مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی تأثیر سطوح جایگزینی آرد کینوا بر خصوصیات کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)

مژگان علوی[۱]، معصومه مهربان سنگ آتش[۲]، بهاره صحرائیان*[۲]، امیر جاجرمی[۳]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، مؤسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی کاشمر، کاشمر، ایران.

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

۳-دانش‌آموخته دکتری مهندسی علوم و صنایع غذایی، گروه نانو فناوری مواد غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶

کلمات کلیدی:

بافت،

بدون گلوتن،

تحلیل مؤلفه‌های اصلی،

کینوا،

ویژگی‌های حسی.

DOI:10.22034/FSCT.21.149.128.

* مسئول مکاتبات:

Baharehsahraiyan@yahoo.com

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی تأثیر جایگزینی سطوح متفاوت آرد نخودچی (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد) با آرد کینوا بر روابط و وابستگی بین میزان پروتئین، خاکستر، رطوبت، حجم مخصوص، بافت، تغییرات رنگ و ویژگی‌های حسی شیرینی بدون گلوتن با استفاده از روش تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) انجام شد. نتایج حاصله نشان‌دهنده وابستگی و رابطه میان پارامترهای ارزیابی شده به تغییر در سطح جایگزینی آرد نخودچی با کینوا در فرمولاسیون شیرینی بدون گلوتن بود. با جایگزینی ۲۵ درصد روابط میان پارامترها به صورت قابل توجهی دچار تغییر شد. با افزایش تغییر سطح جایگزینی از ۲۵ به ۵۰ درصد، با غالب شدن بو و مزه و تغییر در بافت، روابط میان پارامترهای ارزیابی شده در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی، دچار بازآرایی نسبت به یکدیگر شدند. با افزایش سطح جایگزینی از ۵۰ به ۷۵ درصد، تأثیرگذاری حضور آرد کینوا بر خصوصیات بافتی فراورده تولیدی و روابط آن با سایر پارامترها، پراکندگی صفات مورد بررسی را نشان داد. این امر بیانگر سطح بحرانی تغییر روابط به سمت غالب شدن خصوصیات کینوا در فرمولاسیون بود. در سطح جایگزینی ۱۰۰ درصد بر مبنای موقعیت قرارگیری پارامتر حجم مخصوص با پارامترهای مربوط به خصوصیات بافتی، رابطه‌ای متضاد میان آن‌ها مشاهده شد. براساس نتایج حاصله قابلیت کاربرد روش تحلیل مؤلفه اصلی به عنوان ابزاری سودمند در شناسایی زیرلایه روابط میان پارامترها کمی و کیفی در جهت طراحی و توسعه فرمولاسیون‌های غذایی را نشان می‌دهد و در نهایت حداکثر جایگزینی ۵۰ درصد از آرد نخودچی با آرد کینوا در فرمولاسیون شیرینی نخودچی توصیه می‌گردد.

۱-مقدمه

بیماری سلیاک یک اختلال آلرژی و خودایمنی روده باریک با زمینه ارثی است. در این بیماری گوارشی پرزهای روده باریک آسیب دیده و در جذب مواد اختلال دارد. در صورتی که بیماران مبتلا به سلیاک پروتئینی از دسته گلوتن (گلیادین) که در برخی از غلات مانند گندم، جو، چاودار و گاه جو دوسر وجود دارد را مصرف کنند، دچار علایم عدم تحمل و در موارد حاد دچار مرگ می‌شوند [۱]. اکثر فراورده‌های بدون گلوتن موجود در بازار از نشاسته تشکیل شده‌اند و در مقایسه با فراورده‌های مشابه دارای گلوتن، سطح پروتئین و مواد مغذی پایینی دارند [۲]. نان نخودچی که به عنوان شیرنی نخودچی نیز شناخته می‌شود از فراورده‌های سنتی استان قزوین است [۳]. به دلیل عدم حضور گلوتن در اجزای این شیرینی می‌توان از آن به عنوان بخشی از سبد غذایی افراد مبتلا به سلیاک استفاده کرد. حبوبات نظیر نخود بدون گلوتن هستند و فراهم‌کننده پروتئین و فیبرهای محلول هستند. کینوا نیز بدون گلوتن بوده و منبعی غنی از پروتئین، اسیدهای آمینه ضروری، مواد معدنی و ویتامین محسوب می‌شود. این شبه غله می‌تواند تکمیل‌کننده ترکیبات مغذی برای حبوبات باشد. گیاه کینوا با نام علمی (Chenopodium quinoa Willd) منبعی غنی از پروتئین، آمینو اسیدهای ضروری لیزین، متیونین، سیستئین و ترئونین، مواد معدنی نظیر کلسیم، فسفر، منیزیم، پتاسیم، آهن، مس، منگنز و روی، فیبر و ویتامین‌های گروه ب است [٤، ٥، ٦]. ارزش بسیار بالای دانه یا بذر کینوا، موجب مقایسه آن توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) با شیر خشک گردید. پروتئین کینوا از نظر کمی و کیفی از غلات متداول بهتر است [۷]. از این رو جایگزینی بخشی از فرمولاسیون شیرینی نخودچی با آرد کینوآ موجب بهبود خصوصیات تغذیه‌ای محصول می‌شود.

تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis – PCA) به عنوان یکی از روش‌های آنالیز چند متغیره، ابزاری سودمند برای مطالعه ارتباط میان زیرلایه دادها و شناسی ارتباط میان آن‌ها معرفی می‌شود. این روش، تبدیلی در فضای برداری برای تحلیل مجموعه داده‌های با تعداد زیادی بعد یا ویژگی‌های متفاوت است که تفسیرپذیری ارتباط میان داده‌ها را فراهم می‌کند [۸]. از این رو می‌توان از این ابزار برای مطالعه خصوصیات حسی و سایر پارامترهای کمی و بررسی روابط میان آن‌ها استفاده نمود [۹، ۱۰، ۱۱]. خصوصیات حسی در فراورده‌های غذایی مورد استفاده در قشر خاص از مصرف کنندگان با محدودیت های غذایی دارای اهمیت قابل توجه‌است [۱۲، ۱۳، ١٤]. از سوی دیگر به دلیل محدودیت در کاربرد ترکیبات معمول، نقش کاربرد جایگزین‌های قابل استفاده پر رنگ می‌شود. از این رو مطالعه ارتباط میان زیرلایه دادها و شناسی ارتباط میان پارامترهای کمی و کیفی تحت تأثیر سطوح جایگزینی ترکیبات موجود در مواد غذایی، اهمیت قابل توجهی برای طراحی و توسعه فرمولاسیون این دسته از فراورده‌ها دارد. با توجه به مطالب بیان شده هدف از این مطالعه کاربرد روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی ارتباط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی نخودچی تحت تأثیر جایگزینی سطوح مختلف آرد نخودچی با آرد کینوا بود.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱-مواد

آرد کینوا با رطوبت ۷/٦۷ درصد، چربی ۵/۷ درصد، پروتئین ۱۷/۹۲ درصد و خاکستر ۲/۸٤ درصد، آرد نخود با رطوبت ۵/۲۳ درصد، چربی ٤/۱ درصد، پروتئین ۲٤/۲۳ درصد و خاکستر ۲/٦۳ درصد، پودر شکر و شورتنینگ از یک لوازم قنادی معتبر خریداری شد.

۲-۲-روش تهیه شیرینی

شیرینی بدون گلوتن شاهد (فاقد آرد کینوا) حاوی ۱۰۰ گرم آرد نخودچی، ۵۰ گرم شورتنینگ و ۵۰ گرم پودر شکر بود. جهت تهیه تیمارها آرد نخودچی در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد با آرد کینوا جایگزین شد. بدین منظور ابتدا پودر شکر و شورتنینگ در مخزن همزن آزمایشگاهی (مدل BJY-BM5N ساخت شرکت بیک صنعت، ایران) به مدت ۵

دقیقه تا رسیدن به مخلوطی نرم و یکنواخت مخلوط شد. در مرحله بعد آرد طی چند مرحله به مخلوط پودر شکر و شورتنینگ اضافه و تا رسیدن به خمیری یکدست عمل همزدن ادامه یافت. سپس خمیر شیرینی انتقال یافته در کیسه‌های پلی‌اتیلینی به مدت ٢٤ ساعت در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد (دمای یخچال) قرار گرفت. پس از طی شدن مدت زمان استراحت، خمیر شیرینی از یخچال خارج شد و تا رسیدن به دمای حدود ٢٥ درجه سانتی‌گراد در محیط قرار گرفت. در ادامه خمیر شیرینی بدون گلوتن تا رسیدن به قطر ١ سانتی‌متر پهن و قالب‌زنی با قالب چهار پر کوچک انجام شد. در انتها نمونه‌های تهیه شده در سینی مخصوص قرار گرفتند و در فر آزمایشگاهی (مدل XFT135 ساخت ایتالیا) با دمای ١٦٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ٢٠ دقیقه پخت شدند.

٣-٢-پروتئین

برای اندازه‌گیری پروتئین از روش AACC (٢٠٠٠) به شماره ٤٦-١٢ (روش کجلدال) استفاده شد [١٥]. بدین منظور ١ گرم نمونه به دقت وزن و در یک لوله هضم قرار داده شد. ٠/٨ گرم از مخلوط کاتالیزور روی نمونه ریخته، سپس ٣ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ، با پیپت به داخل لوله‌ها اضافه شد. لوله‌ها روی اجاق‌های هضم قرار داده و به آهستگی حرارت داده شدند. هنگامی که مقداری از دود و بخارات متصاعد شده، کاسته شد، حرارت زیاد گردید. در طول هضم چندین مرتبه لوله‌ها تکان داده شد تا اگر احتمالاً موادی به بدنه چسبیده وارد محلول شود. پس از زلال و بی‌رنگ شدن محتویات لوله حدود ٢٠ دقیقه عمل هضم ادامه یافت. پس از خاتمه هضم لوله‌ها سرد شد، سپس به هرکدام از لوله‌ها ٢٥ سی‌سی آب مقطر اضافه شد و بهم‌زده شد. لوله در داخل دستگاه که مستقیماً میزان پروتئین را اندازه‌گیری می‌کند، قرار داده شد. در نهایت با تنظیم پارامترهای دستگاه مثل ضریب نسبت نیتروژن و پروتئین، میزان پروتئین محاسبه شد.

٤-٢-خاکستر

برای اندازه‌گیری خاکستر از روش AACC (٢٠٠٠) به شماره ٠١-٠٨ (روش کوره‌گذاری) استفاده شد [١٥]. بدین منظور یک بوته چینی در کوره کاملا خشک شد و سپس درون دسیکاتور سرد و توزین گردید. ٥ گرم از نمونه وزن شده، درون بوته چینی قرار داده و در داخل کوره گذاشته شد. پس از سوزاندن مقدماتی درجه کوره تا ٥٥٠ درجه سانتی‌گراد افزایش و حرارت‌دهی ادامه یافت تا رنگ خاکستر روشن‌تر شد. هرگاه رنگ تیره باقیمانده بود، بوته از کوره خارج و سرد و چند قطره به آن آب مقطر افزوده شد و پس از تبخیر دوباره داخل کوره قرار داده تا خاکستر روشن تولید گردید. در نهایت بوته چینی حاوی نمونه خارج شد و در دسیکاتور سرد و سپس توزین گردید. از رابطه ١ جهت تعیین درصد خاکستر استفاده شد.

رابطه ١-

$$Ash\ (\%)=((a_1-a_2)/a_0)\times 100$$

در این رابطه، a_0 وزن نمونه، a_1 وزن بوته چینی و نمونه قبل از قرار دادن در کوره و a_2 وزن بوته و خاکستر نمونه بعد از کوره‌گذاری است.

٥-٢-رطوبت

اندازه‌گیری مقدار رطوبت با استفاده از روش AACC (٢٠٠٠) به شماره ١٦-٤٤ (روش آون‌گذاری) انجام شد [١٥]. برای این منظور در ابتدا پلیت مخصوص به مدت حداقل ٠/٥ ساعت در آون با دمای ١٠٣ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد، سپس در دسیکاتور در دمای آزمایشگاه سرد شد و با دقت یک میلی‌گرم توزین گردید. سپس ١٠ گرم از نمونه به ظرف منتقل و مجددا به دقت توزین شد. در ادامه پلیت حاوی نمونه در آون با دمای ١٠٥ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. آن گاه بعد از حدود ٣ ساعت پلیت از آون خارج و پس از سرد نمودن در دسیکاتور، مجددا توزین شد. عمل وزن کردن نمونه تا رسیدن به وزن ثابت ادامه یافت. مقدار درصد رطوبت از رابطه ٢ محاسبه شد.

رابطه٢-

$$MC=\frac{(m_1-m_2)}{m_0}\times 100$$

در این رابطه، m_0 وزن نمونه توزین شده، m_1 وزن پلیت و نمونه قبل از قرار دادن در آون و m_2 وزن پلیت و نمونه بعد از آون‌گذاری است.

۲-۶-حجم مخصوص

بدین منظور ابتدا با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی وزن هر یک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. سپس از روش جایگزینی حجم با دانه کلزا مطابق با استاندارد AACC (۲۰۰۰) به شماره ۱۰-۷۲ جهت سنجش حجم استفاده شد. در نهایت از تقسیم حجم بر وزن نمونه، حجم مخصوص بر حسب میلی‌لیتر بر گرم محاسبه گردید [۱۵].

۲-۷-بافت

ارزیابی بافت نمونه‌ها با استفاده از دستگاه بافت‌سنج براساس روش ناصحی و همکاران (۱۳۹۸) با تغییراتی انجام شد. بدین منظور هر تیمار (یک عدد شیرینی بدون گلوتن کامل) با پروب صفحه‌ای بزرگتر از سطح مقطع نمونه، با سرعت ۵ میلی‌متر بر ثانیه تا ۵۰ درصد ضخامت شیرینی فشرده شد و حداکثر نیروی لازم به عنوان سختی بافت بر حسب نیوتن در نظر گرفته خواهد شد [۱۶].

۲-۸-رنگ

ارزیابی رنگ مطابق با روش ساریکوبان و یلماز و همکاران (۲۰۱۰) انجام گرفت. بدین منظور نمونه‌ها جهت عکس‌برداری در محفظه‌ای با زمینه‌ای به رنگ سفید قرار گرفتند و عکس‌برداری با استفاده از دوربین دیجیتال انجام گرفت. فاکتورهای مربوط به رنگ در سیستم هانترلب ($L^*a^*b^*$)، با انتقال تصاویر به رایانه و با استفاده از نرم افزار پردازشگر تصویر به دست آمدند. این مدل دارای فاکتور L^* (شامل طیف سیاه تا سفید با محدوده از صفر تا ۱۰۰) و دو فاکتور رنگی a^* (شامل طیف رنگی سبز تا قرمز با محدوده ۱۲۰+ تا ۱۲۰) و b^*(شامل طیف رنگی آبی تا زرد با محدوده ۱۲۰+ تا ۱۲۰-) است. بعد از تعیین مؤلفه‌های رنگی برای مقایسه رنگ نمونه‌های تولیدی (تیمارهای متفاوت) از شاخص تغییر رنگ (Color) با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد [۱۷].

$$\text{Color} = \sqrt{(L-L0)^2+(a-a0)^2+(b-b0)^2} \quad \text{رابطه ۱}$$

L_0، a_0 و b_0 مؤلفه‌های رنگی نمونه شاهد هستند.

۲-۹-ویژگی‌های حسی

بدین منظور ۱۰ داور انتخاب شدند. خصوصیات حسی شیرینی‌های بدون گلوتن از نظر فرم و شکل (شکل نامتقارن، و وجود هرگونه حفره یا فضای داخلی)، سطح (سوختگی، غیرطبیعی بودن رنگ، چین و چروک، ترک خوردگی و سطح غیر عادی)، سفتی و نرمی بافت (خمیری بودن و یا نرمی غیر عادی، سفت بودن، تردی و شکنندگی)، قابلیت جویدن (خشک و سفت بودن، گلوله و خمیری بودن در دهان و چسبیدن به دندان‌ها) و بو، طعم و مزه (طعم تند و زننده، بوی خامی یا ترشیدگی و یا عطر طبیعی شیرینی بدون گلوتن) ارزیابی شدند. ضریب ارزیابی صفات براساس هدونیک پنج نقطه‌ای از بسیار بد (۱) تا بسیار خوب (۵) و ضریب رتبه هر یک از ویژگی ها (فرم و شکل، سطح، سفتی و نرمی بافت، قابلیت جویدن و بو و مزه) به ترتیب ۴، ۲، ۲، ۳ و ۳ بود [۱۸ و ۱۹]. در انتها با داشتن این معلومات، امتیاز پذیرش کلی (عدد کیفیت شیرینی بدون گلوتن) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد.

رابطه ۳-

$$Q = \frac{\sum (P \times G)}{\sum P}$$

۲-۱۰-تجزیه و تحلیل آماری

از آرد کینوا در پنج سطح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به صورت کاملا تصادفی در تولید شیرینی بدون گلوتن استفاده شد؛ بنابراین ۵ تیمار با ۳ تکرار و در مجموع ۱۵ نمونه، تهیه شد. برای بدست آوردن مؤلفه‌های اصلی و ارتباط بین ویژگی‌های شیرینی نخودچی بدون گلوتن در نتیجه جایگزینی سطوح متفاوت آرد نخودچی با آرد کینوا از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و لودینگ پلات (loading plot) بر مبنای مؤلفه اول و دوم استفاده شد که در بردارنده

بیشترین مقدار واریانس‌های توضیحی (بیشترین درصد اطلاعات در مجموعه داده‌ها) است. نرم افزار مورد استفاده Minitab 17 بود.

۳- نتایج و بحث

۳-۱-تحلیل روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن فاقد آرد کینوا

شکل ۱ نشان‌دهنده روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن فاقد آرد کینوا در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. همانطور که در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی مشاهده می‌شود، پذیرش کلی به صورت کاملا مستقیم بیشترین تأثیرپذیری را از ۲ پارامتر قابلیت جویدن و نرمی فراورده تولیدی داشت. این امر نشان‌دهنده وابستگی بالای پذیرش داوران چشایی از خصوصیات حسی مربوط به احساس دهانی محصول است. خصوصیات دهانی و بافتی محصول متشکل از طیفی از خصوصیات حسی است که همراه با یکدیگر قابل درک بوده و گستره‌ای از خصوصیات مکانیکی، ساختاری و رئولوژیکی را در بر می‌گیرد [۲۰]. از سوی دیگر رابطه‌ای وابسته میان پارامتر شکل و فرم به عنوان پارامترهای کیفی با ۲ پارامتر کمی رطوبت و خاکستر مشاهده شد. در کنار ارتباط نزدیک میان پارامترهای گزارش شده، شاهد روابط با وابستگی منفی میان جفت پارامترهای بافت و حجم مخصوص، رنگ و رطوبت، عطر و پروتئین، رنگ و فرم در کنار پارامترهای سطح و نرمی بافت مشاهده گردید. روابط حاصله بیانگر تأثیرپذیری هر یک از پارامترهای کمی و کیفی از یکدیگر در شیرینی نخودچی بود.

هنگامی که مصرف‌کنندگان برای اولین بار با یک فراورده غذایی جدید مواجه می‌شوند، ارزیابی اولیه از آن را بر مبنای خصوصیات ظاهری از جمله شاخصه‌های سطحی و شکل و فرم آن انجام می‌دهند [۲۲،۲۱]. از این رو رابطه‌ای ناهمسو میان خصوصیات سطحی محصول و نرمی و شکل و فرم با رنگ نشان‌دهنده تأثیرپذیری قضاوت مصرف‌کنندگان از خصوصیات حسی بر مبنای ویژگی‌های ظاهری محصول است. تأثیر میزان پروتئین بر خصوصیات ادراکی طعم و مزه در محصول از چند بعد قابل بررسی است. از بعد ساختاری، پروتئین‌ها به عنوان زنجیره‌هایی از توالی اسیدهای آمینه شناخته می‌شود. در نتیجه دناتوراسیون و تغییر در ساختار پروتئین، دسترسی اسیدهای آمینه با سایر ترکیبات حاضر در فرمولاسیون افزایش پیدا می‌کند. از این رو در نتیجه گسترش برهم‌کنش‌های میان اسیدهای آمینه و ترکیبات حاضر در فرمولاسیون خصوصیات حسی مرتبط به دریافت عطر و طعم دچار دگرگونی می‌شود [۲۳]. میزان پروتئین فراورده تولیدی وابسته به پروتئین‌های نخود است. افزایش میزان پروتئین نخود در محصول موجب ایجاد بافت شنی/ گچی، افزایش تورم و ایجاد احساس نامطلوب در هنگام بلع می‌شود. این امر تحت تأثیر تشکیل برهم‌کنش‌های آبگریزی، هیدروژنی و واندوالسی میان زنجیره‌های پروتئینی است. بنابراین افزایش میزان پروتئین موجب تأثیرگذاری بر خصوصیات حسی و ادراک طعم و مزه می‌گردد [۲٤]. پروتئین‌ها به عنوان ساختارهایی آمفی‌فیل (حضور همزمان گروه‌های آبدوست و آبگریز در زنجیره) شناخته می‌شوند. در نتیجه گسترش برهم‌کنش‌های آبگریزی در زنجیره، ساختار پروتئین دچار دناتوراسیون و تغییر ساختار کنفورماسیونی می‌شود [۲۵]. دناتوراسیون پروتئین موجب افزایش سطح ساختار و دسترس‌پذیری بالاتر آمینواسیدها در زنجیره پروتئین می‌شود. از این رو در نتیجه حضور قند در فرمولاسیون، واکنش قهوه‌ای شدن مایلارد با نرخ بالاتری رخ می‌دهد که موجب پدیدار شدن ترکیبات با وزن ملکولی بالا و ظهور طعم و مزه نامطلوب در محصول می‌گردد [۲٦، ۲۷].

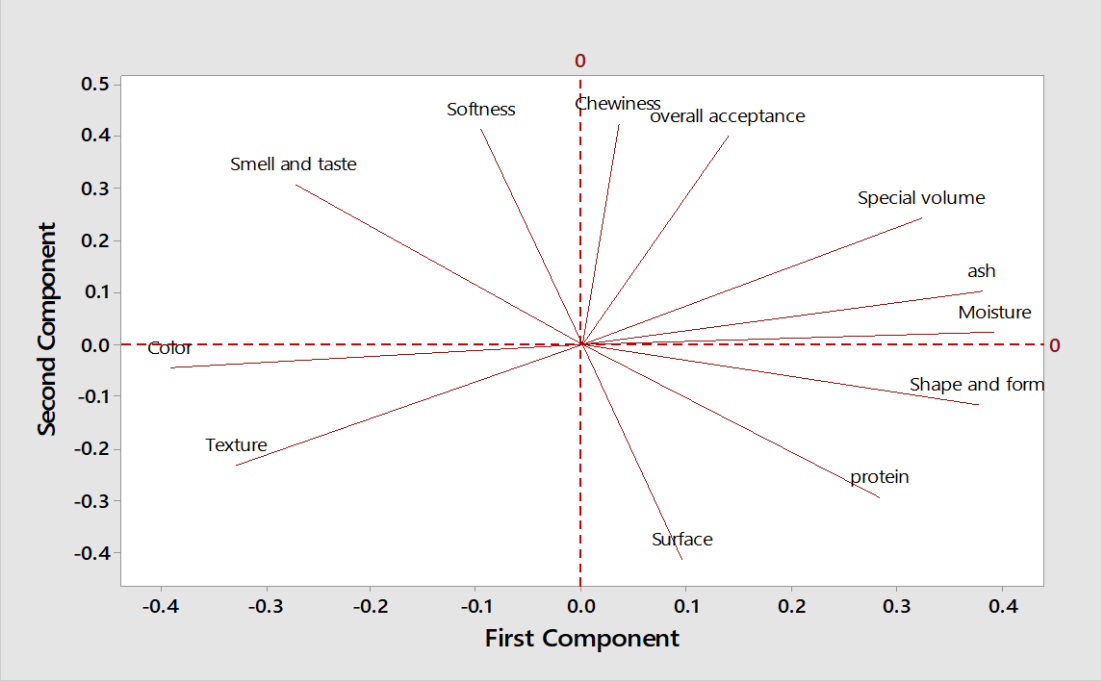

Fig 1-Loading plot of quantitative and qualitative parameters in gluten-free cookie without quinoa flour replacing.

۲-۳-تحلیل روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۲۵ درصد آرد کینوا

شکل۲ نشان‌دهنده روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۲۵ درصد آرد کینوا در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. همانطور که در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی قابل مشاهده است، تغییر در فرمولاسیون موجب تأثیرپذیری قضاوت داوران چشایی از خصوصیات حسی و تغییر در روابط آن‌ها با خصوصیات کمی در محصول شده که به موجب آن روابط همسو و ناهمسو مشاهده شد. بیشترین همبستگی میان پارامترها در فضای مؤلفه‌های اصلی میان ۳ پارامتر حجم مخصوص، رطوبت و خاکستر بود. در مقایسه با نمونه فاقد جایگزینی، نتایج نشان دهنده جایگزین شدن پارامتر حجم مخصوص با پارامتر شکل و فرم و ایجاد ارتباط مستقیم با رطوبت و خاکستر است. همچنین در حضور آرد کینوا در سطح ۲۵ درصد، ارتباطی منفی میان این پارامترها با پروتئین به جای پارامتر رنگ ایجاد گردیده است. علاوه بر تغییرات عنوان شده، روابط همسو میان جفت پارامترهای عطر و طعم با قابلیت جویدن، شکل و فرم با بافت نیز مشاهده شد. توركات و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی فرمولاسیون نان بدون گلوتن حاوی آرد کینوا، گندم سیاه، آرد برنج و نشاسته سیب زمینی پرداختند. بر مبنای نتایج گزارش شده توسط این پژوهشگران نمونه حاوی ۲۵ درصد آرد کینوا باعث بهبود خصوصیات بافتی محصول شد [۲۸]. این محققان گزارش کردند که حضور ۲۵ درصدی آرد کینوا در فرمولاسیون موجب شکل‌گیری بافت نرم‌تر با ویژگی‌های حسی مطلوب شد. جان و همکاران (۲۰۱۸) از آرد کینوا در فرمولاسیون کلوچه بدون گلوتن استفاده نمودند. نتایج این محققان نشان داد کاربرد آرد کینوا در سطوح کمتر از ۵۰ درصد منجر به بهبود بافت نمونه‌های تولیدی شد. این پژوهشگران گزارش کردند حضور آرد کینوا در فرمول کلوچه بدون گلوتن پخش‌پذیری شکر و روغن را در فرمولاسیون افزایش داد و به موجب آن سفتی بافت کاهش یافت [۲۹]. نتایج گزارش شده دارای مشابهت با مشاهدات حسی از روابط میان پارامترهای مورد بررسی در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی مربوط به شیرینی نخودچی غنی شده با آرد کینوا بود. از سوی دیگر با در نظر گرفتن پارامتر پذیرش کلی به عنوان معیاری کلی از ویژگی‌های حسی ارزیابی شده توسط داوران چشایی، رابطه‌ای با وابستگی بالا با پارامتر خصوصیات سطحی و تأثیرپذیر از پارامترهای قابلیت جویدن و بو و مزه مشاهده شد.

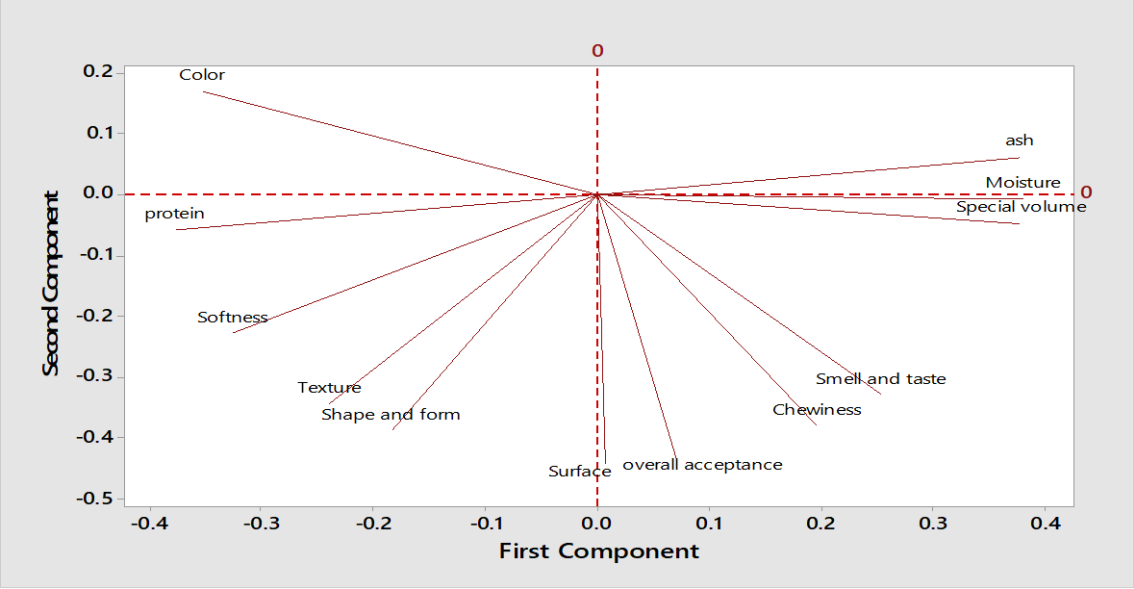

Fig 2-Loading plot of quantitative and qualitative parameters in gluten-free cookie with 25% quinoa flour replacing.

۳-۳-تحلیل روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۵۰ درصد آرد کینوا

شکل۳ نشان‌دهنده روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۵۰ درصد آرد کینوا در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد با افزایش سطح جایگزینی ۵۰ درصد از آرد نخودچی با آرد کینوا، امتیاز پذیرش کلی نمونه‌های تولیدی دارای رابطه‌ای ناهمسو با قابلیت جویدن و رابطه‌ای مستقیم و همسو با نرمی و شکل و فرم بود. از سوی دیگر پارامتر بو و مزه رابطه‌ای مستقیم با پارامترهای حجم مخصوص و در تضاد با رنگ داشت. همچنین رابطه‌ای متضاد در امتیاز نرمی بافت در ارزیابی حسی با پارامتر بافت به عنوان شاخصی از سختی محصول مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده تأثیرگذاری بالای تغییر سطح جایگزینی آرد نخودچی با آرد کینوا از ۲۵ به ۵۰ درصد بود که منجر غالب شدن بو و مزه کینوا و تغییر چشمگیر در بافت تحت تأثیر حضور کینوا در محصول شد. نسلیها و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر استفاده از آرد کینوا در فرمولاسیون کیک بدون گلوتن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش آرد کینوا در فرمولاسیون، حجم افزایش و سفتی بافت کاهش یافت [۳۰].

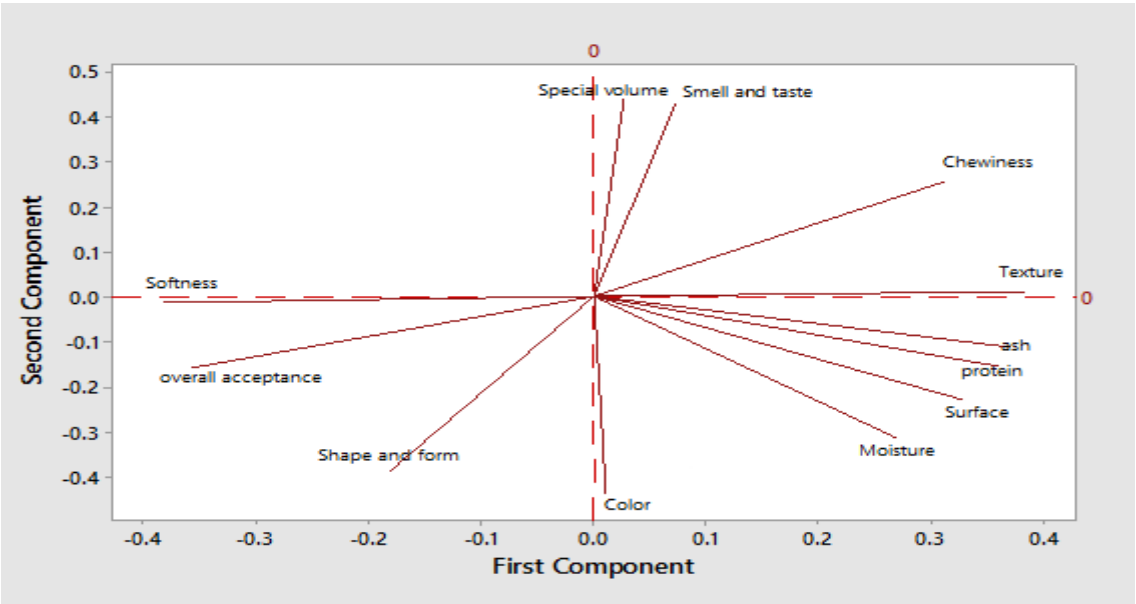

Fig 3-Loading plot of quantitative and qualitative parameters in gluten-free cookie with 50% quinoa flour replacing.

٤-۳-تحلیل روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۷۵ درصد آرد کینوا

شکل ٤ نشان‌دهنده روابط میان پارامترها کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۷۵ درصد آرد کینوا در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. همانطور که پراکندگی صفات مورد بررسی نشان می‌دهد افزایش سطح جایگزینی آرد نخودچی با آرد کینوا از ۵۰ به ۷۵ درصد موجب واگرا شدن روابط میان پارامترهای مورد ارزیابی و کاهش وابستگی میان روابط از بعد همسو و ناهمسو می‌شود. این امر نشان‌دهنده سطح بحرانی تغییر روابط به سمت غالب شدن جایگزینی آرد نخودچی با آرد کینوا در فرمولاسیون و ایجاد خصوصیات مستقل با تأثیرگذاری یکسان بر پارامتر پذیرش کلی بود. برمبنای روابط ایجاد شده، پارامتر پذیرش کلی بیشترین تأثیرپذیری را به صورت ناهمسو از صفت فرم و شکل و نرمی و قابلیت جویدن داشت. از سوی دیگر بین پارامترهای بو و مزه با بافت نیز رابطه‌ای متضاد مشاهده شد. پارامترهای رنگ، سطح و حجم مخصوص در میان صفات مورد ارزیابی در سطح جایگزینی ۷۵ درصد آرد نخودچی با آرد کینوا، بیشترین ارتباط همسو با یکدیگر در جهت همسو داشتند. روابط مشاهده شده در سطح جایگزینی ۷۵ درصد نشان‌دهنده تأثیر مستقیم کینوا با شدت بالا بر خصوصیات بافتی شیرینی بدون گلوتن بود. بر این مبنا تغییرات بافت در شیرینی بدون گلوتن به صورت مستقیم بر خصوصیات حسی از جمله ادراک بو و مزه تأثیرگذار بود. احساس ادراک طعم و مزه دهانی در نتیجه شکسته شدن بافت به ذرات کوچکتر و افزایش سطح جهت رهایش ترکیبات معطره می‌باشد. میلووانوئیک و همکاران (۲۰۱٤) گزارش کردند در نتیجه جایگزینی آرد گندم با کینوا میزان پروتئین، فیبر خام و مقدار روغن نسبت به نمونه شاهد (نان با ۱۰۰ درصد آرد گندم) افزایش یافت. این امر سبب شد در سطوح بیش از ۵۰ درصد جایگزینی افزایش خطی سختی مغز نان و استحکام در نمونه تولیدی مشاهده شود [۳۱].

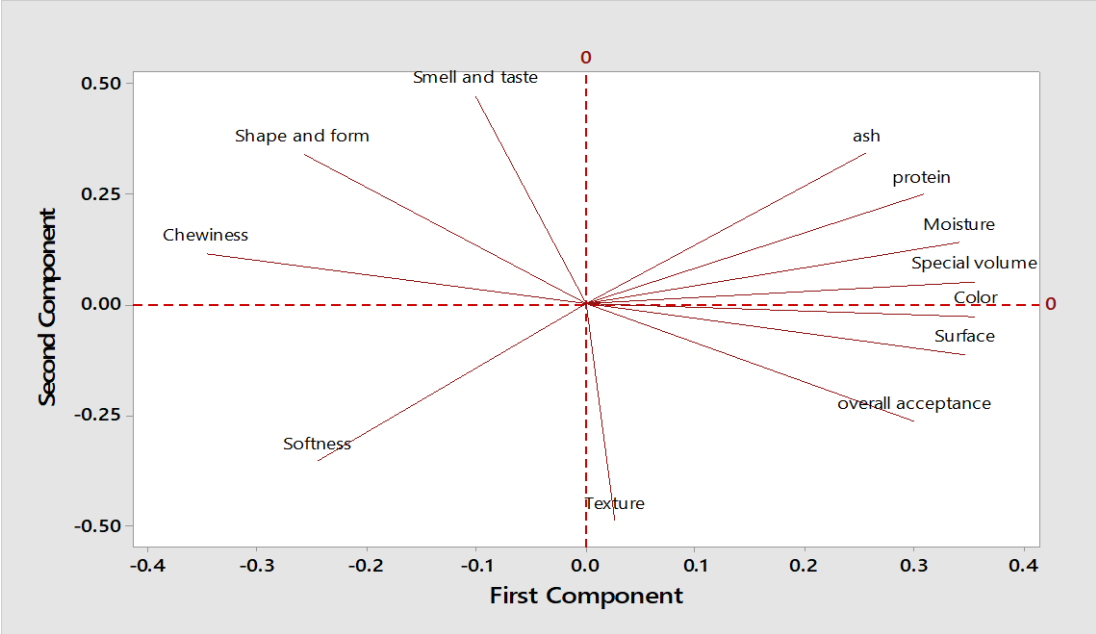

Fig 4-Loading plot of quantitative and qualitative parameters in gluten-free cookie with 75% quinoa flour replacing.

٥-۳-تحلیل روابط میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۱۰۰ درصد آرد کینوا

شکل ٥ نشان‌دهنده روابط میان پارامترها کمی و کیفی شیرینی بدون گلوتن حاوی ۱۰۰ درصد آرد کینوا در فضای تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. همانطور که روابط میان پارامترها

نشان می‌دهد رابطه‌ای با وابستگی بالا میان نرمی، رطوبت و رنگ در نمونه حاوی ۱۰۰ درصد آرد کینوا مشاهده می‌شود. از سوی دیگر پارامتر پذیرش کلی تا حدودی رابطه‌ای همسو با پارامتر پروتئین و مستقل از سایر پارامترها نشان داد. همچنین پارامتر بافت و عطر و طعم دارای رابطه‌ای غیر همسو با شدت بالا بودند. از سوی دیگر بر مبنای موقعیت قرارگیری پارامتر حجم مخصوص با پارامترهای مربوط به خصوصیات بافتی محصول، رابطه‌ای متضاد میان آن‌ها مشاهده شد. این امر نشان‌دهنده تأثیر منفی بافت در نتیجه جایگزینی کامل آرد نخودچی با آرد کینوا (۱۰۰ درصد) بر پارامتر حجم مخصوص بود. بریتو و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی به ارزیابی خصوصیات تغذیه‌ای و حسی شیرینی فاقد گلوتن تهیه شده از آرد کینوا پرداختند. بر مبنای نتایج گزارش شده توسط این محققان افزایش سطح آرد کینوا در شیرینی موجب تأثیر منفی بر رنگ، کاهش حجم مخصوص و افزایش سختی و سفتی فراورده تولیدی شد [۳۲].

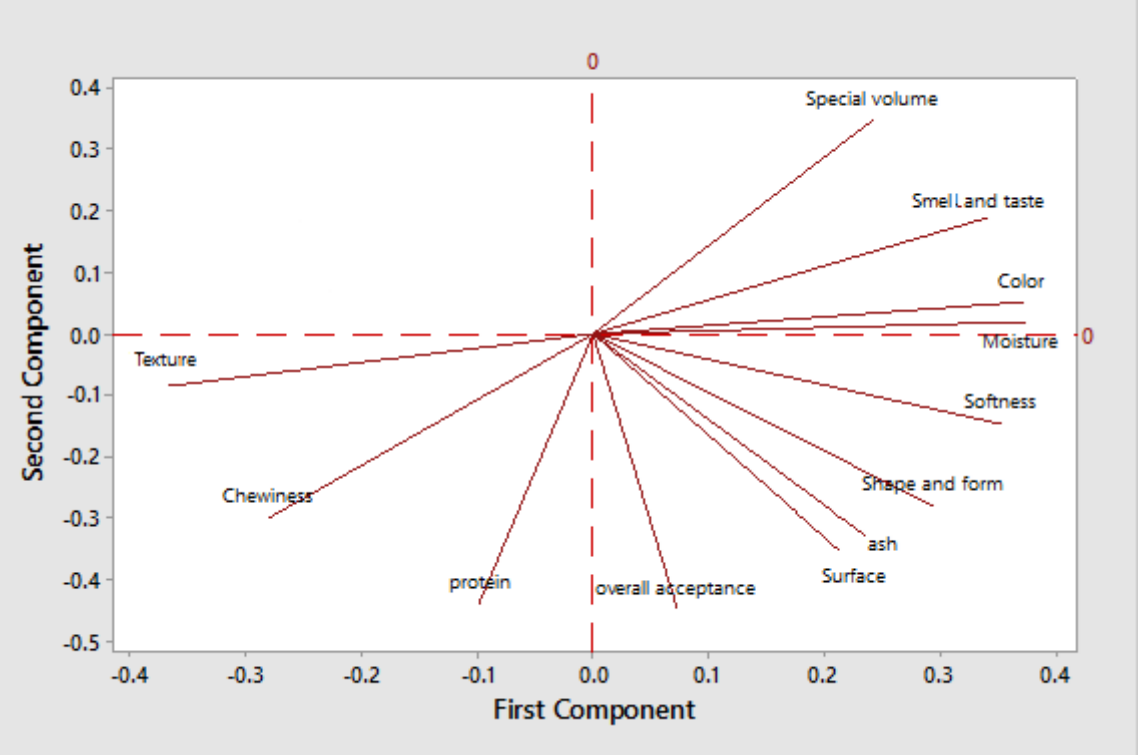

Fig 5-Loading plot of quantitative and qualitative parameters in gluten-free cookie with 100% quinoa flour replacing.

٤-نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی نوعی تحلیل عاملی است که می‌تواند برای ایجاد یک نمای ساده از مجموعه داده‌های چند بعدی، مانند آنالیزهای توصیفی، استفاده شود. از این رو، با استفاده از این ابزار می‌توان به زیر لایه روابط میان پارامترهای کمی و کیفی محصول در یک فضای برداری پی برد. مطالعه روابط و وابستگی میان پارامترهای کمی و کیفی شیرینی نخودچی با به کار بردن روش تحلیل مؤلفه اصلی نشان‌دهنده قابلیت این ابزار در ترسیم تغییر روابط میان پارامترهای فراورده تولیدی تحت تأثیر سطوح جایگزینی آرد نخودچی با آرد کینوا بود. همچنین نتایج حاصل از این پژوهش قابلیت کاربرد روش تحلیل مؤلفه اصلی برای طراحی و توسعه فرمولاسیون‌های شیرینی نخودچی حاوی آرد کینوا را نشان داد. بر مبنای تغییرات در روابط میان پارامترهای کمی و کیفی محصول در فضای تحلیل مؤلفه اصلی، جایگزینی تا ۵۰ درصد از آرد نخودچی با آرد کینوا در فرمولاسیون شیرینی نخودچی توصیه می‌شود.

٥-منابع

[1] Green, P.H., Lebwohl, B. and Greywoode, R., (2015). Celiac disease. Journal of Allergy and Clinical Immunology, 135(5), pp.1099-1106.

[2] Kupper, C. (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. Gastroenterology, 128(4), pp.S121-S127.

[3] Montazemi, R. (2011). the art of cooking. Publishing Iran book, volume 2, page 779. (In Persian).

[4] Jacobsen, S. E. (2003). The worldwide potential for quinoa (Chenopodium quinoa Willd). Food Reviews International. 19 (1–2): 167–177.

[5] Stikic, R., Glamoclija, D .j., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S. E. and Milovanovic, M. (2012). Agronomical and nutritional evaluation of quinoaseeds (Chenopodium quinoa Willd.) as an ingredient in bread formulations. Journal of Cereal Science. 55(2): 132-138.

[6] Michala, J., Lucia, M. and Alexander, D. (2009). Quinoa-a Review. Czech Journal of Food Science, 27(2): 71-79.

[7] Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K., Deleu, L. and Delcour, J. (2017). Amaranth (Amaranthus spp.), buckwheat (Fagopyrum spp.), and quinoa (Chenopodium spp.) proteins: a food science and technology perspective.

[8] Ghosh, D. and Chattopadhyay, P. (2012). Application of principal component analysis (PCA) as a sensory assessment tool for fermented food products. Journal of food science and technology, 49, pp.328-334.

[9] Chapman, K.W., Lawless, H.T. and Boor, K.J. (2001). Quantitative descriptive analysis and principal component analysis for sensory characterization of ultrapasteurized milk. Journal of dairy science, 84(1), pp.12-20.

[10] Husson, F., Lê, S. and Pagès, J. (2005). Confidence ellipse for the sensory profiles obtained by principal component analysis. Food Quality and Preference, 16(3), pp.245-250.

[11] Chawla, R., Patil, G.R. and Singh, A.K. (2014). Sensory characterization of doda burfi (Indian milk cake) using Principal Component Analysis. Journal of food science and technology, 51, pp.558-564.

[12] Sandri, L.T., Santos, F.G., Fratelli, C. and Capriles, V.D. (2017). Development of gluten-free bread formulations containing whole chia flour with acceptable sensory properties. Food science & nutrition, 5(5), pp.1021-1028.

[13] De Kock, H.L. and Magano, N. N. (2020). Sensory tools for the development of gluten-free bakery foods. Journal of Cereal Science, 94, p.102990.

[14] Pio Ávila, B., Cardozo, L. O., Alves, G.D., Gularte, M. A., Monks, J. and Elias, M. C. (2019). Consumers' sensory perception of food attributes: identifying the ideal formulation of gluten-and lactose-free brownie using sensory methodologies. Journal of food science, 84(12), pp.3707-3716.

[15] AACC. (2000). Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists, 10th Ed., Vol. 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.

[16] Nasehi, B. and Asgharipour, S. (2019). Investigating the effect of adding date palm kernel flour on gluten-free cookie based on rice flour. Journal of Food Science and Technology. 90(16): 15-25.

[17] Saricoban, C. and Yilmaz, M. T. (2010). Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. World Applied Sciences Journal, 9(1), 14-22.

[18] Jalali, M., Sheikholeslami, Z., Elhamirad, A. H., Haddad Khodaparast, M. H. and Karimi, M. (2019). The effect of Balangu Shirazi (Lallemantia Royleana) gum on the quality of gluten-free pan bread containing pre-gelatinization simple corn flour with microeave Carpathain Journal of Food Science and Technology.

[19] Yaseen, A. A., Shouk, A. H., and Ramadan, M. T. (2010). Corn-wheat pan bread quality as affected by hydrocolloids. Journal of American Science, 6(10): 684-690.

[20] Szczesniak, A. S. 2002. Texture is a sensory property. Food quality and preference, 13(4), pp.215-225.

[21] Zuo, H., Hope, T., Castle, P. and Jones, M., 2001, June. An investigation into the sensory properties of materials. In Proceedings of the international conference on affective human factors design (pp. 500-507).

[22] Jelińska, A., Zagożdżon, A., Górecki, M., Wisniewska, A., Frelek, J. and Holyst, R. (2017). Denaturation of proteins by surfactants studied by the Taylor dispersion analysis. PLoS One, 12(4), p.e0175838.

[23] Drake, M. A., Miracle, R. E. and Wright, J. M.. (2014). Sensory properties of dairy proteins. In Milk proteins (pp. 473-492). Academic Press.

[24] Fang, L., Xiang, H., Sun-Waterhouse, D., Cui, C. and Lin, J. (2020). Enhancing the usability of pea protein isolate in food applications through modifying its structural and sensory properties via deamidation by glutaminase. Journal of agricultural and food chemistry, 68(6), pp.1691-1697.

[25] Hu, Y., Sun-Waterhouse, D., Liu, P.Z., Cui, C. and Wang, W. (2019). Modification of rice protein with glutaminase for improved structural and sensory properties. International Journal of Food Science & Technology, 54(7), pp.2458-2467.

[26] Ogasawara, M., Katsumata, T. and Egi, M. (2006). Taste properties of Maillard-reaction products prepared from 1000 to 5000 Da peptide. Food Chemistry, 99(3), pp.600-604.

[27] Li, H., Li, L.F., Zhang, Z.J., Wu, C.J. and Yu, S.J. (2023). Sensory evaluation, chemical structures, and threshold concentrations of bitter-tasting compounds in common foodstuffs derived from plants and maillard reaction: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(14), pp.2277-2317.

[28] Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S. and Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. Journal of Cereal Science, 69: 174-181.

[29] Jan, K. N., Pansesar, P. S. and Sukhacharn, S. (2018). Optimization of antioxidant activity, textural and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole Indian quinoa flour, LWT- Food Science and Technology, 93: 573-582.

[30] Nesliha, B., Seher, K. and Sebnem, T. (2018). Investigation of the effects of using quinoa flour on gluten-free cake batters and cake properties. Journal of Food Science and Technology, doi.org/10.1007/s13197-018-3523-1.

[31] Milovanovic, M.M., Demin, M.A., Vucelic-Radovic, B.V., Zarković, B.M. and Stikic, R.I. (2014). Evaluation of the nutritional quality of wheat bread prepared with quinoa, buckwheat and pumpkin seed blends. Journal of Agricultural Sciences. 59(3): 318-328.

[32] Brito, I.L., de Souza, E.L., Felex, S.S.S., Madruga, M.S., Yamashita, F. and Magnani, M. (2015). Nutritional and sensory characteristics of gluten-free quinoa (Chenopodium quinoa Willd)-based cookies development using an experimental mixture design. Journal of food science and technology, 52, pp.5866-5873.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the effect of quinoa flour replacement on quantitative and qualitative characteristics of gluten-free cookie using principal component analysis method (PCA)

M. Alavi[1], M. Mehraban Sangatash[2], B. Sahraiyan[2*], Amir Jajarmi[3]

1- Department of Food Science and Technology, ACECR Kashmar Higher Education Institute, Kashmar, Iran.

2- Department of Food Quality and Safety, Food Science and Technology Research Institute, ACECR Khorasan Razavi Branch, Mashhad, Iran.

3- Research Institute of Food Science and Technology, Department of Food Nanotechnology, Mashhad, Iran.

ARTICLE INFO

Article History:
Received:2023/11/20
Accepted:2024/1/6

Keywords:

Texture,

Gluten-free,

Principal Component Analysis,

Quinoa,

Sensory Characteristics

DOI: **10.22034/FSCT.21.149.128.**

*Corresponding Author E-Mail:
Baharehsahraiyan@yahoo.com

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of substituting different levels of chickpea flour (0, 25, 50, 75 and 100%) with quinoa flour on the relationship and dependence between the amount of protein, ash, moisture, specific volume, texture, color changes and sensory characteristics. Gluten-free cookies were analyzed using principal component analysis (PCA). The obtained results showed the dependence and relationship between the evaluated parameters to the change in the level of substitution of chickpea flour with quinoa in the formulation of gluten-free cookies. By replacing 25%, the relationship between the parameters changed significantly. With the increase of substitution level change from 25 to 50%, with the predominance of smell and taste and change in texture, the relationships between the evaluated parameters in the space of principal component analysis were rearranged relative to each other. By increasing the substitution level from 50 to 75%, the influence of the presence of quinoa flour on the textural characteristics of the manufactured product and its relationship with other parameters showed the variation of the examined traits. This indicated the critical level of relationship change towards the predominance of quinoa properties in the formulation. At the replacement level of 100%, based on the position of the special volume parameter with the parameters related to tissue characteristics, an opposite relationship was observed between them. Based on the results, it shows the applicability of principal component analysis as a useful tool in identifying the substrate of relationships between quantitative and qualitative parameters in the direction of designing and developing food formulations, and finally, the maximum replacement of 50% of chickpea flour with quinoa flour in Chickpea sweet formulation is recommended.