانسیته توده و ضریب انبساط شوندگی مشاهده شد. تأثیر مستقل رطوبت خوراک ورودی نشان داد با افزایش رطوبت دانسیته توده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$)؛ همچنین با افزایش هم‌زمان کنسانتره پروتئین آب پنیر و رطوبت خوراک ورودی، شاخص دانسیته توده افزایش یافت.

تجزیه نشاسته و بخصوص آمیلوپکتین سبب کاهش الاستیسیته و ویسکوزیته خمیر مذاب داخل اکسترودر می‌شود؛ از این‌رو، بر میزان انبساط و متعاقباً دانسیته توده‌ای تأثیر می‌گذارد[٤]. افزایش رطوبت خوراک ورودی و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر با کاهش نیروی برشی اعمالی به ماده و کاهش تجزیه نشاسته از کاهش ویسکوزیته جلوگیری کرده و درنتیجه میزان انبساط فراورده کاهش می‌یابد؛ ازاین‌رو، میزان دانسیته توده افزایش می‌یابد[۲۷]. اونوولاتا و همکاران نیز نتایج مشابهی در بررسی تأثیر افزودن وی پروتئین بر اسنک ذرت، سیب‌زمینی و برنج مشاهده کردند[٦].

$$\text{Density} = +0.078 + 5.833E\text{-}003 * X_1 + 7.467E\text{-}003 * X_2$$

۳-۵- میزان سختی

نتایج نشان داد برای سختی اسنک، مدل چندجمله‌ای درجه دوم ازنظر آماری معنی‌دار بود(رابطه‌ی ۳-۵).عبارت‌های معنی‌دار مدل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، رطوبت خوراک ورودی و توان

دوم رطوبت خوراک ورودی بودند ($p<۰/۰۵$). با افزایش میزان رطوبت خوراک ورودی و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر میزان سختی محصول نهایی افزایش یافت (شکل۱). این امر احتمالاً به دلیل وجود پروتئین و لاکتوز موجود در کنسانتره پروتئین آب‌پنیر می‌باشد که از انبساط فراورده جلوگیری کرده و درنتیجه به دلیل ایجاد ساختار متراکم، سختی محصول افزایش می‌یابد[۸]. همچنین افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و به‌واسطه جایگزینی آن با نشاسته سبب کاهش ژلاتیناسیون، کاهش انبساط فراورده و افزایش فشردگی و سختی بافت می‌شود.این نتایج با نتایج بخش تخلخل نیز در تطابق می‌باشد. مقاومت سلول‌ها و حفرات موجود در فرآورده‌های حجیم‌شده، تحت تأثیر میزان ژلاتیناسیون نشاسته و میزان پروتئینی است که در فرمولاسیون مواد غذایی به کار می‌روند[٤].افزایش میزان پروتئین به دلیل افزایش مقاومت سلول‌ها و ایجاد ساختار متراکم سبب تولید محصول با انبساط و تخلخل کم و سختی بالا می‌شود. از طرف دیگر، لاکتوز موجود در کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به دلیل افزایش چسبندگی خمیر مذاب موجود در مخزن اکسترودر، از انبساط فراورده جلوگیری کرده و ازاین‌رو سبب افزایش سختی محصول می‌شود[۲۸]. یاداو و همکاران[۸] نیز بیان کردند با افزایش مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر میزان سختی به طور چشمگیری افزایش داشت. همچنین آن‌ها همانند نتایج این پژوهش، رابطه معکوسی بین سختی و شاخص انبساط شوندگی فراورده مشاهده کردند. همچنین افزایش سختی اسنک حجیم با افزایش درصد رطوبت ممکن است به دلیل کاهش شاخص انبساط شوندگی و ایجاد ساختار متراکم باشد که منجر به افزایش سختی فراورده حجیم می‌شود[٢٦].

$$\text{Hardness} = +1.72 +0.31 * X_1 + 0.14* X_2 + 0.033 * X_1 * X_2 + 0.19 * X_1^2 - 0.023 * X_2^2$$

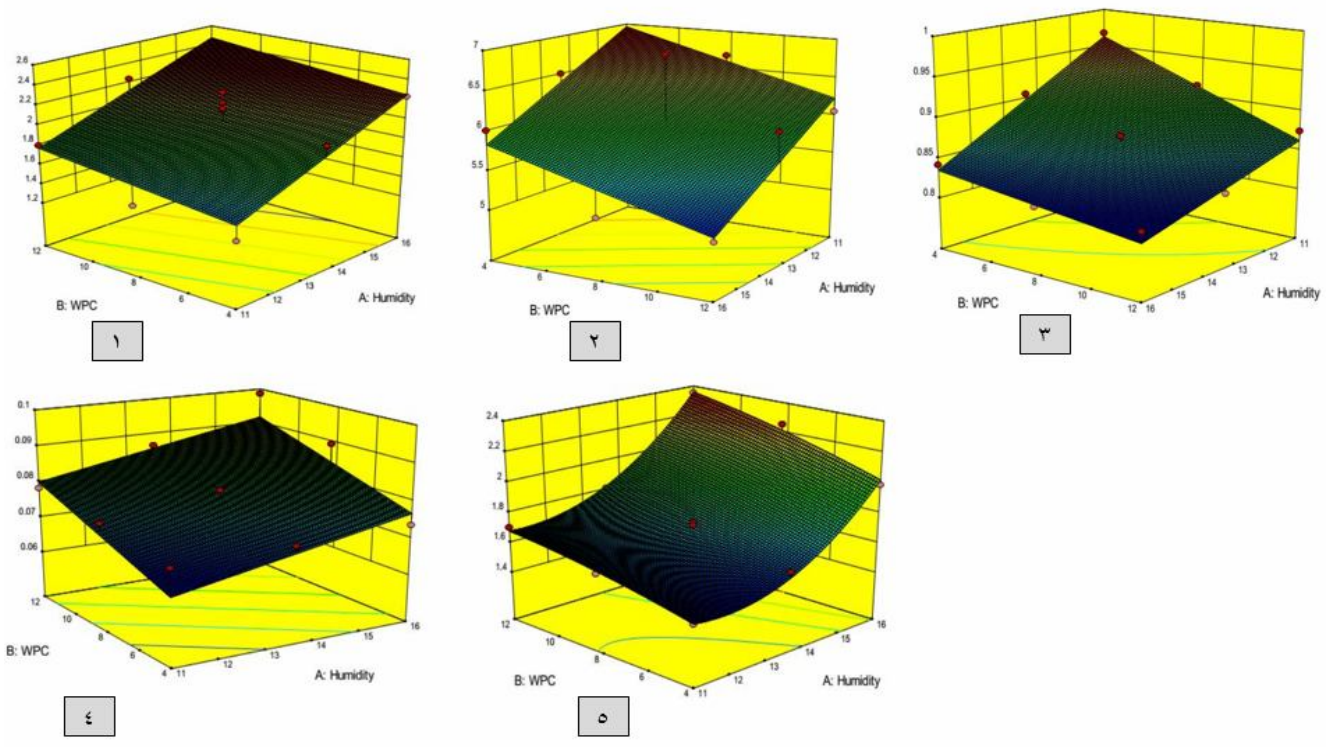

Fig 1 The simultaneous effect of two variables (B: WPC) and moisture content (A: Humidity) on moisture content (1), expansion index (2), porosity index (3), bulk density (4) and hardness of expanded snack produced

۳-٦- میزان شاخص جذب آب

شاخص جذب آب نشان دهنده‌ی میزان ژلاتیناسیون و همچنین رفتار تورم گرانول‌های نشاسته در طی فرایند اکستروژن می‌باشد [۱، ٤]. شاخص جذب آب به میزان ژلاتیناسیون نشاسته و طول زنجیره نشاسته بستگی داشته و با حجم ژل تشکیل‌شده متناسب است.

برای شاخص جذب آب مدل خطی (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) (معادله ۳-٦).نتایج نشان داد افزایش رطوبت خوراک ورودی و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر منجر به افزایش شاخص جذب آب گردید ($p<۰/۰۵$) (شکل۲). نشاسته عامل اصلی شاخص جذب آب قلمداد می‌شود و نوع نشاسته، طول زنجیرهو مقدار آمیلوز و آمیلوپکتین (هر چه میزان آمیلوز در نشاسته کمتر باشد، جذب آب افزایش می‌یابد) بر آن تأثیر می‌گذارد. ازاین‌رو، فرایند اکستروژن با تأثیر بر میزان ژلاتیناسیون و طول زنجیره نشاسته (شکسته شدن زنجیره‌های نشاسته در اثر حرارت و نیروی برشی) بر رفتار جذب آب و تورم گرانول‌های نشاسته تأثیر می‌گذارد. افزایش شاخص جذب آب محصولات اکسترود شده‌ی حاوی پروتئین احتمالاً به دلیل دناتوره شدن پروتئین می‌باشد. در این راستا، سانتیلان مورنو و همکاران [٦] نیز دلیل افزایش شاخص جذب آب را دناتوراسیون پروتئین بیان کردند. در واقع دناتوراسیون، دسترسی به گروه‌های هیدروفیلیک (آب‌دوست) پروتئین‌ها را افزایش داده و از این طریق باعث افزایش شاخص جذب آب می‌شود. برنسیس و همکاران[۹] نیز اذعان داشتند با افزایش میزان پودر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی شاخص جذب آب افزایش یافت. افزایش رطوبت به دلیل نقش روان کنندگی آب و کاهش زمان ماند ماده در داخل مخزن اکسترودر سبب کاهش تجزیه‌ی گرانول‌های نشاسته شده و ازاین‌رو، اندیس جذب آب افزایش
می‌یابد[۲٦].

$$WAI= +4.27 + 0.87 * X_1 + 0.49 * X_2$$

۳-۷- میزان شاخص حلالیت در آب

شاخص حلالیت در آب به عنوان شاخص تخریب ترکیبات مولکولی و دکسترینه شدن نشاسته در نظر گرفته شده و با میزان پلی ساکارید آزادشده از گرانولهای نشاسته متناسب است[١٤]. مدل خطی (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) ازنظر آماری برای شاخص حلالیت در آب معنی دار بود($p<۰/۰۵$) معادله ۳-۷). کنسانتره پروتئین آب پنیر تأثیر معنی داری بر شاخص حلالیت در آب اسنک حجیم داشت($p<۰/۰۵$).اثر مستقل هر یک از متغیرهای رطوبت خوراک ورودی و پودر کنسانتره پروتئین آب پنیر نشان داد که افزایش هر یک از این دو متغیر منجر به کاهش شاخص حلالیت در آب گردید (شکل۲). کاهش شاخص حلالیت آب در اثر افزودن کنسانتره پروتئین آبپنیر احتمالاً به دلیل برهمکنش بین پروتئین و نشاسته میباشد [۱]. همچنین دناتوراسیون پروتئینها در طی اکستروژن میتواند در کاهش شاخص حلالیت در آب مؤثر باشد[۸]. نتایج مشابهی توسط آلن و همکاران [۱] و برنسیس و همکاران [۹] نیز مشاهده شد. همچنین افزایش رطوبت، احتمالاً به دلیل نقش پلاستی سایزری آب، سبب کاهش زمان ماند ماده در داخل اکسترودر و کاهش اثر برشی مارپیچ میشود؛ بنابراین، تجزیه و دپلیمریزه شدن نشاسته کاهش یافته و ازاینرو شاخص حلالیت در آب نیز کاهش میابد[۱۵].

$$WSI = +47.35 - 3.60 * X1 - 6.22 * X2$$

۳-۸- شاخص میزان جذب روغن

شاخص جذب روغن بیانگر میزان چربی‌دوستی نمونه و در حقیقت نشان دهنده‌ی گروه‌های هیدروفوب محصول است. این شاخص به ترکیب اسیدهایآمینه، آرایش فضایی پروتئین و میزان آب‌دوستی و آب‌گریزی پروتئین بستگی دارد [۲۹]. مدل خطی (بر اساس مقادیر کدگذاری شده) ازنظر آماری برای شاخص جذب روغن معنی‌دار بود ($p<۰/۰۵$) (معادله ۳-۸). نتایج نشان داد رطوبت خوراک ورودی تأثیرمعنی‌داری بر شاخص جذب روغن اسنک حجیم داشت ($p<۰/۰۵$). بررسی تأثیر هم‌زمان دو متغیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی نشان داد با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، شاخص جذب روغن افزایش یافت؛ ولیکن افزایش رطوبت شاخص جذب روغن را کاهش داد (شکل ۲). با افزایش شدت فرایند اکستروژن گرانول‌های نشاسته به مولکول‌های کوچک‌تر شکسته می‌شوند. حضور این مولکول‌های کوچک مسئول افزایش شاخص جذب روغن هستند[۳۰]. با افزایش رطوبت خوراک ورودی، تأثیر دمای اکسترودر بر مولکول‌های نشاسته کاهش می‌یابد؛ بنابراین، به دلیل کاهش تشکیل مولکول‌های کوچک مسئول جذب روغن، شاخص جذب روغن کاهش می‌یابد. بالا بودن شاخص جذب روغن در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر می‌تواند نشان دهنده حضور مقدار بیشتری از اسیدهای آمینه غیر قطبی در نمونه‌های اکسترود شده باشد. زنجیره‌های جانبی غیر قطبی بیشتر در نمونه‌های اکسترود شده ممکن است زنجیره‌های

هیدروکربنی مربوط به روغن را جذب خود نموده و از این طریق موجب افزایش شاخص جذب روغن گردند[۳۱].

$$OAI= +2.62 - 0.014 * X_1 - 8.683E\text{-}003 * X_2$$

۳-۹- ارزیابی شاخص‌های رنگی

رنگ یک فاکتور کیفی مهم می‌باشد که به‌طور مستقیم به مقبولیت محصولات غذایی مرتبط است، لذا اندازه‌گیری مؤلفه‌های رنگ، یک ویژگی فیزیکوشیمیایی مهمی در ارتباط با محصولات اکسترود شده می‌باشد. اسنک حجیم به دلیل اینکه به‌عنوان یکی از محصولات غذایی میان وعده، مصرف بالایی دارد، لذا تیره گی و یا روشنی رنگ آن بسیار مهم می‌باشد.تغییرات رنگ در طول فرایند اکستروژن می‌تواند به‌عنوان یک شاخص بصری جهت ارزیابی شدت فرایند در خصوص تغییرات شیمیایی و ترکیبات مغذی ماده غذایی استفاده شود. تغییرات رنگ در طی فرایند اکستروژن ممکن است مربوط به تجزیه رنگ‌دانه‌های موجود در مواد غذایی، کم‌رنگ شدن یا محو شدن رنگ به‌واسطه افزایش حجم محصول و تغییر رنگ در نتیجه فعل و انفعالات شیمیایی نظیر کاراملیزاسیون کربوهیدرات‌ها، واکنش‌های مایلارد و تأثیر فرآورده‌های حاصل از تجزیه اکسیداتیو لیپیدها باشد[۷]. برای مؤلفه روشنایی(L) اسنک حجیم، مدل خطی(بر اساس مقادیر کدگذاری شده) ازنظر آماری معنی‌دار بود (رابطه‌ی ۳-۹).نتایج نشان داد با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، شاخص روشنایی(L) به‌طور معنی‌داری کاهش یافت($p<۰/۰۵$). این درحالی است که با افزایش رطوبت خوراک ورودی، شاخص روشنایی افزایش یافت (شکل۲). کنسانتره پروتئین آب‌پنیر نسبتاً تیره می‌باشد. ازاین‌رو، با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، رنگ محصول تیره‌تر می‌شود. از طرف دیگر، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر حاوی مواد پروتئینی و کربوهیدراتی (لاکتوز) می‌باشد. لذا، در حضور دما و رطوبت احتمال انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی (قهوه‌ای شدن و کاراملیزاسیون) و هیدرولیز مواد تشکیل‌دهنده وجود دارد؛ بنابراین، با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر تیرگی رنگ محصول افزایش می‌یابد[۳۰]. افزایش رطوبت خوراک ورودی باعث روشن‌تر شدن رنگ اسنک حجیم شد. همان‌طور که بیان شد با افزایش رطوبت خوراک ورودی، میزان تخلخل اسنک حجیم کاهش یافت. هرچه میزان تخلخل بیشتر باشد درواقع تعداد حفرات بیشتر است. حفرات می‌توانند باعث شکست نور شوند؛ بدین معنی که هرچه حفرات بیشتر باشد (تخلخل بیشتر)، انعکاس نور از سطح کمتر شده و رنگ محصول مات‌تر و تیره‌تر به نظر خواهد رسید؛ بنابراین با افزایش رطوبت خوراک ورودی، تخلخل بافت کاهش و انعکاس نور بهتر شد که ازاین‌رو روشنی رنگ نیز افزایش یافت. جونز و همکاران[۳۰] نشان دادند با افزایش رطوبت خوراک ورودی، میزان ژلاتیناسیون نشاسته افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، شاخص روشنایی با میزان ژلاتیناسیون رابطه‌ی مستقیم دارد؛ بنابراین، افزایش رطوبت خوراک ورودی با افزایش میزان ژلاتیناسیون نشاسته سبب افزایش شاخص روشنایی فراورده شد. برنسیس و همکاران[۹]نیز بیان کردند با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در اسنک ذرت شاخص روشنایی کاهش یافت؛ ولیکن با افزایش رطوبت خوراک ورودی، شاخص روشنایی افزایش یافت.

$$L = +59.27 + 1.71 * X_1 - 2.81 * X_2$$

برای مؤلفه قرمزی (a) اسنک حجیم، مدل چندجمله‌ای درجه سوم ازنظر آماری معنی‌دار بود (رابطه‌ی ۳-۱۰). نتایج نشان داد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، رطوبت خوراک ورودی، اثر متقابل متغیرها، اثر متقابل رطوبت ورودی و مربع کنسانتره پروتئین آب‌پنیر عبارت‌های معنی‌دار مدل بودند ($p<۰/۰۵$). افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر سبب افزایش شاخص قرمزی ولیکن افزایش رطوبت خوراک ورودی موجب کاهش شاخص قرمزی اسنک حجیم شد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش هم‌زمان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی شاخص قرمزیافزایش یافت (شکل۲). همان‌طور که بیان شد با افزایش غلظت کنسانتره پروتئین آب‌پنیر احتمال انجام واکنش غیر آنزیمی مایلارد افزایش می‌یابد. در طی واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد، بسیاری ترکیبات رنگی مختلف تشکیل می‌شوند که در طیف رنگی قرمز تا قهوه‌ای می‌باشند[۹]؛ بنابراین، با افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، میزان شاخص قرمزی رنگ اسنک حجیم افزایش یافت.

(۱۰-۳

$$a= +7.63 + 0.14 * X_1 + 0.46 * X_2 + 0.33 * X_1 * X_2 - 0.033 * X_1^2 - 0.37 * X_2^2 + 0.060 * X_1^2 * X_2 - 0.39 * X_1 * X_2^2$$

برای مؤلفه زردی اسنک حجیم، مدل چندجمله‌ای درجه دوم ازنظر آماری معنی‌دار بود (رابطه‌ی ۳-۱۱). کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، رطوبت خوراک ورودی، اثر متقابل کنسانتره پروتئین

آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی و مربع کنسانتره پروتئین آب‌پنیر عبارت‌های معنی‌دار مدل بودند($p<۰/۰۵$). افزایش رطوبت خوراک ورودی میزان زردی اسنک حجیم را افزایش داد ولیکن افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، شاخص زردی را کاهش داد. همچنین مشخص شد با افزایش هم‌زمان دو متغیر، شاخص زردی کاهش یافت (شکل۲).

$$b= +22.38 + 0.44 * X_1 - 1.79 * X_2 - 0.42 * X_1 * X_2 + 3.843E\text{-}003 * X_1^2 + 0.55 * X_2^2$$

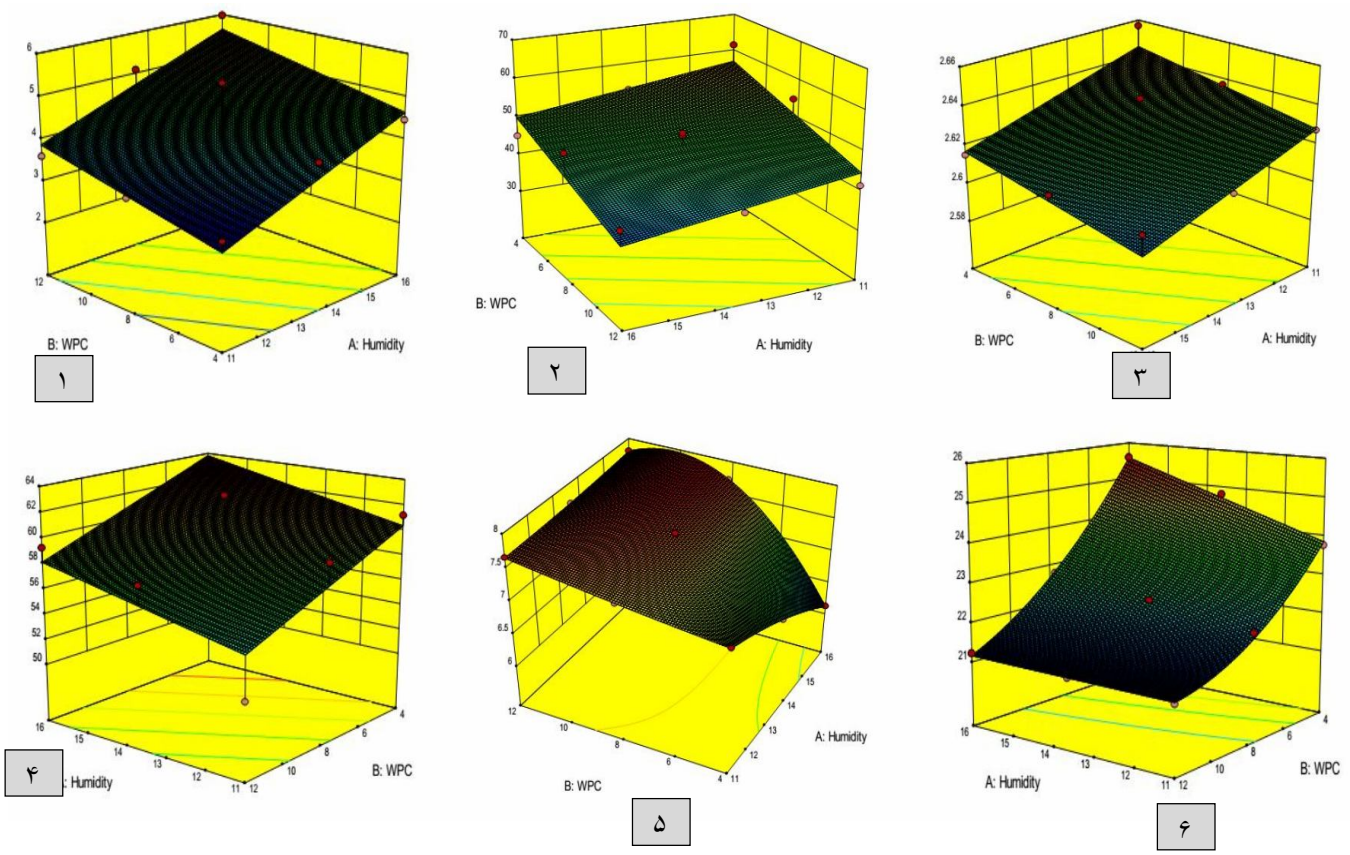

Fig2 The simultaneous effect of two variables of Whey protein content (B: WPC) and moisture content (A: Humidity) on water absorption index (1), water solubility index (2), oil absorption index (3) and color index L (4), a (5) and b (6).

۳-۱۰- ارزیابی حسی

۳-۱۰- ۱- شاخص تردی بافت اسنک حجیم دراژه دار

انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار design expert تعیین شد. چنانچه برای مولفه تردی بافت اسنک حجیم دراژه دار مدل چند جمله ای از نظر آماری معنی دار بود($p<۰/۰۵$). عبارت های معنی دار مدل شامل پودر لبو، اثر متقابل روغن ذرت-پودر لبو بود($p<۰/۰۵$). در شکل۳، اثر همزمان روغن ذرت - پودر لبو بر تردی بافت اسنک حجیم دراژه دار نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش روغن ذرت میزان شاخص تردی بافت به صورت خطی در محدوده تغییرات Xها افزایش یافت؛ هم چنین با افزایش پودر لبو در محدوده روغن ذرت ۵تا ۱۵ شاخص تردی بافت افزایش یافت؛ چنانکه با افزایش همزمان روغن ذرت و پودر لبو شاخص تردی بافت افزایش یافت. با توجه به نتایج بدست آمده از ارزیابی سختی بافت توسط دستگاه تکسچر انتظار چنین نتیجه ای وجود داشت. زیرا در بخش سنجش بافت مشخص شد که نمونه حاوی بالاترین میزان روغن از سختی کمتری برخوردار بود.

۳-۱۰-۲- شاخص پیکره و تخلخل بافت اسنک حجیم دراژه دار

انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزارdesign expert تعیین شد. چنانچه برای مولفه پیکره و تخلخل بافت اسنک حجیم دراژه دار مدل چند جمله ای درجه سوم از نظر آماری معنی دار بود (p<۰/۰۵). عبارتهای معنی دار مدل شامل روغن ذرت، پودر لبو، اثر متقابل روغن ذرت-پودر لبو، مربع اثر روغن ذرت، اثر متقابل پودر لبو-مربع روغن ذرت بود(p۰/۰۵>). در شکل۳، اثر همزمان روغن ذرت- پودر لبو بر تردی بافت اسنک حجیم دراژه دار نشان داده شده است. بر این اساس، اثر افزودن روغن ذرت در سطح ثابت از پودر لبو (سطح ۱۵ درصد)، مورد بررسی قرار گرفت و نشان داد که با افزایش میزان روغن ذرت، پیکره و تخلخل محصول از مقبولیت کمتری برخوردارند. اما با بررسی افزودن روغن ذرت در سطح ثابت از پودر لبو (سطح ۵ درصد)، افزایش روغن ذرت از۴۰ درصد به۵۰ درصد از مقبولیت پایین و پس از آن از ۵۰ درصد به ۶۰ درصد، از مقبولیت بیشتری برخوردار بودند. افزودن مستقل پودر لبو، نشان داد که برای نمونهای که در سطح ثابتی از روغن ذرت (سطح۴۰ درصد) میباشد، افزایش لبو تغییر چندانی را در امتیاز پیکره و تخلخل ندارد، اما زمانیکه افزایش پودر لبو را با ثابت در نظرگرفتن روغن ذرت در سطح ۶۰درصد مورد بررسی قرار میدهیم، مشاهده میشود که با افزایش پودر لبو از مقبولیت پیکره و تخلخل کاسته میشود. با بررسی تاثیر همزمان این دو فاکتور بر روی ویژگی پیکره و تخلخل کاهش معنی داری در امتیازدهی پیکره و تخلخل مشاهده گردید.

۳-۱۰-۳- شاخص احساس دهانی اسنک حجیم دراژه دار

انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار design expert تعیین شد. چنانچه برای مولفه مزه و احساس دهانی اسنک حجیم دراژه دار مدل چند جمله ای درجه سوم از نظر آماری معنی دار بود(p۰/۰۵>).عبارت های معنی دار مدل شامل پودر لبو، اثر متقابل روغن ذرت-پودر لبو بود(p۰/۰۵>). در شکل۳، اثر همزمان دو متغیر روغن ذرت و پودر لبو بر مزه و احساس دهانی بافت اسنک حجیم دراژه دار نشان داده شده است. بر این اساس، پودر لبو تاثیر محسوسی بر فاکتور مزه و احساس دهانی داشت؛ چنانکه با افزایش درصد پودر لبو منجر به افزایش امتیاز برای مزه و احساس دهانی بافت اسنک حجیم دراژه دار بود؛ اما با افزایش میزان روغن ذرت امتیاز مزه واحساس دهانی کاهش یافت. در ادامه همزمان با افزایش دو پارامتر روغن ذرت و پودر لبو امتیاز برای مزه واحساس دهانی افزایش یافت.

۳-۱۰-٤- شاخص عطر و طعم اسنک حجیم دراژه دار

انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار design expert تعیین شد. چنانچه برای مولفه عطر و طعم اسنک حجیم دراژه دار مدل چند جمله ای درجه سوم از نظر آماری معنی دار بود (p<۰/۰۵). عبارت های معنی دار مدل شامل مربع روغن ذرت، اثر متقابل پودر لبو-مربع روغن ذرت بود (p۰/۰۵>). در شکل۳، اثر همزمان روغن ذرت -پودر لبو بر عطر و طعم اسنک حجیم دراژه دار نشان داده شده است. بر این اساس، با افزایش روغن ذرت تا ۵۰درصد میزان امتیازدهی عطر و طعم در محدوده تغییرات Xها افزایش داشت؛ پس از آن با افزایش روغن ذرت میزان امتیاز کاهش یافت. هم چنین پودر لبو اثر محسوسی بر میزان امتیاز عطر و طعم داشت؛ بطوری که با افزایش پود لبو در محدوده روغن ذرت ۵ تا ۱۵ درصد، منجر به افزایش میزان امتیازدهی بر ویژگی عطر و طعم داشت. در ادامه همزمان با افزایش دو پارامتر روغن ذرت و پودر لبو بر میزان امتیازدهی عطر و طعم کاهش یافت.

۳-۱۰-۳-شاخص پذیرش کلی اسنک حجیم دراژه دار

انتخاب مدل بهینه پیشنهادی توسط نرم افزار design expert تعیین شد. چنانچه برای پذیرش کلی اسنک حجیم دراژه دار مدل چند جمله ای درجه سوم از نظر آماری معنی دار بود(p<۰/۰۵). عبارت های معنی دار مدل شامل روغن ذرت، اثرمتقابل روغن ذرت-پودر لبو، مربع روغن ذرت، اثر متقابل پودر لبو-مربع روغن ذرت، اثر متقابل روغن ذرت-مربع پودر لبو بود(p<۰/۰۵). در شکل ۳، اثر همزمان روغن ذرت - پودر لبو بر پذیرش کلی حجیم دراژه دار نشان داده شده است. بر این اساس، اثر مستقل هر یک از متغیرهای روغن ذرت و پودر لبو نشان داد کهافزایش هر یک از این دو پارامترها منجر به افزایش امتیاز پذیرش محصول تولید شده گردید؛ چنانکه با افزایش همزمان روغن ذرت و پودر لبو در محدوده روغن ذرت ۵۰و پودر لبو ۱۰قابلیت پذیرش محصول تولید شده کاهش یافت اما پس از آن روند تغییرات افزایش کمی نشان داد.

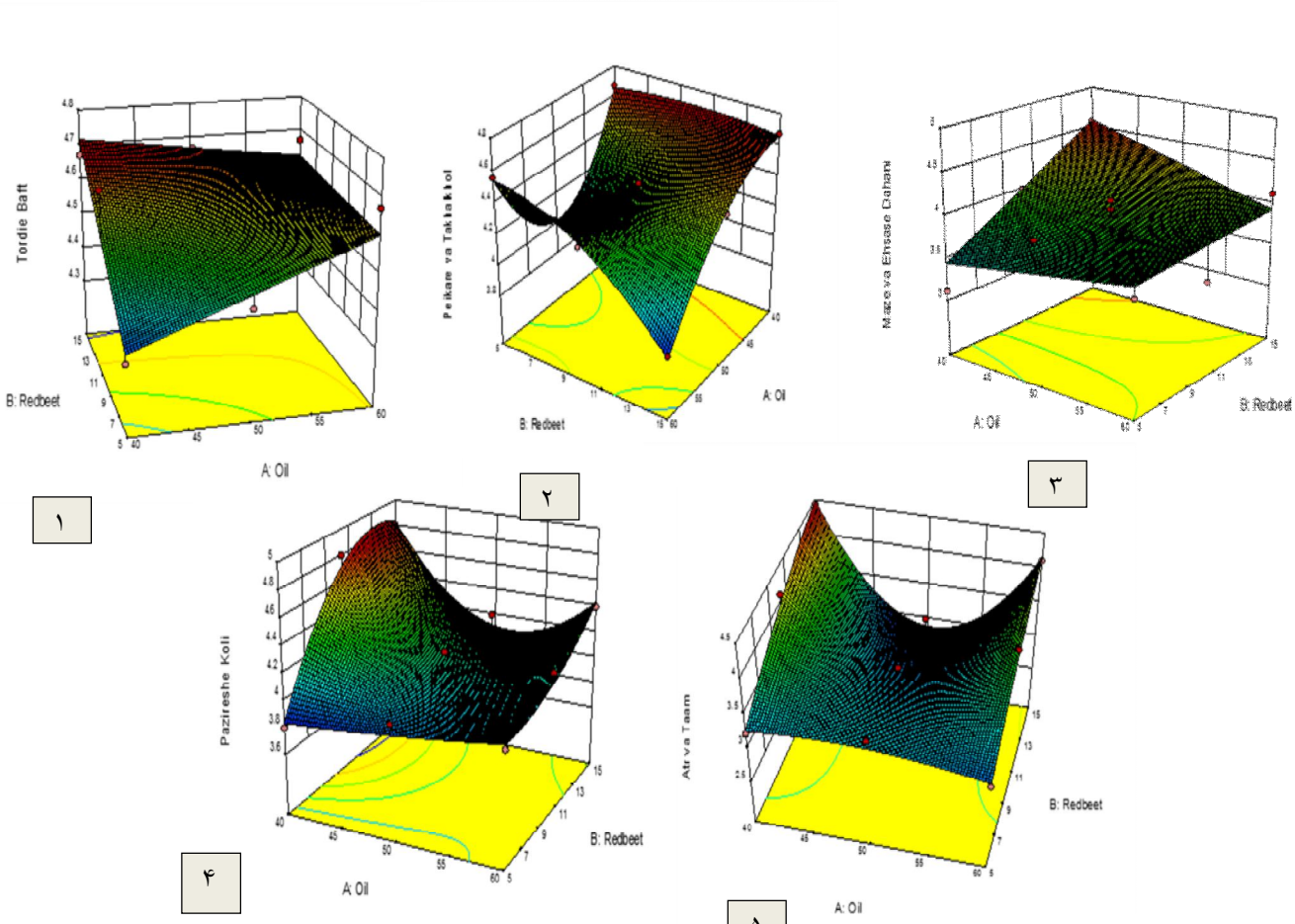

Fig 3 The simultaneous effect of two variables of beet powder (B) and corn oil (A) on sensory properties: (1)hardness, (2) porosity, (3) mouse feeling, (4) total acceptability, (5) flavor

۳-۱۱- بهینه یابی

در این تحقیق، هدف از بهینه‌سازی به حداکثر رساندن محتوای پروتئینی، جذب آب و روشنی فراورده و به حداقل رساندن میزان سختی اسنک حجیم بود به گونه ایی که نتایج آزمایش حسی نیز قابل قبول باشد. نتایج حاصل از بهینه یابی نشان داد مطلوب‌ترین حالت برای تولید اسنک حجیم شامل رطوبت محصول نهایی: ۱/۷۰٪، میزان انبساط شوندگی: ٦/٤٩٪، دانسیته ی توده: ($g\ cm^{-3}$) ۰/۰۷، تخلخل: ۰/۰۹٪، شاخص جذب روغن: (g/g) ۲ /٦٣، شاخص حلالیت در آب: (g/g) ٤٩/٥٠، شاخص جذب آب: (g/g) ۳/٥۳، میزان سختی:N ۱/٦۱، شاخص روشنایی: ٥۷/۰۳، شاخص قرمزی: ۷/٥۰ و شاخص زردی: ۲۱/٦۸ در رطوبت خوراک ورودی ۱۱/٥۰٪ و میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر ۸/۸۳٪ تعیین گردید. به منظور شرایط بهینه تولید دراژه برای اسنک جهت دستیابی به میزان شاخص پیکره و تخلخل ٤/٦٥، تردی ٤/٦۸، احساس دهانی ٤/٤۷، عطر و زعم ٤/٤۹ و پذیرش کلی ٤/۸۳ ؛ روغن ذرت ٤۰ و پودر لبو ۱٥ درصد تعیین شد.

٤- نتیجه‌گیری

با توجه به خصوصیات بافتی، مصرف اسنک‌ها بین اقشار مختلف جامعه به‌ویژه کودکان و نوجوانان از جاذبه زیادی برخوردار است. با توجه به برخی از آثار سوءتغذیه‌ای اسنک‌های موجود در بازار، حساسیت زیادی در خصوص مصرف آن‌ها به‌ویژه انواع پفک در جامعه وجود دارد. این موضوع خود اهمیت پژوهش در زمینه تولید فرآورده‌های جایگزین و سالم را در این زمینه نشان می‌دهد. این تحقیق نشان داد که کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به‌خوبی می‌تواند در فرمولاسیون غذای کودک استفاده شود. خصوصیات فیزیکوشیمیایی، عملکردی و متغیرهای رنگی فراورده‌ی حجیم شده‌ی حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مشخص شد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و رطوبت خوراک ورودی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مورد اندازه‌گیری داشتند. نتایج حاصل از بهینه یابی فرمولاسیون اسنک حجیم نشان داد رطوبت خوراک ورودی ۱۱/۱۰٪ و

میزان کنسانتره پروتئین آب پنیر ۸/۸۳٪ مناسب‌ترین حالت به‌منظور دستیابی به شرایط بهینه بودند.

فهرست علامت‌ها و اختصارات

معادل فارسی	معادل انگلیسی	علامت اختصاری
شاخص جذب آب	Water Absorbtion Index	WAI
شاخص حلالیت در آب	Water Solution Index	WSI
شاخص جذب روغن	Oil Absorbtion Index	OAI
شاخص روشنایی	Lightness	L^*
شاخص قرمزی-سبزی	Redness-Greenness	a^*
شاخص زردی-آبی	Yellowness-Blue	b^*
اثر خطی رطوبت	-	A
پنیراثر خطی پودر کنسانتره پروتئین آب	-	B
اثر درجه دوم رطوبت	-	A^2
پنیراثر درجه دوم پودر کنسانتره پروتئین آب	-	B^2
اثر متقابل رطوبت- پودر کنسانتره پروتئین آب پنیر	-	AB
احتمال	Probability	P
پنیرپودر کنسانتره پروتئین آب	Whey Protein Content	WPC

۵- منابع

[1] Allen, K. E., Carpenter, C. E., & Walsh, M. K. 2007. Influence of protein level and starch type on an extrusion,expanded whey product. International journal of food science & technology, 42(8), 953-960.

[2] Kocherla, P., Aparna, K., & Lakshmi, D. N. 2012. Development and evaluation of RTE (Ready To Eat) extruded snack using egg albumin powder and cheese powder. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14*(4), 179-187.

[3] Hardacre, A., Clark, S., Riviere, S., Monro, J., & Hawkins, A. 2006. Some textural, sensory and nutritional properties of expanded snack food wafers made from corn, lentil and other ingredients. *Journal of Texture studies, 37*(1), 94-111.

[4] Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering, 66*(3), 283-289.

[5] Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. 2011. Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International, 44*(8), 2534-2544.

[6] Onwulata, C., Smith, P., Konstance, R., & Holsinger, V. 2001. Incorporation of whey products in extruded corn, potato or rice snacks. Food Research International, 34(8), 679-687.

[7] Santillán-Moreno, A., Martínez-Bustos, F., Castaño-Tostado, E., & Amaya-Llano, S. L. 2011. Physicochemical characterization of extruded blends of corn starch–whey protein concentrate–Agave tequilana fiber. Food and Bioprocess Technology, 4(5), 797-808.

[8] Yadav, D. N., Anand, T., & Singh, A. K. 2014. Co‐extrusion of pearl millet‐whey protein concentrate for expanded snacks. International journal of food science & technology, 49(3), 840-846.

[9] Brnčić, M., Bosiljkov, T., Ukrainczyk, M., Tripalo, B., Brnčić, S. R., Karlović, S., Karlović, D., Ježek, D., & Topić, D. V. 2011. Influence of whey protein addition and feed moisture content on chosen physicochemical properties of directly expanded corn extrudates. *Food and bioprocess technology, 4*(7), 1296-1306.

[10] Burrington, K. 2004. Benefits of whey proteins in breakfast and snack foods. *Cereal foods world*. Case, S., Hamann, D., & Schwartz, S. 1992. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. *Cereal chemistry, 69*(4), 401-404.

[11] Alavi, S., Gogoi, B., Khan, M., Bowman, B., & Rizvi, S. 1999. Structural properties of protein-stabilized starch-based supercritical

fluid extrudates. *Food Research International, 32*(2), 107-118.

[12] da Silva, E. M. M., Ascheri, J. L. R., de Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., & Berrios, J. d. J. 2014. Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. *LWT-Food Science and Technology, 58*(2), 620-626.

[13] Obatolu Veronica, A., Omueti Olusola, O., & Adebowale, E. A. 2006. Qualities of extruded puffed snacks from maize/soybean mixture. *Journal of food process engineering, 29*(2), 149-161.

[14]. Ding, Q.-B., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. 2005. The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering, 66*(3), 283-289.

[15] Jafari, M., Koocheki, A., Milani, E. 2017. Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science, 75*, 324-331.

[16] Ghumman, A., Kaur, A., Singh, N., Singh, B. 2016. Effect of feed moisture and extrusion temperature on protein digestibility and extrusion behaviour of lentil segram. *LWT-Food Science and Technology, 70*, 349-357.

[17] Lazou, A., & Krokida, M. 2010. Functional properties of corn and corn–lentil extrudates. *Food Research International, 43*(2), 609-616.

[18] Patil, R., Berrios, J. D. J., Tang, d. J., & Swanson, B. 2007. Evaluation of methods for expansion properties of legume extrudates. *Applied Engineering in Agriculture, 23*(6), 777-783.

[19]. Singh, S. K., & Muthukumarappan, K. 2016. Effect of feed moisture, extrusion temperature and screw speed on properties of soy white flakes based aquafeed: a response surface analysis. *Journal of the Science of Food and Agriculture, 96*(6), 2220-2229.

[20] Potter,R., Stojceska,V., Plunkett,A.,2013. The use of fruit powders in extruded snacks suitable forChildren's diets. *Journal LW T - Food Science and Technology*,*51,*537-544.

[21] Asare, E. K., Sefa-Dedeh, S., Sakyi-Dawson, E., & Afoakwa, E. O. 2004. Application of response surface methodology for studying the product characteristics of extruded rice–cowpea–groundnut blends. *International journal of food sciences and nutrition, 55*(5), 431-439.

[22] Kocherla, P., Aparna, K., & Lakshmi, D. N. 2012. Development and evaluation of RTE (Ready To Eat) extruded snack using egg albumin powder and cheese powder. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 14*(4), 179-187.

[23] Arhaliass, A., Legrand, J., Vauchel, P., Fodil-Pacha, F., Lamer, T., & Bouvier, J.-M. 2009. The effect of *wheat and maize flours properties on the expansion mechanism during extrusion cooking. Food and Bioprocess Technology, 2(2), 186-193.*

[24] *Bencini, M. C. 1986. Functional Properties of Drum‐Dried Chickpea (Cicer arietinum L.) Flours. Journal of Food Science, 51(6), 1518-1521.*

[25] *O'shea, N., Arendt, E., & Gallagher, E. 2014. Enhancing an extruded puffed snack by optimising die head temperature*, screw speed and apple pomace inclusion. *Food and bioprocess technology, 7*(6), 1767-1782.

[26] Jafari, M., Koocheki, A., Milani, A., 2017, Effect of extrusion variable on physicochemical properties of extruded sorghum, Journal of Food Science and Technology, accepted manuscript, [in Persian].

[27] Anderson, R., Conway, H., & Peplinski, A. 1970. Gelatinization of corn grits by roll cooking, extrusion cooking and steaming. Starch‐Stärke, 22(4), 130-135.

[28] Anton, A., & Luciano, F. 2007. Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: a review evaluación instrumental de textura en alimentos extruidos: una revisión. *CYTA-Journal of Food, 5*(4), 245-251.

[29] Chen, L., Chen, J., Ren, J., & Zhao, M. 2011. Modifications of soy protein isolates using combined extrusion pre-treatment and controlled enzymatic hydrolysis for improved emulsifying properties. *Food Hydrocolloids, 25*(5), 887-897.

[30] Jones, D., Chinnaswamy, R., Tan, Y.,& Hanna, M. 2000. Physiochemical properties of ready-to-eat breakfast cereals. *Cereal Foods World, 45*(4), 164-168.

[31] Guerrero, P., Beatty, E., Kerry, J., & De La Caba, K. 2012. Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *Journal of Food Engineering, 110*(1), 53-59.

Assessment of physicochemicaland functional properties of expanded snack enriched with whey protein concentrated

Yaghot kar, Sh. [1], Milani, E. [2*]

1. MSc student of food science and technology Azad university of Ghochan
2. Associated professor, Food science and research institute, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Khorasanrazavi
3. Food science and research institute, Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Khorasan razavi

(Received: 2017/10/16 Accepted:2018/10/16)

Strong demand for improvement of current expanded snacks with optimal functional and nutritional properties has a dramatic increased. It turns into controversial subject through researchers. This study was performed in order to optimize expanded snack containing high amount of protein. Whey protein concentrate (WPC) is the most commercialized in the nutrition market due to its high nutritional value when compared to other proteins sources. In this regard, the effect of formulation variables containing WPC (4-12%) and feed moisture (11-16%) on physicochemical and functional properties of expanded snack were evaluated andaftercoating with beet powder (5-15%) and corn oil (40-60%), corn snack products were evaluated in terms of sense. the characteristics of rigidity, porosity and texture, flavor, oral sensation and general acceptance were examined. Optimization results showed that the most desirable puffed product was determined at 11.10% feed moisture and 8.83% WPC. The final moisture content, expansion index, bulk density, porosity and hardness of expanded snack were observed 1.70%, 6.49%, 0/07 gcm-3, 0/9% and 1.61 N, respectively. Functional properties also including oil absorption, water solubility and water absorption indices were obtained 2.63 g/g, 49.50 g/g and 3.53 g/g, respectively. On the other hand, the lightness, redness and yellowness values of expanded snack were 57.03, 7.50 and 21.68, respectively.15% beet powder and 40.1708% corn oil were also the most suitable for achieving a coating with best sensory characteristics. This project obviously demonstrated that WPC as a food by product could be a valuable candidate in fortification program of expanded snacks especially infant food formulations.

Key words: Snack, Extrusion cooking, Whey protein concentrates, Texture

[*] Corresponding Author Email Address: e.milani@jdm.ac.ir