تحقیقات مهندسی صنایع غذایی/جلد ۲۴ / شماره۷۸/بهار و تابستان/۱۴۰۴/ ص ۲۰۹-۱۹۳

سایت مجله: https://fooder.areeo.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

بررسی خصوصیات بافتی وحسی پنیر پروسس با استفاده ازنشاسته نخود و صمغ زانتان به روش میکسچر دیزاین

نفیسه حسن نژاد[۱]، محمد حجت‌الاسلامی[۲*]، هومان مولوی[۳]، حسین کیانی[۴]

[۱] گروه علوم و صنایع غذایی،دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۲*] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۳] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شهرکرد، شهرکرد، ایران

[۴] گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تهران،تهران، ایران

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۹/۰۳ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

چکیده

پنیر پروسس حاصل خردکردن و مخلوط‌کردن پنیر طبیعی با عناصر لبنی و غیر لبنی می‌باشد. هدف از این تحقیق جایگزینی نشاسته نخود و صمغ زانتان با نمک‌های فسفاته امولسیون‌کننده تجاری و تولید محصول فراسودمند می‌باشد. خصوصیات بافتی و حسی پنیرهای تولید شده به روش میکسچردیزاین مورد بررسی قرار گرفت و نشاسته نخود و صمغ زانتان با سطوح مشخص شده توسط نرم‌افزار دیزاین جایگزین نمک‌های فسفاته شدند. افزودن صمغ زانتان و نشاسته باعث افزایش سفتی و پیوستگی نمونه‌ها شده است. میزان چسبندگی نمونه‌ها با افزودن صمغ زانتان و نشاسته کاهش یافته است. تأثیر متقابل نشاسته – صمغ زانتان، صمغ زانتان-نمک‌های فسفاته، نشاسته – نمک‌های فسفاته باعث کاهش میزان صمغی بودن و قابلیت جویدن نمونه‌ها شده است. نتایج حاصل از آزمون هدونیک نشان داد که تأثیر متقابل نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته افزایش مقبولیت خصوصیات بافتی شده است. نشاسته و نمک‌های فسفاته به تنهایی باعث افزایش مقبولیت طعم شده است. ولی اثر متقابل نشاسته – صمغ زانتان و صمغ زانتان –نمک‌های فسفاته مقبولیت طعم به میزان قابل‌توجهی افزایش داده است. با افزودن نشاسته و صمغ زانتان مقبولیت در مورد رنگ نمونه‌ها افزایش داشته است. اما تأثیر متقابل نشاسته، نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان باعث کاهش مقبولیت رنگ نمونه‌ها شده است. پذیرش کلی در نمونه‌های پنیر تولیدی به میزان قابل‌توجهی افزایش داشته است.

واژه‌های کلیدی: پنیر پروسس، نشاسته نخود، صمغ زانتان، نمک‌های امولسیون‌کننده، خصوصیات بافتی، خصوصیات حسی

مقدمه

پنیر پروسس در اثر خردکردن، مخلوط‌کردن یک یا بیش از یک پنیر معمولی همراه با سایر اجزای لبنی یا غیر لبنی و سپس تبدیل یک مخلوط ذوب شده هموژن، با استفاده از حرارت، اعمال برش و نمک‌های امولسیون‌کننده تولید می‌گردد (Ghanbari *et al.*, 2012). تنوع و گستردگی در طعم، بافت و شکل این پنیر باعث شده که مصرف‌کنندگان بیشتری به استفاده از این پنیر داشته باشند (Cunha and Vitto, 2010). موادی که در تهیه پنیر پروسس مورد استفاده قرارمی گیرد به دودسته اصلی ترکیبات ساختاری و افزودنی تقسیم می‌شود. ترکیبات ساختاری شامل پنیر طبیعی و نمک‌های امولسیون‌کننده (نمک‌های فسفات و

نویسنده مسئول: **Email:** mohojjat@iaushk.ac.ir

http://doi: 10.22092/fooder.2026.360429.1353

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

سیترات) و ترکیبات افزودنی شامل خامه، کره و روغن است (Guinee *et al.*, 2004). در پنیر پروسس نمک‌های امولسیون‌کننده نقش مهمی در ایجاد بافت یکنواخت با ویژگی‌های فیزیکی مطلوب دارند (Hladka *et al.*, 2014). نمک‌های امولسیون‌کننده شامل کاتیون تک‌ظرفیتی (سدیم) و آنیون چندظرفیتی (فسفات) هستند. نمک‌های امولسیون‌کننده به‌تنهایی امولسیفایر نیستند. این نمک‌ها یون‌ها Ca^{2+} را از میسل حذف کرده و پروتئین را شکسته و محلول می کند و باعث هیدراسیون و تورم پروتئین می‌شوند. چربی را به حالت تعلیق درآورده و امولسیون را تثبیت می‌کنند. سطح PH را کنترل تثبیت می‌کند و ساختار مناسب پنیر پروسس پس از سردشدن را تشکیل می‌دهند (Lucey.1993). در پنیر پروسس نمک‌های امولسیون‌کننده نقش مهمی در ایجاد بافت یکنواخت با ویژگی‌هایی فیزیکی مطلوب دارند. بااین‌وجود مصرف این نمک‌ها به دلیل حضور سدیم و فسفات در ترکیب آنها برای سلامتی نامطلوب است، رژیم دارای نسبت فسفر به کلسیم بالا، باعث از دسترس خارج شدن کلسیم و کمبود آن می‌شود؛ لذا امروزه به منظور کاهش میزان فسفر، افزایش نسبت کلسیم به فسفات و کاهش مصرف سدیم و ترکیبات آن برای تولید پنیرهای پروسس یا آنالوگ بدون استفاده از نمک‌های امولسیون‌کننده تجاری بر پایه فسفات‌ها تلاش می‌شود که منجر به تولید محصولات جدید فراسودمند می‌شود (Cernikoa *et al.*, 2010). نشاسته بر روی بافت، ویسکوزیته، تشکیل ژل، چسبندگی، حفظ رطوبت، تشکیل فیلم و همگنی فرآورده تأثیر می‌گذارد (Adzahan, 2002). در سال‌های اخیر استفاده از نخود به‌عنوان یک پروتئین اصلی و جدید در بسیاری از کشورها بخصوص کانادا رواج یافته است که علت آن افزایش تقاضا برای پروتئین و فیبر نخود است. باتوجه‌به خصوصیات عملکردی بالای پروتئین نخود، نشاسته به‌عنوان یک محصول جانبی در این صنعت تولید شده و به همین دلیل در مقایسه با نشاسته‌های ذرت، گندم، سیب‌زمینی و...یک منبع ارزان‌قیمت محسوب می‌شود. نشاسته نخود دارای خصوصیات خوبی مانند ایجاد ژل، خصوصیات تورم، ایجاد ویسکوزیته بالا و بافت نرم در محصولات غذایی می‌شود (Ratnayk *et al.*, 2002). صمغ زانتان در قالب پایدارکننده، تسهیل‌کننده پمپاژ و کاهش‌دهنده زمان فرایند حرارتی در غذاهای کنسروی، افزایش ویسکوزیته سیال و یکنواخت‌سازی مخلوط‌های پودری، افزایش پایداری امولسیون سس سالاد، پنیر و نوشیدنی‌های شیری و بهبود خواص فیزیکی و ارگانولپتیک پنیر کاربرد دارد (Furtado *et al.*, 2022, 2006., Waserman, 2009).

از ترکیب نشاسته- هیدروکلوئیدها در رنج وسیعی از مواد غذایی استفاده می‌شود که علت آن بهبود خصوصیات بافتی ماده غذایی است که علت آن را می‌توان ترکیب هیدروکلوییدها با ناپیوسته در نشاسته و افزایش غلظت فاز پیوسته بیان کرد. همچنین هیدروکلوییدها باعث ایجاد پایداری پلیمری شده و با به دام انداختن گرانول‌های نشاسته، نشت آمیلوز را به تأخیرمی اندازند (Sudhakar, 1996, Viturwang, 2009). همچنین ترکیب صمغ زانتان و نشاسته باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی مواد غذایی می‌شود که این بهبود تحت‌تأثیر منبع نشاسته و غلظت صمغ مورداستفاده است.(Marta *et al.*, 2020). ازاین‌رو در این تحقیق، به بررسی اثر نشاستهٔ نخود در ترکیب با صمغ زانتان بر خصوصیات بافتی و همچنین خصوصیات فیزیکوشیمیایی پنیر پروسس پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

مواد

نشاسته نخود که از نخود رقم منصور استخراج گردید. صمغ زانتان تهیه شده از یک شرکت چینی به نام فوفنگ (Fufeng) و پنیر سفیدکم نمک از شرکت پاک و خامه تهیه شده از شرکت پگاه اصفهان مورداستفاده گردید.

روش تهیه نشاسته نخود

جداسازی نشاسته از نخود به روش PH قلیایی: ابتدا ۱۰۰گرم آرد نخود با ۵۰۰ سی‌سی هیدروکسید سدیم ۰/۰۲ مولار مخلوط شده و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بر روی همزن مغناطیسی هم زده شده و سپس در ۱۴۰۰g سانتریفوژ شدند. فازرویی بعد از سانتریفوژ کردن بادقت جداسازی و دور ریخته شد. رسوبات حاصل جمع‌آوری وبا ۵۰۰ سی سی آب به صورت شیرابه درآمد و با الک نایلونی (قطر منافذ فیلتر ۵۰ میکرون) فیلترگردید. ماده فیلترشده نهایی با اسیدکلریدریک یک مولارخنثی و مخلوط حاصل سانتریفوژ شد. فازرویی به همراه لایه روی سطح فوقانی نشاسته (که به دقت با تراشیدن با یک قاشقک انجام گرفت) دور ریخته شد. در انتها، نشاسته با آب شسته شده که این عمل با سه حجم ۲۰۰سی سی آب انجام گرفت و سپس سانتریفوژ گردید. جهت خشک کردن نشاسته‌های جمع آوری شده از آون با دمای ۴۰ درجه به مدت ۲۴ ساعت استفاده گردید (Lim *et al.*, 1992).

روش تهیه پنیر پروسس

بر اساس آزمایش‌ها مقدماتی، فرمول موردنظر مطابق با جدول شماره ۱ تعیین و پنیر پروسس مطابق با روش سر نیکو و همکاران (۲۰۰۸) به همراه تغییراتی تولید شود. ابتدا مواد اولیه شامل ۸۲٪ وزنی/ وزنی پنیر سفید تازه و رسیده، ۱۲٪ وزنی/وزنی خامه،۰/۸۳درصد وزنی/ وزنی صمغ زانتان، ۲٪ وزنی/وزنی نشاسته، ۱/۰۹۰٪ وزنی/وزنی نمک امولسیون‌کننده و آب، برای هر فرمول توزین شد. سپس پنیر سفید تازه و رسیده داخل ظرف مناسبی ریخته شده و توسط همزن پره‌ای با سرعت ۵۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱ دقیقه، پیش مخلوط شدند. پس از آن صمغ زانتان که از قبل هیدراته شده بود، به مخلوط اضافه شد و ظرف محتوی مخلوط در حمام آب جوش (۹۵-۹۸ درجهٔ سانتی‌گراد) قرار داده شد تا دمای تا دمای مخلوط به حدود ۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد برسد. در مرحلهٔ بعد خامه‌ای که از قبل با استفاده از هموژنایزر، با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه هموژن و با نشاسته مخلوط شده بود، همراه بانمک امولسیون‌کننده به مخلوط اضافه گردید. پس از اینکه محتویات ظرف توسط همزن پره‌ای با سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۲ دقیقه و سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه مخلوط شد، مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت تا دمای آن به ۷۵-۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد برسد. سپس توسط همزن پره‌ای با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه مخلوط شدند و مجدداً به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفت تا دمای نهایی مخلوط به ۹۰ درجهٔ سانتی‌گراد برسد. در آخر ظرف حاوی مخلوط از حمام آب خارج گردید و جهت ایجاد یک مخلوط صاف و هموژن در مرحلهٔ اول با سرعت ۵۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۱ دقیقه توسط همزن و در مرحلهٔ دوم با سرعت ۴۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۴ دقیقه توسط هموژنایزر هموژن شد. پس از اتمام هموژناسیون، پنیر پروسس تولیدی با دمای حدود ۷۰ درجهٔ سانتی‌گراد، بسته‌بندی شد و نمونه‌ها در یخچال نگهداری شد (Cernikoa *et al.*, 2008).

اندازه‌گیری‌های خصوصیات بافتی

برای سنجش بافت از دستگاه Texture Analyzer مدل CT 310K - Brookfield و پروپ TA3/100 استفاده شد. ظرف نمونه دارای قطر ۳۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰ میلی‌متر است. آزمون با دو سیکل متمادی به‌صورت رفت و برگشت و با سرعت یک میلی‌متر بر ثانیه تا عمق ۱۰ میلی‌متر انجام شد. ویژگی‌های بافتی شامل سختی، پیوستگی، قابلیت ارتجاع، چسبندگی، صمغی بودن و قابلیت جویدن از منحنی نیرو - تغییر شکل مورد بررسی قرار گرفت. هر تست حداقل در سه تکرار انجام گرفت (Cunha and Vitro., 2010)

جدول ۱: تیمارهای ارائه شده توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت

Run	A:Starch%	B:Xanthan%	C:salt%
1	2.47738	0	0.522617
2	1.28566	1	0.714341
3	1.39417	0.467455	1.13838
4	2.25289	0.747106	0
5	1.39417	0.467455	1.13838
6	1.89847	0	1.10153
7	1.39417	0.464455	1.13838
8	1	0	2
9	2.25289	0.747106	0
10	0	1	2
11	0.65293	1	1.34707
12	0	1	2
13	3	0	0
14	1.72595	1	0.27405
15	1.94145	0.452266	0.606281
16	1	0	2

سختی*شامل ارتفاع اوج نیرو در مرحله اول فشردن .تعریف حسی: حداکثر نیروی لازم جهت شکستن بافت فنریت مسافتی که در طی زمان، ماده غذایی ارتفاع اولیه خود را بازیابی می‌کند. تعریف حسی: به نسبت منتهادرجه برگشت نمونه به حالت اولیه پس از اولین فشردن به بیشترین تغییر شکل فنریت گویند (Abedini *et al.*, 2017).

صمغی بودن تعریف دستگاهی: از حاصل‌ضرب سختی در چسبناکی در صمغی بودن حاصل می‌شود. تعریف حسی: انرژی موردنیاز برای متلاشی کردن یک ماده غذایی نیمه جامد برای آماده‌سازی آن برای بلع است. جویدنی بودن تعریف دستگاهی: از حاصل‌ضرب صمغی بودن در فنریت به دست می‌آید. تعریف حسی: انرژی لازم برای هضم دهانی یک ماده غذایی جامد، برای آماده‌سازی آن برای بلع است (Cunha and Vitro., 2010. Abedini *et al.*, 2017).

پیوستگی** تعریف دستگاهی: نسبت کار انجام شده در طول فشردن در سیکل دوم تقسیم بر سیکل اول (مساحت نیروی مثبت فشردن مرحله دوم به مرحله اول) تعریف حسی: استحکام (مقاومت) پیوندهای داخلی (درونی) سازنده ساختار در بدنه ماده غذایی.چسبندگی تعریف دستگاهی: مقدار نیرو اعمال شده توسط نمونه به پروپ هنگام بلندشدن از سطح آن تعریف حسی: میزان چسبندگی نمونه به دندان (Cunha and Vitro., 2010., Guinee *et al.*, 2004).

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی با آزمون چشایی توسط ۱۰ نفر زن و مرد با رده سنی ۱۵ تا ۳۰ سال انجام گرفت. نمونه‌های پنیر با کدهای مشخص شماره‌گذاری شد و همراه با پرسش‌نامه در اختیار ارزیابان قرار گرفت و در خصوص امتیازدهی به رنگ ظاهر، آروما، بافت، طعم و پذیرش کلی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (از ۱ تا ۵) آموزش داده شدند. حداقل رضایتمندی با امتیاز ۱ و حداکثر با امتیاز ۵ مشخص گردید. نمونه‌ها به‌صورت مکعب‌های ۲۰گرمی دراختیار آنها قرار گرفت همچنین به پنلیست‌ها آموزش مقدماتی درمورد نحوه ارزیابی حسی داده شد و از آنها خواسته شد برای جلوگیری از تداخل

*- Hardness
†- Springness
‡- Gumminess
§- Chewiness
**- Cohesiveness
††- Adhesiveness

طعم بعد از ارزیابی یک نمونه دهان خود را با آب شستشو دهند (Khazaei *et al.*, 2022)

خصوصیات مورفولوژی توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی

در این روش با استفاده از SEM ارزیابی ریزساختاری نمونه‌های پنیر مورد بررسی قرارمی گیرد. نمونه‌ها قبل از عکس‌برداری توسط روش مددلو و همکاران آماده می‌شود و سپس برای جلوگیری از ایجاد تغییر درنمونه، نمونه‌ها در دستگاه خشک‌کن تحت خلاء خشک و به روش طلا افشانی با طلا پوشش داده می‌شوند و پس از قراردادن نمونه‌ها در داخل میکروسکوپ و ایجاد خلأ بمباران الکترونی با KV3 انجام می‌گیرد و تصاویرتهیه می‌شوند (Kratochvilova *et al.*, 2022).

تجزیه و تحلیل آماری

نتایج به دست آمده از این پژوهش به روش mixture design و مدل optimal mixture مورد آنالیز قرار گرفت. مجموع این ۳ متغیر ۳درصد است و تعداد تیمارها ۱۶ تیمار است.

نتایج و بحث

بررسی خصوصیات بافتی

در بررسی خصوصیات بافتی نمونه‌ها که شامل سختی، چسبندگی، پیوستگی، فنریت، صمغی بودن و قابلیت جویدن نمونه‌ها می‌باشد. با توجه به معادله ۱ در مورد سختی نمونه‌ها مشخص می‌شود که افزودن نشاسته، زانتان و نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در سختی نمونه‌ها دارد، ولی تأثیر متقابل این افزودنی‌ها در میزان سختی نمونه‌ها افزایش معنی‌داری نداشته است. بیشترین تأثیر در میزان سختی نمونه‌های پنیر پروسس حاوی نشاسته نخود و صمغ زانتان مربوط به افزودن صمغ زانتان می‌باشد، در واقع صمغ زانتان افزایش مؤثری در میزان سختی نمونه‌های پنیر داشته است. نشاسته نیز در میزان سختی تأثیر داشته است که این میزان تقریباً نصف تأثیر صمغ است و نمک‌های فسفاته تأثیر کمتری در افزایش میزان سختی نمونه‌ها داشته است. با توجه به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۱) در بررسی سختی بافت نمونه‌ها نشاسته و زانتان در سختی نمونه‌ها بیشترین تأثیر را داشته است. با توجه به نمودار بیشترین میزان سختی نمونه‌ها در غلظت نشاسته نزدیک ۲ درصد و زانتان ۱ درصد است.

با توجه به معادله شماره ۲ درمورد پیوستگی، افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در میزان پیوستگی نمونه‌ها داشته است. همچنین اثر متقابل نشاسته – صمغ زانتان، نشاسته –نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته در نمونه‌های پنیر تأثیر معنی‌داری داشته است. نمک فسفات بیشترین تأثیر را در میزان پیوستگی نمونه‌ها داشته است. افزودن زانتان باعث کاهش پیوستگی نمونه‌ها گردیده است. نکته قابل ملاحظه این است که تأثیر میزان نشاسته و نمک‌های فسفاته در پیوستگی بین بافت پنیر تقریباً نزدیک به هم است و می‌توان از نشاسته به‌عنوان نمک‌ها جایگزین نمک‌های فسفاته در به‌دست‌آوردن پیوستگی بافت استفاده نمود. با توجه به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۲) نمونه بهینه از نظر حداقل میزان نمک‌های فسفاته مربوط به نمونه‌ای است که میزان نشاسته ۲درصد، میزان صمغ زانتان ۰/۸ درصد و میزان نمک‌های فسفاته حدود ۰/۲ درصد است. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که نشاسته می‌تواند جایگزین نمک‌های فسفاته باشد و میزان پیوستگی نمونه را افزایش می‌دهد. تأثیر متقابل نشاسته – صمغ زانتان و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته افزایش معنی‌داری در میزان پیوستگی نمونه‌ها داشته است، درصورتی‌که تأثیر متقابل نشاسته و نمک‌های فسفاته باعث کاهش میزان پیوستگی نمونه‌ها شده است.

باتوجه به معادله شماره ۳ در مورد صمغی بودن، افزودن نشاسته، زانتان و نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در میزان صمغی بودن نمونه‌ها داشته است و باعث افزایش

میزان صمغی بودن نمونه‌ها شده است. افزودن صمغ زانتان بیشترین تأثیر را در افزایش خاصیت صمغی بودن در نمونه‌های پنیر دارد. تأثیر متقابل نشاسته - صمغ زانتان و نشاسته - نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان – نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در میزان صمغی بودن نمونه‌ها داشته و باعث کاهش میزان صمغی بودن شده است. باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۳) مشخص می‌شود که با افزایش درصد نشاسته و زانتان صمغی بودن بافت نشاسته افزایش داشته است. نقطه بهینه باتوجه‌به حداقل میزان نمک‌های فسفاته نمونه‌ای است که دارای ۲ درصد نشاسته و ۱ درصد صمغ زانتان است.

باتوجه‌به معادله شماره ۴ درمورد فنریت، افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در میزان فنریت نمونه‌ها داشته است و باعث افزایش میزان فنریت نمونه‌ها گردیده است. باتوجه به این موضوع که افزایش فنریت در پنیرهای پروسس باعث کاهش مالش پذیری‡‡ نمونه‌ها گردیده است. جایگزینی نشاسته باعث افزایش کمتری در میزان فنریت نمونه‌ها گردیده است. همچنین اثر متقابل نشاسته – صمغ زانتان و نشاسته – نمک‌های فسفاته و نمک‌های فسفاته – صمغ زانتان تأثیر معنی‌داری در کاهش میزان فنریت نمونه‌ها داشته است. باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۴) نمونه بهینه که کمترین میزان فنریت را دارد و میزان نمک‌های فسفاته آن حداقل است مربوط به نمونه‌ای است که دارای ۲ درصد نشاسته، ۰/۳ درصد صمغ زانتان و ۰/۷ نمک‌های فسفاته است.

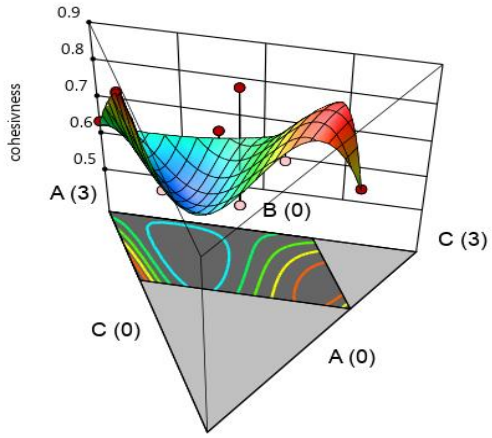
باتوجه‌به معادله شماره ۵ درمورد چسبندگی، افزودن نشاسته، زانتان و نمک‌های فسفاته به نمونه‌های پنیر تأثیر معنی‌داری در میزان چسبندگی نمونه‌ها داشته است. افزودن صمغ باعث کاهش میزان چسبندگی نمونه‌ها شده و افزودن نشاسته نسبت به نمک‌های فسفاته کاهش بیشتری در چسبندگی نمونه‌ها داشته است. تأثیر متقابل صمغ زانتان - نشاسته و صمغ زانتان –نمک‌های فسفاته معنی‌دار بوده و باعث افزایش میزان چسبندگی شده است. درصورتی‌که تأثیر متقابل نشاسته - نمک‌های فسفاته باعث کاهش میزان چسبندگی شده است. باتوجه به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۵)، نقطه بهینه (کمترین میزان نمک‌های فسفاته) کمترین میزان چسبندگی مربوط به نمونه‌ای است که حدود ۱/۷ نمک درصد و میزان صمغ زانتان حدود ۱/۳ درصد است. در واقع می‌توان گفت که جایگزینی نمک‌های فسفاته با صمغ زانتان بیشتر از جایگزینی نشاسته با نمک‌های فسفاته در کاهش میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر مؤثر بوده است.

باتوجه‌به معادله شماره ۶ درمورد قابلیت جویدن مشخص است که افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته تأثیر معنی‌داری در افزایش قابلیت جویدن نمونه‌های پنیر داشته است. بیشترین افزایش مربوط به افزودن نشاسته است. اما افزودن صمغ زانتان را نسبت به نمک‌های فسفاته کمتر افزایش داده است. باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۶) مشخص می‌شود تأثیر متقابل نشاسته – صمغ زانتان و نشاسته - نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته معنی‌دار بوده و باعث کاهش میزان قابلیت جویدن می‌شود که باتوجه‌به اینکه کاهش این پارامتر افزایش مالش پذیری را به دنبال دارد، می‌توان نتیجه گرفت که افزودن و جایگزینی صمغ زانتان و نشاسته با نمک‌های فسفاته در کاهش این پارامتر و بهبود خصوصیات بافتی پنیر پروسس‌های تولیدی تأثیر مثبت داشته است.

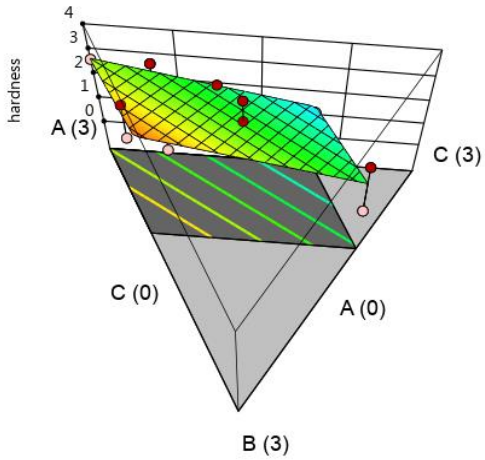
‡‡ Spread ability

جدول ۲: نتایج ارائه شده توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت A (نشاسته)، B (صمغ زانتان) و C (نمکهای فسفاته)

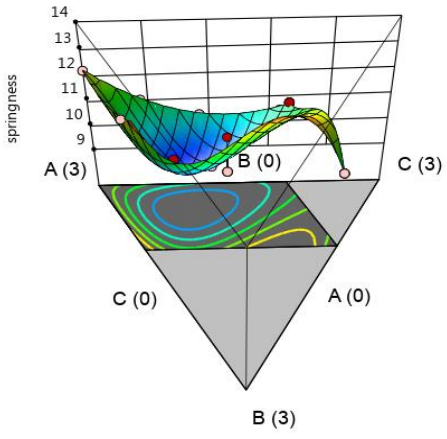
	سفتی	پیوستگی	صمغی بودن	فنریت	قابلیت جویدن	چسبندگی
A	2.689	0.631	2.06	12.22	0.1	0.017
B	4.86	- 1.13	35.8	25.32	0.66	0.024
C	0.705	0.8	0.44	13.06	0.94	0.021
AB	-	3.55	57.13	-16.67	1.06	0.320
AC	-	- 0.25	0.2	-9.03	-0.38	0.630
CB	-	2.59	62.82	-	-1.16	0.161
Lack of fit	NS*	NS	NS	NS	NS	NS
Adequate Precision	5.853	3.884	65.912	8.975	8.055	15.657
R2	0.418	0.605	0.997	0.894	0.820	0.963



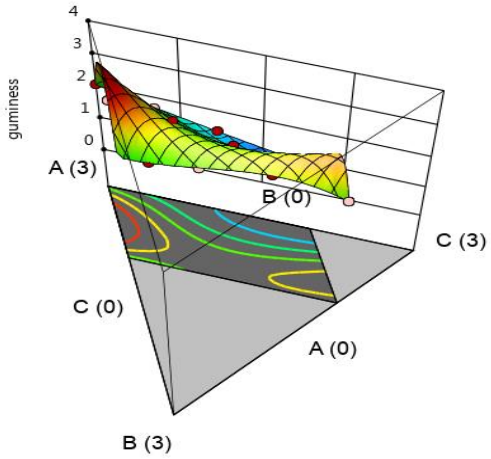
شکل ۱. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی سفتی
A(نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)



شکل۲. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی پیوستگی
A (نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)

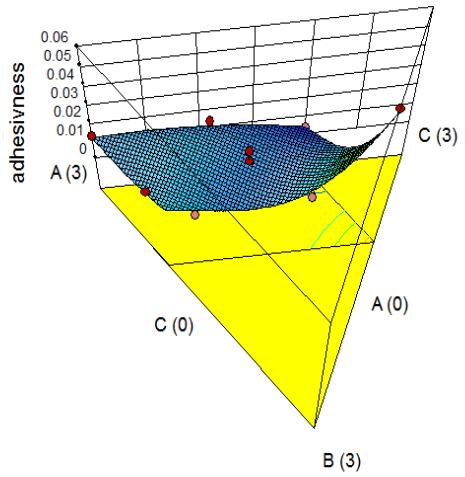


شکل ۳. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی صمغی بودن
A (نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)

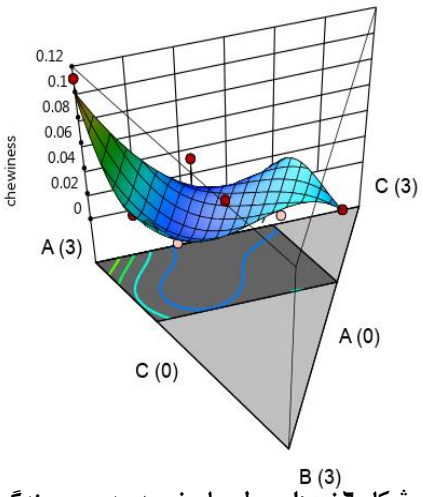


شکل ٤. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی فنریت
A(نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)

* Not significant



شکل ۵. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی قابلیت جویدنA (نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)



شکل ٦.نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی چسبندگی A(نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)

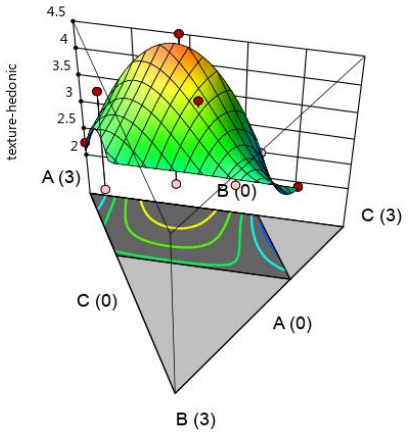
بررسی نتایج آزمون حسی

باتوجه به معادله شماره ۷ در بررسی خصوصیات حسی (بافت از نظر مصرف‌کنندگان) باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی، افزودن نشاسته و صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته در خصوصیات بافتی معنی‌دار بوده است. افزودن نشاسته باعث بهبود خصوصیات بافتی شده؛ ولی افزودن صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته باعث کاهش مقبولیت خصوصیات بافتی شده است. اما نکته موردتوجه این است که تأثیر متقابل نشاسته –صمغ زانتان، نشاسته – نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته باعث افزایش مقبولیت خصوصیات بافتی از نظر مصرف‌کنندگان شده است که در این میان بیشترین تأثیر را اثر متقابل صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته دارد. در واقع با جایگزینی نشاسته و صمغ زانتان با نمک‌های فسفاته، خصوصیات بافتی مقبول‌تری خواهیم داشت. باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۷) نمونه بهینه از نظر کمترین میزان نمک‌های فسفاته مربوط به نمونه‌ای است که ۱/۸درصد نشاسته، ۰/۱ درصد صمغ زانتان و ۱/۱ درصد نمک‌های فسفاته دارد. باتوجه‌به معادله شماره ۸ افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته در طعم پنیر تأثیر معنی‌دار داشته است. به صورتی که افزودن نشاسته و نمک‌های فسفاته به‌تنهایی باعث افزایش مقبولیت طعم شده است. ولی اثر متقابل نشاسته – صمغ زانتان و صمغ زانتان –نمک‌های فسفاته مقبولیت طعم را از نظر مصرف‌کنندگان به میزان قابل توجهی افزایش داده است. با توجه به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۸) نمونه بهینه از نظر کمترین میزان نمک‌های فسفاته مربوط به نمونه‌ای است که ۱/۷ درصد نشاسته، ۰/۸ درصد زانتان و۰/۵درصد نمک‌های فسفاته است. باتوجه‌به معادله شماره ۹ مشخص است که افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته در مورد مقبولیت رنگ توسط مصرف‌کنندگان تأثیر معنی‌داری داشته است، به‌طوری‌که بیشترین تأثیر مربوط به افزودن صمغ زانتان است. در واقع با افزودن نشاسته و صمغ زانتان مقبولیت در مورد رنگ نمونه‌ها افزایش داشته است. اما تأثیر متقابل نشاسته –صمغ زانتان، نشاسته – نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته باعث کاهش مقبولیت رنگ نمونه‌ها شده است. بهترین نمونه از نظر پذیرش رنگ باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۹) مربوط به نمونه‌ای است که دارای ۲/۵درصد نشاسته، ۰/۱ درصد صمغ زانتان و ۰/۴ درصد نمک‌های فسفاته است. باتوجه‌به معادله شماره ۱۰ افزودن نشاسته،

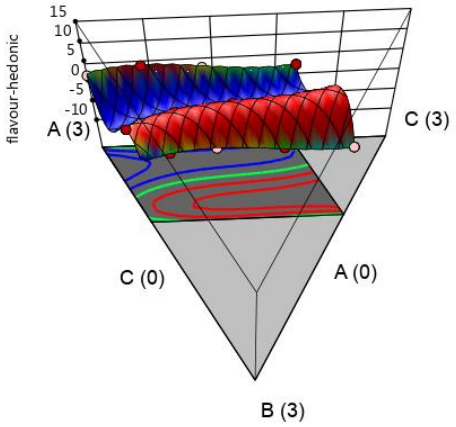
صمغ و نمک‌های فسفاته به نمونه‌ها در عطر و بو تأثیر معنی‌داری داشته است و بیشترین تأثیر مربوط به افزودن صمغ زانتان است. تأثیر متقابل نشاسته –صمغ زانتان، نشاسته –نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته باعث کاهش مقبولیت عطر و بو گردیده است. باتوجه‌به نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی (شکل شماره ۱۰) بیشترین میزان مقبولیت در عطر و طعم مربوط به نمونه دارای ۱/۹درصد نمک‌های فسفاته،۰/۲درصد صمغ زانتان و ۰/۹ درصد نشاسته است. باتوجه‌به معادله شماره ۱۱ افزودن نشاسته، صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته در نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری داشته است. باتوجه‌به معادله به‌طورکلی افزودن نشاسته و افزودن نمک‌های فسفاته باعث افزایش قابلیت پذیرش نمونه شده است. در صورتی صمغ زانتان باعث کاهش پذیرش نمونه‌ها شده است. تأثیر متقابل نشاسته- صمغ زانتان و صمغ زانتان- نمک‌های فسفاته افزایش قابل‌توجهی در پذیرش نمونه‌ها داشته است. با توجه به نمودار سطح پاسخ سه بعدی (شکل شماره ۱۱) نمونه بهینه از نظر قابلیت پذیرش که کمترین میزان نمک‌های فسفاته را دارد مربوط به نمونه دارای ۲ درصد نشاسته، ۰/۸ درصد صمغ زانتان و۰/۲ درصد نمک‌های فسفاته است.

جدول ۳: نتایج ارائه شده توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت A (نشاسته)، B (صمغ زانتان) و C (نمکهای فسفاته)

	بافت	طعم	رنگ	عطر وبو	پذیرش کلی
A	2.095	2.04	4.534	3.34	0.1
B	-8.34	-1683.4	264.73	15.4	0.66
C	-3.19	16.11	10.114	5.48	0.94
AB	20.21	3049.75	-474.0053	-12.52	1.06
AC	17.93	–	-13.031	-0.47	-0.38
CB	30.059	–	-470.798	-18.15	-1.16
Lack of fit	NS*	NS	NS	NS	NS
Adequate Precision	6.790	30.167	12.355	207.816	6.5371
R2	0.688	0.991	0.977	0.999	0.85

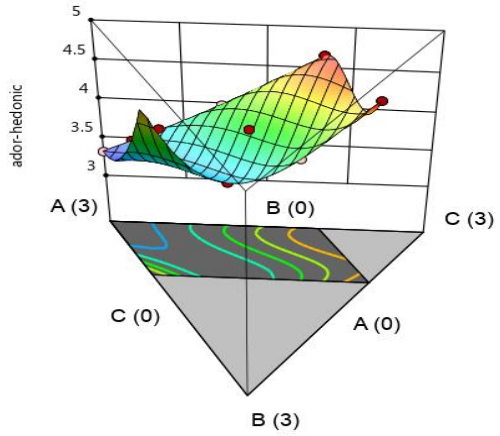


شکل ۷. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی بافت (نمک فسفاته)C(زانتان)، B(نشاسته)،A

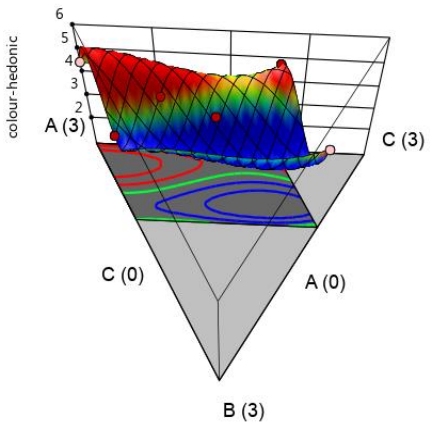


شکل ۸. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی طعم (نمک فسفاته)C(زانتان)، B(نشاسته)،A

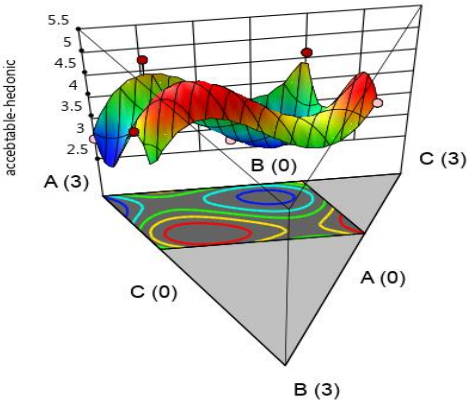
* Not significant



شکل ۹. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی رنگ
(نمک فسفاته)C(زانتان)، B(نشاسته)،A



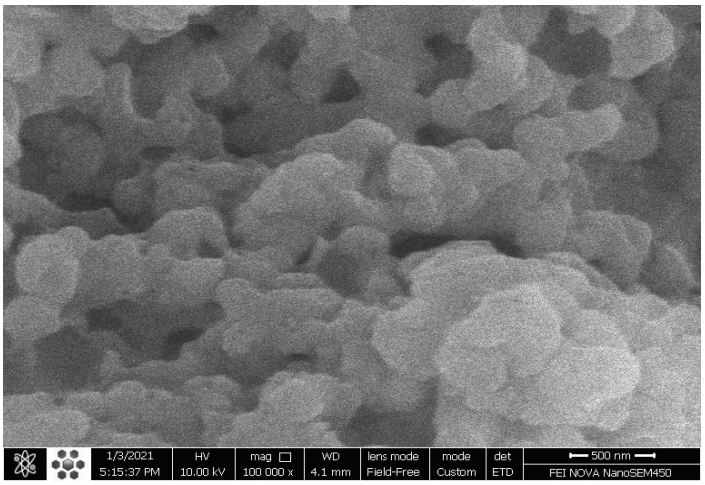
شکل ۱۰. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی عطر و بو
(نمک فسفاته)C(زانتان)، B(نشاسته)،A



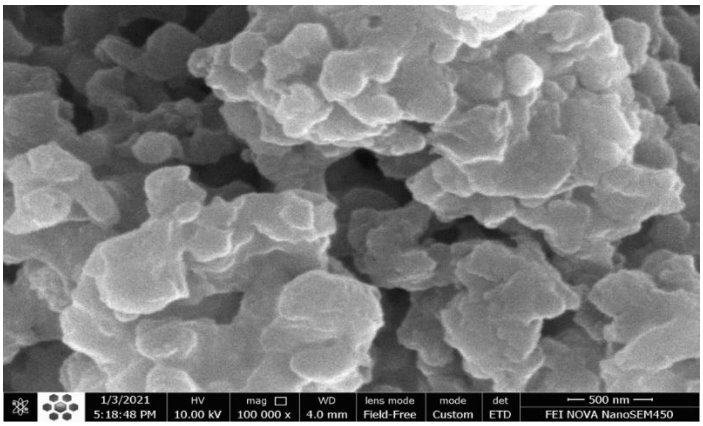
شکل ۱۱. نمودار سطح پاسخ سه‌بعدی پذیرش کلی
A(نشاسته)،B(زانتان)، C(نمک فسفاته)

بررسی خصوصیات مرفولوژی توسط میکروسکوپ الکترونی

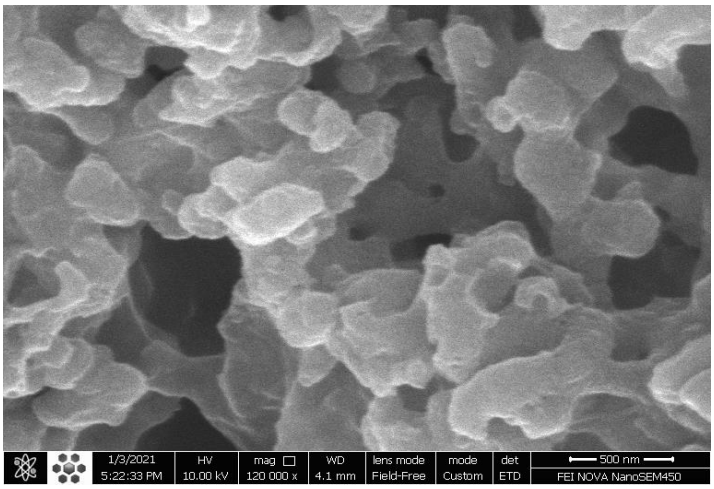
با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی اطلاعات دقیق‌تری درمورد ریزساختارهای شبکه‌ای نمونه‌های پنیر مشخص گردید هر نوع پنیر ساختار ویژه‌ای را نشان داد که نشان‌دهنده تأثیر نشاسته/زانتان و نمک‌های فسفاته است. شکل ۱۲ مربوط به نمونه پنیر بدون صمغ زانتان است. نمونه‌ای که حاوی ۲درصد نمک‌های فسفاته و ۱ درصد نشاسته نخود است. اضافه‌کردن نمک فسفات به نشاسته باعث ایجاد اتصالات عرضی شده و میزان خلل‌وفرج کاهش داشته است. اما به دلیل حضور نشاسته حالت کوآگوله شدن و تجمیع داریم. شکل ۱۳ نمونه بدون نشاسته است و نمونه دارای ۲ درصد نمک فسفاته و۱درصد صمغ زانتان است. در این نمونه به دلیل حضور صمغ زانتان حالت تجمیع کمتری داشته و نمونه یکنواخت‌تر است. شکل ۱۴ نمونه بدون نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان است. نمونه حاوی ۳درصد نشاسته است. همان‌طور که از شکل مشخص است اضافه‌کردن نشاسته به‌تنهایی باعث کوآگوله شدن نمونه شده و بافت متراکم‌تر بوده و این تراکم مالش پذیری پنیر را کاهش می‌دهد.



شکل ۱۲. ریزساختارهای پنیرحاوی نشاسته (۱٪)ونمکهای فسفاته(۲٪)



شکل ۱۳. ریزساختارهای پنیرحاوی نشاسته (2٪)وصمغ زانتان(۱٪)



شکل ١٤. ریزساختارهای پنیرحاوی نشاسته(۳٪)

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزودن نشاسته و صمغ زانتان تأثیر بیشتری در سختی نمونه‌ها داشته نسبت به نمک‌های فسفاته داشته است. این افزایش می‌تواند به دلیل فرایند ژلاتیناسیون نشاسته طی فرایند حرارتی و جذب آب توسط نشاسته باشد؛ بنابراین با افزودن نشاسته در محصول، بافت محصول سفت‌تر می‌گردد (Mahrooghi *et al.*, 2017). از طرفی افزایش سفتی می‌تواند به علت حضور زانتان و نشاسته در فرمول جدید و برهم‌کنش آنها باشد. صمغ زانتان به علت توانایی بالا در جذب آب و افزایش ویسکوزیته و قوام و نشاسته به علت ایجاد پیوستگی و ساختار ژلی محکم می‌تواند دلیل سفتی بیشتر بافت در این نمونه باشد. همچنین در ترکیب نشاسته – صمغ واکنش بین آمیلوز نشت شده و هیدروکلوییدها باعث افزایش غلظت توسط مولکول‌های هیدروکلویید می‌شود (Christianson., 1982. Rantanyk.,2008 تحقیقی که توسط حسینی پرور و همکاران در ۲۰۱۵ در خصوص ریزساختارها و ویژگی‌های بافتی پنیر، پنیر پروسس حاصل از کازئین انعقادی و صمغ دانه ریحان (LBG) انجام شد، مشخص شد که افزایش میزان صمغ دانه ریحان، باعث افزایش رفتار الاستیک در ساختار پنیر شده و سفتی بیشتری در محصول ایجاد می‌کند (Hoseini Parvar *et al.*, 2015). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج عابدینی و همکاران در ۱۳۹۵ درمورد تأثیر صمغ زانتان و ایزوله پروتئین سویا بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پنیر پروسس مطابقت دارد که علت افزایش سفتی نمونه‌ها را حضور زانتان و توانایی بالای آن در جذب آب و افزایش ویسکوزیته و قوام بیان نمودند (Abedini *et al.*, 2017). مونتی سینوس و همکاران در ۲۰۰۶ دریافتند که صورت استفاده از نشاسته مقاوم، سختی پنیر پروسس افزایش می‌یابد (Montesions *et al.*, 2006). سیلوا و همکاران در۲۰۱۶ به این نتیجه رسیدند که بیشترین سختی در پنیر پروسس کم‌چرب در نمونه حاوی ۰/۵درصد نمونه تجاری کنجاک گلوتامان دیده شد (Felix da Silva *et al.*, 2016).

در مورد پیوستگی نمونه‌ها، افزودن نشاسته باعث افزایش میزان پیوستگی شده است. همچنین تأثیر متقابل نشاسته و صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته پیوستگی را افزایش داده است. این افزایش پیوستگی باعث بهترشدن بافت پنیر گردیده است، در واقع نشاسته به دلیل ایجاد پیوستگی و ساختار ژلی محکمی که در نمونه‌های پنیر ایجاد کرده و باعث افزایش پیوستگی نمونه‌ها شده است. تأثیر متقابل صمغ زانتان و نشاسته باعث ایجاد هم‌افزایی و افزایش میزان پیوستگی نمونه‌ها شده است (Caric and Kala., 1997). نمک‌های فسفاته با حذف کلسیم از سیستم پروتئینی و پپتیزه کردن و حل‌کردن پروتئین‌ها، هیدراته کردن و تورم پروتئین‌ها، امولسیون کردن چربی و تثبیت امولسیون و کنترل PH و تثبیت آن بافت پنیر پروسس را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (Lucey. 1993). چسبندگی از دیدگاه حسی عبارت است از نیروی لازم برای جداکردن غذا از سقف دهان در حین خوردن و از دیدگاه مکانیکی کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین غذا و سطح سایر مواردی که غذا با آنها در تماس است (Gunasekaran and Mehmet., 2002). چسبندگی، تمایل پنیر پروسس به مقاومت در برابر جداشدن از موادی که با آنها در تماس است، اطلاق می‌شود (Hosseini- Parvar *et al.*, 2015). سفتی از عوامل تأثیرگذار چسبندگی است، به طور که با افزایش میزان سفتی میزان چسبندگی کاهش می‌یابد (Hosseini and Habibi., 2013). باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده جایگزینی صمغ زانتان با نمک‌های فسفاته، بیشتر از جایگزینی نشاسته با نمک‌های فسفاته در کاهش میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر مؤثرتر است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج جین و همکاران در ۲۰۱۰ که با افزودن هیدرو کلوییدها (کاراگینان، زانتان و لوکاست بین) باعث کاهش میزان چسبندگی در پنیر پروسس آنالوگ گردید، مطابقت دارد(Hosseini –parvar *et al.*, 2015). کاهش چسبندگی در پنیر توسط صمغ زانتان با نتایج قدس

روحانی و همکاران درمورد افزودن صمغ زانتان وکنجاک به پنیر پروسس مطابقت دارد.(Ghods Rohani *et al.*, 2019). در مورد صمغی بودن باتوجه‌به اینکه صمغی بودن حاصل‌ضرب دو فاکتور سختی و پیوستگی در یکدیگر است، بنابراین به دلیل افزایش میزان سختی در پیوستگی انرژی موردنیاز جهت متلاشی‌شدن پنیر جهت بلع افزایش می‌یابد (Bourne. 2002). استفاده از صمغ زانتان باعث افزایش میزان صمغی بودن نمونه‌ها شده است، اما اثر متقابل نشاسته –صمغ زانتان و نشاسته –نمک‌های فسفاته و زانتان - نمک‌های فسفاته باعث کاهش میزان صمغی بودن نمونه‌ها شده است. درمورد فنریت نیز نتایج نشان داده شد که اضافه‌کردن صمغ زانتان باعث افزایش حالت فنریت شده و مالش پذیری را کاهش می‌دهد. تأثیر متقابل نمک‌های فسفاته - نشاسته و نمک‌های فسفاته صمغ زانتان باعث کاهش فنریت شده و مالش پذیری افزایش می‌یابد، این موضوع با نتایج قدس روحانی و همکاران مطابقت دارد (Ghods Rohani *et al.*,2019).

قابلیت جویدن حاصل‌ضرب دو فاکتور صمغی بودن و فنریت است و با افزایش آن انرژی لازم برای هضم دهانی پنیر هنگام بلع افزایش می‌یابد Aminifar *et al.*, (2010).کاهش این پارامتر باعث افزایش مالش پذیری نمونه‌ها می‌شود. باتوجه‌به نتایج مشخص می‌شود که تأثیر متقابل نشاسته - صمغ زانتان و نشاسته – نمک‌های فسفاته و زانتان - نمک‌های فسفاته باعث کاهش قابلیت جویدن می‌شود. نتایج مربوط به آزمون‌های حسی نشان داد که افزودن نشاسته و صمغ زانتان به‌صورت هم‌زمان و تأثیر متقابل نشاسته – نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان - نمک‌های فسفاته باعث افزایش قابل‌توجهی در پذیرش نمونه‌ها گردیده است. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج ابطحی و همکاران که با استفاده از صمغ کنجاک و نشاسته سیب‌زمینی پنیری با بافت ایده‌آل و کیفیت مناسب به دست آوردند، مطابقت دارد (Abtahi *et al.*, 2018). نمک‌های فسفاته باعث بهبود خصوصیات تکنوژیکی و عملکردی محصول فرموله شده و تولید محصول فراسودمند می‌گردد.

نتایج حاصل از ریزساختارهای پنیر توسط میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که نمک‌های فسفاته به دلیل پراکنده کردن پروتئین‌ها واکنش بهتر پروتئین‌ها با ساختار نشاسته را باعث می‌شوند. همچنین گاهی نمک‌های فسفاته باعث هیدراته شدن و متورم‌شدن پروتئین‌ها می‌شوند. اضافه‌کردن نمک فسفات به نشاسته باعث ایجاد اتصالات عرضی شده و میزان خلل‌وفرج در بافت را کاهش داده است. هنگامی که هیدروکلوییدها (جانتان) به ساختار پنیر اضافه می‌شود، ماتریکس پروتئین بازشده و این احتمالاً به این دلیل است که با افزودن پروتئین‌ها به پنیر رطوبت آن نیز بیشتر شده و بنابراین ماتریکس بازتری ایجاد خواهد شد (Sabber *et al.*, 2023). باتوجه‌به تعادل بین آب خارج شده و نمک جذب شده در پنیر تولیدی یک شبکه نسبتاً یکنواخت کازئین در آن مشاهده می‌شود. شبکه کازئین، تعداد و شکل منافذ تحت‌تأثیر زانتان قرار می‌گیرد. با افزودن زانتان به پنیر، زانتان با جذب آب هیدراته می‌شود و هنگامی که نمونه‌ها برای آنالیز میکروسکوپی آماده می‌شوند، رطوبت از آنها جداشده و هیدروکلوئیدها به‌صورت حفره مشاهده می‌شود (Zhang, Dou *et al.*, 2021). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج حصاری نژاد و همکاری در مورد افزودن زانتان و ریحان به پنیر مطابقت دارد که نشان دادند با اضافه‌کردن ریحان و زانتان به پنیر، بین خوشه‌های پروتئینی در نمونه ارتباط ایجاد کرده و ساختارهای نامنظم رشته‌ای و پروتئین‌های کروی پنیر از طریق فیبرهای نازک ارتباط برقرار کرده و شبکه جدیدی بین آنها تشکیل می‌شود. این ساختار جدید فضای کافی برای به دام انداختن آب و تشکیل یک ژل مناسب دارد (حصاری نژاد). همچنین نتایج به‌دست‌آمده با پژوهش حسینی و همکاران درمورد تأثیر نشاسته و صمغ ژلان در یکنواختی فیلم تولیدی مطابقت دارد (Hosseini *et al.*, 2023). درمورد تأثیر افزودن نشاسته نکته حائز اهمیت

این است که در اثر دناتوره‌شدن پروتئین‌ها در اثر حرارت ساختمان پروتئین به طور کامل باز شده است. نکته قابل‌توجه دراین‌رابطه اثر هم‌افزایی کونژوگه پروتئین - پلی‌ساکارید در قدرت امولسیون‌کنندگی است که به دلیل باز شدن ساختمان پروتئین بوده و باعث اتصال زنجیره‌های حجیم نشاسته به پروتئین وقرار گرفتن در سطح آن می‌شود. هرچه مقدار نشاسته بیشتر باشد، گروه‌های هیدروکسیل احیاکننده پروتئین با همه مولکول‌های پروتئین باز شیف ایجاد می‌کند. همچنین اتصالات کووالانسی نشاسته به پروتئین باعث بیشترشدن گرانروی می‌شود (صادقیان). توضیحی که دراین‌رابطه ارائه شده این است که اتصال پلی ساکارید به پروتئین و با بازشدن ساختمان آن آب‌دوستی سطحی و شعاع هیدرودینامیک را افزایش می‌دهد که نهایتاً به باز شدن درجه هیدراسیون وگرانری می‌انجامد (Hao *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری نهایی

افزودن نشاسته و صمغ زانتان و جایگزینی آن با نمک‌های فسفاته باعث افزایش سفتی نمونه‌های پنیر شده است. کاهش چسبندگی نمونه‌های پنیر حاوی نشاسته و صمغ زانتان مشاهده گردید. درمورد پیوستگی نمونه‌ها، افزودن نشاسته باعث افزایش میزان پیوستگی نمونه‌ها شده است. همچنین تأثیر متقابل نشاسته و صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته باعث افزایش پیوستگی نمونه‌ها شده است که بهترشدن بافت پنیر را به همراه دارد. تأثیر متقابل نشاسته – نمک‌های فسفاته و نمک‌های فسفاته –نشاسته باعث کاهش فنریت و افزایش مالش پذیری (spread ability) در نمونه‌های پنیر می‌گردد. صمغی بودن حاصل‌ضرب دو فاکتور سختی و پیوستگی نمونه‌ها است که به دلیل افزایش میزان سختی و پیوستگی نمونه‌های حاوی صمغ زانتان و نشاسته این پارامتر در نمونه‌ها افزایش‌یافته است. قابلیت جویدن نمونه‌های پنیر حاوی نشاسته - صمغ زانتان و نشاسته - نمک‌های فسفاته و زانتان - نمک‌های فسفاته کاهش داشته است. نتایج مربوط به آزمون‌های حسی هیدونیک انجام شده نشان داد که افزودن نشاسته و صمغ زانتان به‌صورت هم‌زمان و تأثیر متقابل نشاسته - نمک‌های فسفاته و صمغ زانتان و نمک‌های فسفاته باعث افزایش قابل‌توجهی در پذیرش کلی نمونه‌ها شده است. نتایج مربوط به تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان دادکه تأثیر متقابل نشاسته – نمک‌های فسفاته ونمکهای فسفاته صمغ زانتان باعث افزایش یکنواختی بافت پنیر شده وافزایش مالش پذیری در بافت پنیر را به دنبال دارد. نتایج نهایی نشان داد که افزودن نشاسته و صمغ زانتان به عنوان جایگزین نمک‌های فسفاته تأثیر مثبتی درخصوصیات بافتی وپذیرش کلی محصول داشته است. تأثیر پروتئین برروی نشاسته به صورت توانایی پروتئین در به دام انداختن آب در ماتریکس نشاسته توسط باندهای هیدروژنی، واکنش های الکتروستاتیک، واکنش هیدروفوبیک وپیوندهای کووالانسی می باشد(Scott & Awika., 2023).

منابع

Abedini, N., Nasirpour, A & Nateghi, L. 2017. Effect of Xanthan gum and Soy protein Isolate on Physicochemical Properties of Processed cheese.Innovate in Food Science and Technology:66(14),246-258(in Persian)

Abtahi, S.A., Pourahmad, R and Fadaei Noghani, V.2018. Effect of replacing fat with Konjac gum and potato starch on chemical and sensory properties of Low- fat cream cheese. Journal food science technology: 78,15, 255-354

Adzahan NBM. 2002. Modification of Wheat, Sago and Tapioca starches by Irradiation and its effect on the physical properties of fish crackers (keropok). Food Sci. Biotechnol

Aminifar, M., Emam jome,Z& Belgheisi, S. 2014.Effect of Xanthan and milk proteien Concentrate on hardness, microstructure and ester release of low-fat brind,cheese.Iranian Journal of Nutriton Science & Food Technology.9(1),73-82

Bourne, M. C. 2002. Food texture and viscosity: Concept and measerment (2ed). 21 New York: ACADEMIC PRESS

Caric, M & Kala, M. 1997. Processed cheese products. Cheese Chemistry , physics and microbiology(2nd ed).London, UK: Elsevier Applied Science. Vol. 2. 467-505

Cernikova,M.,Bunka,F., Popiech,M., Tremlova,B., Kristyna,H., Palinka,V &Brezina,P.2010.Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production.International Dairy Journal.20(5):336-343

Cernıkova, M., Bunka, F., Pavlınek, V., Brezina, P., Hrabe, J., & Valasek, P. 2008. Effect of carrageenan type on viscoelastic properties of processed cheese. Food Hydrocolloids, 22:1054-1061

Christianson, D. D. 1982.Hydrocollide interaction with starch

Cunha, C.R & Vitto, W.H.2010.Casein peptization functional properties,and sensory acceptance of processed cheese spreads made with different emulsifying salts.Journal of food science, 75(1),c113-c120

Farahnaky, A., Safari, Z., Ahmadi Gorji, F& Mesbahi, G. R.2011. Use of gelatin as replacer for law fat cream prodoction .Innovate in FoodScience and Technology :8(31),45-52(in Persian)

Felix da Silvave D, Barbosa de Souza Ferreira S, Luciano Bruschi M, Britten M, Toshimi Matumoto- Pintro P. 2016. Effect of commercial Konjac glucomannan and Konjac flours on textural, rheological and microstructural properties of low fat processed cheese, food Hydrocollides: 60, 308-316

Furtado,I. F.S.P., Sydney, E.B., Rodrigues,S. A and Sydney ,A.C.N.2022. Xanthan gum: applications, challenges, and advantages of this asset of biotechnological orgin, Biotechnological research and innovation , 6(1):220-228

Ghanbari shendi, E. khosroshahi Asl, A Mortazavi& A., Tavakulipor. H. 2012, Effect of Xanthan gum on rheological properties of Iranian low-fat white cheese.Quartery journal of food Sience And Technology, JFST No.33(1), Vol.8, Winter.35-14.Ghods Rohani, M and Rashidi, H. 2019. Improving the characteristics of spreable processed cheese using Konjac and Xanthan gums. Journal of food processing and preservation, 43(12): e14234

Gunasekaran, S., & Mehmet, A .K. M., 2003, Cheese rheology and texture, CRC Press. Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., & Kondyli, E., 2002, Improvement of sensory quality of Low- fat Kefalograviera-type cheese with commercial adjunct cultures, International Dairy Journal, 12, 757-764

Guinee TP, Caric M & Kalab M, 2004. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. Cheese: Chemistry, Physics and icrobiology, Volume 2 (eds FoxPF, McSweeneyPLH, CoganTMand GuineeTP), pp. 349-394, Elsevier, London

Hao, O., Kilcawley,K.N and Miao,S.2021. Exploring the potential of polysaccharides or plant protein as structuring agents to design cheeses with sensory properties focused toward consumers in East and Southeast Asia:a rewiew.Food science and nutrition.

Hesarinejad,M. A., Arefkhani, A., Rafe,A., Javidi,F and Sadeghian, A.R.2020. Investigation the qualitative, textural and sensory characteristics of low fat Iranian white cheese containing a mixture of basil seed gum with xanthan or guar.Iranian food sience and technology ,Research Journal, 17(4): 583-593

Hosseini, p., Hojatoleslamy, M and Molavi, H. 2023.Investigation of the mixing ratio of quince seed gum, potato starch and gellan gum on the properties of the resulting film by Mixture Design. Inernational Journal of Biological macromolecules. 237

Hosseini-Parvar, Seyed H, Matia-Mreino & L, Golding,M, 2015. Effect of basil seed gum(BSG) on textural, rheological and microstructure properties of model processed cheese, Food Hydrocollide, 43, 557-567.

Hosseini M & Habibi Najafi MB, M. 2013. Assesment of physico – chemical and sensory properties of imitation cheese containing whey protein concentrate and enzyme- modified Lighvan cheese Iranian Journal of Nutrition Science & Food Technology Vol. 8, No. 2, Summer.91-102

Hladka, K, Randulova, Z., Tremlova,B., Ponizil,P ., Mancik,P., Cernikova, M &Bunka, F. 2014. The effect of cheese maturity on selected properties of processed cheese with out traditional emulsifying agant. LWT-Food Science and Technology ,55(2),650-656

Khazaei, A., Nateghi,L ., Zand ,N and Urumiyehe,A.2022. Evaluation of physicochemical and sensory propertis of jug cheese packed in biodegradable film based on polyvinyl alcohol and pinto bean starch containing essential oils of garlic, ginger and cinnamon, Iranian Journal of food Science and Technology .119(18).

Kim, C., & Yoo, B. 2006. Reological Prpperties of rice starch-xanthan gum mixture. Journal of Food Engineering, 75, 10-128

Kratochvilova, A., Salek, R.S., Vasin, M., Lorencova, E., Kurova, V., Lazarkova,Z., Dostalova, J and Senkyrova, J.2022.The impact of different hydrocollides on the viscoelastic properties and microstructure of proceesed cheese manufactured without emulsifying salts in relation to storage time. Foods.11:3605-3618

Lim,W.J., Liang,Y.T, Seib,P.A and Rao,C.S.1992.Isolation of oat starch from oat flour.Cereal chem.69(3):233-236

Lucey, J.A .1993.Importance of calcium and phosphate in cheese manufacture,A Review, Journal of Dairy Science,76:1741-1724

Mahrooghi,M., Ghods Rohani, M & Rashidi, H.2017. The optimization of spreadable process cheese formulation using Konjac and Xanthan gum.Research and Innvovation in Food Science and technology(in Persian)

Marta,H., Cahyana,Y and Djali.2020. The effect of starch hydrocollide interaction on starch digestibility, pasting and physicochemical properties: A review. Eart and Environmental Science,443

Meilgaard,M., Civille,G.V & Carro,B.T.(1999).Sensory Evaluation Techniques. CRC Press, Boca Raton Florida.pp.279

Montesinos, C., Cotteii, D.C., O Riordan,E.D & OSullivan, M.2006. Partial replacement of fatby functional fibre in imitation cheese: effects on rheology and microstructure.International Dairy Journal,: 16,910-919

Ratnayk W.S,Hoover R and Warkentin T.2002.Pea starch:composition,structure and properties.starch.54:217-234

Scott, G and Awika, J. 2023. Effect of protein – starch interaction on starch retrogradation and implications for food product quality. Food science and food safety,22(3), 2081-2111

Shain, H ., & Ozdemir, F. 2004. Effect of some hydrocollide on the rheological properties of hydrocollide formulated ketchups. Food Hydrocollide, 18 (6), 1015- 1022.

Silva, D.F., Sabrina, Ferreira. S.B.S., Bruschi, M.L., Britten, M., Matumoto-pintro, P.T. 2016.Effect of commercial konjac glucomannan and konjac flours on textural, rheological and microstructural properties of low fat processed cheese.Food Hydrocollides,60:308-316

Song ,J.Y., Kwon, J.Y., Choi ,J., Kim, Y.C & Shin, M. 2006. Pasting properties of non-waxy rice starch – hydrocollide mixture .Starch/ Stärk, 58, 223-230

Song, J. Y., Kim, Y.C & Shin, M. 2008.Texture properties and structure of wheat and maize starch-gum mixed gels during storage, Food Science and Biotechnology, 17:20-25

Sudhakar V,Singhal R.S & Kulkarani P.R.1996.starch – gluctamannan interaction ,functionaly and rheological aspect.food chemistry.55:259-564

Viturawong, Y., Achayuthakan, P., & Suphantharika, M. 2008. Gelatinization and rheological properties of rice starch/ xanthan mixtures: Effect of molecular weight of xanthan and diffrent salts. Food Chemistry, 111,106-114

Waserman, L.A., Vasil ev, V., Motyakin, M.V., Blaszchak, J.F., Damshkaln, L.G., Lozinsky,V & Yuryev, V.P. 2009.Influence of Gluten and Gum additives and cryogenic Treatment on some properties and morphology of wheat starch complex gels,61:377-388.

Food Engineering Research/Vol.24/No.79/ Autumn & Winter 2025/P: 193-209

Journal Home page: https://fooder.areeo.ac.ir/

Original Research

nvestigation on the effect of pea starch and xanthan gum on texture properties and Sensory Properties of process cheese by Mixture design method

Nafies hasannejad, Mohammad Hojjatoleslamy*, Hooman Molavi, Hosein kiani

***Corresponding Author:** Associate Professor, Department of Agriculture and Food Technology, Shahrekord Branch, Islamic Azad University, Shahrekord, 88137-33395, Iran
Email: mohojjat@iaushk.ac.ir
Received:20 November 2022 **Accepted**: 20 December 2023
http://doi: 10.22092/fooder.2026.360429.1353

Abstract

Processed Cheese is the result of crushing and mixing natural cheese with dairy and non-dairy elements. The purpose of this research is to replace Pea starch and xanthan gum with commercial emulsifying phosphate salts and produce a profitable product. The textural and sensory properties of cheeses produced by the mixture design method were investigated, and Pea starch and xanthan gum were replaced with phosphate salts with the levels specified by the design software.Addition of xanthan and starch increased the hardness and cohesiveness of the samples.The adhesiveness of the samples has decreased by adding xanthan and starch. The mutual effect of starch - xanthan, xanthan - phosphate salts, starch - phosphate salts has reduced the amount of gumminess and chewiness of the samples. The hedonic results showed that the interaction of starch - xanthan and phosphate salt increased the taste acceptability. But the mutual effect of starch - xanthan and xanthan - phosphate salts has significantly increased the acceptability of the taste from the point of view of consumers. With the addition of starch and xanthan, the acceptability of the color of the samples has increased. But the mutual influence of starch - xanthan, starch - phosphate salts and xanthan - phosphate salts has reduced the acceptability of the color of the samples. In general, the overall acceptance of the produced cheese samples has increased significantly.

Keywords: Processed cheese, Pea starch, Xanthan gum, Emulsifying salt, Textural properties, Sensory properties.

© 2026,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.