

بررسی تأثیر جایگزینی خامه با بایژل بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی پنیر پیتزای پروسس

علی ابراهیم‌زاده^{۱*}، مریم قاسمی^۲، مصطفی مظاهری^۲، محمد حسین حداد خداپرست^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ استاد، گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد گروه علوم و صنایع غذایی

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۰۳/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۰۴

چکیده

چربی‌های جامد نقش مهمی در کیفیت و ویژگی‌های حسی مواد غذایی دارند، اما به دلیل مقدار بالای اسیدهای چرب اشباع شده و ترانس، نگرانی‌هایی را در زمینه سلامت مصرف‌کننده ایجاد کرده‌اند. از این رو، تولیدکنندگان مواد غذایی در تلاش‌اند تا با حفظ کیفیت نهایی محصول، میزان مصرف چربی را کاهش دهند. در این پژوهش، از بایژل‌های تهیه‌شده از هیدروژل‌های گوار و زانتان و اولئوژل روغن سویا حاوی مونو گلیسرید و دی گلیسرید، در سطوح صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به جای خامه در فرمولاسیون پنیر پیتزای پروسس استفاده شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی نمونه‌های تولیدشده از جمله سفتی، چسبندگی، ویژگی‌های رئولوژیکی، ذوب‌پذیری و کشش‌پذیری ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی خامه با بایژل، میزان پروتئین کاهش می‌یابد و در نتیجه، سفتی و مدول‌های الاستیک و ویسکوز کاهش پیدا می‌کنند و چسبندگی نسبت به نمونه شاهد افزایش می‌یابد. استفاده از بایژل موجب بهبود کشش‌پذیری نمونه‌ها گردید. نمونه حاوی ۷۵ درصد بایژل، سفتی مشابه با نمونه شاهد، کشش‌پذیری مطلوب و میزان پس‌دادن چربی کمتری را نشان داد. بر اساس یافته‌های این مطالعه، جایگزینی خامه با بایژل تا سطح ۷۵ درصد بدون کاهش معنادار در کیفیت نهایی پنیر پیتزای پروسس امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: بایژل، اولئوژل، هیدروژل، مونو گلیسرید و دی گلیسرید، گوار، زانتان، پنیر پیتزای پروسس

مقدمه

می‌کند (Bunka & Pavlinek, 2007). چربی‌ها و

پنیر پیتزا یکی از فراورده‌های لبنی مغذی و پر مصرف است که از ترکیب پنیرهای طبیعی، خامه، نمک‌های امولسیون‌کننده و آب تولید می‌شود (Černíková *et al.*, 2009; Gulzar *et al.*, 2020). این محصول دارای ساختار کلئیدی از نوع امولسیون روغن در آب (O/W) است که در آن نمک‌های امولسیون‌کننده با تأثیر بر ساختار پروتئینی، به‌ویژه کازئین، نقش کلیدی در ایجاد و پایداری امولسیون ایفا می‌کنند به‌طوری که کازئین به‌عنوان امولسیفایر عمل می‌کند (Bunka & Pavlinek, 2007). چربی‌ها و روغن‌های خوراکی بخش قابل توجهی از رژیم غذایی روزانه انسان را تشکیل می‌دهند (Shariati *et al.*, 2017). در صنایع غذایی، به‌منظور تبدیل روغن‌های مایع به چربی‌های نیمه‌جامد یا جامد، از فرآیندهایی مانند هیدروژناسیون، اینتراستریفیکاسیون و جزء به جزء کردن استفاده می‌شود. با این حال، چربی‌های حاصل از این فرآیندها معمولاً دارای مقادیر بالایی از اسیدهای چرب اشباع‌شده و ترانس هستند که افزایش کلسترول LDL، کاهش HDL و در نتیجه افزایش خطر

ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی را به دنبال دارند. در پی نگرانی‌های فزاینده در مورد سلامت عمومی، صنایع غذایی ملزم به کاهش یا حذف چربی‌های اشباع شده و ترانس از محصولات پرچرب شده‌اند (Abdolmaleki *et al.*, 2019). بر اساس دستورالعمل‌های تغذیه‌ای، مصرف اسیدهای چرب اشباع شده نباید بیش از ۱۰ درصد کل انرژی دریافتی روزانه باشد و توصیه می‌شود این اسیدهای چرب با چربی‌های اشباع نشده، کربوهیدرات‌ها یا پروتئین‌ها جایگزین شوند (Rodríguez-Hernández, 2021). با این حال، کاهش چربی در محصولات غذایی می‌تواند منجر به مشکلاتی از جمله ضعف بافت و افزایش پس‌دادن روغن شود (Pehlivanoglu *et al.*, 2018). پدیدهٔ پس‌دادن روغن در پنیر پیتزا به جداسازی چربی مایع از ساختار پنیر در حالت ذوب اشاره دارد که به صورت قطره‌های چربی در سطح محصول ظاهر می‌شود. هرچند درخشندگی ناشی از این قطره‌ها می‌تواند جذاب باشد، اما افزایش یا کاهش بیش از حد آن از دید مصرف‌کننده نامطلوب است. از این رو، یافتن جایگزین‌هایی برای چربی با حفظ ویژگی‌های بافتی و حسی مطلوب، از چالش‌های مهم در صنعت غذا به شمار می‌رود (Abdolmaleki *et al.*, 2019).

بایژل‌ها محصول فناوری نوظهور در صنعت غذا هستند و پتانسیل بالایی برای بهبود ارزش تغذیه‌ای و عملکردی محصولات غذایی دارند (Bollom *et al.*, 2020). این سیستم‌های نیمه‌جامد از اختلاط مکانیکی سریع اولئوژل و هیدروژل در دمای معین تولید می‌شوند و با کاهش میزان اسیدهای چرب ترانس، سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای محصول می‌گردند (Behera *et al.*, 2015). بایژل‌ها به دلیل ساختار دوفازی، هم‌زمان قادر به انتقال ترکیبات آب‌دوست و آب‌گریز هستند و در مقایسه با امولسیون‌های معمولی، پایداری فیزیکوشیمیایی بیشتری طی زمان دارند. اولئوژل‌ها از طریق ایجاد شبکهٔ سه‌بعدی در محلول‌های آلی و توسط ترکیبات اولئوژل‌ساز شکل می‌گیرند (Naderi & Farmani, 2017). این ژل‌کننده‌ها می‌توانند وزن مولکولی بالا یا پایین داشته باشند و برای فاز مایع، از انواع روغن‌های گیاهی خوراکی استفاده می‌شود (Zhao *et al.*, 2022). در میان ژل‌کننده‌های مختلف، مونو گلیسرید و دی گلیسرید به دلیل قیمت پایین، از گزینه‌های مناسب برای ساخت اولئوژل‌های پایدار هستند که در فرمولاسیون‌های متعددی نیز به کار رفته‌اند (Zampouni *et al.*, 2023). هیدروژل‌ها نیز معمولاً از طریق برهم‌کنش‌های فیزیکی یا شیمیایی بین زنجیره‌های پلیمری ایجاد می‌شوند که می‌توانند مولکول‌های آب را به دام اندازند (Samui *et al.*, 2021). در این زمینه، پلی‌ساکاریدها به عنوان ترکیبات طبیعی و زیست‌سازگار، برای تولید هیدروژل‌ها به طور گسترده بررسی شده‌اند. از میان آن‌ها، صمغ‌های زانتان و گوار به عنوان هیدروژلاتورهای پرکاربرد در ساختار هیدروژل و بایژل شناخته می‌شوند (Behera *et al.*, 2015; Shaikh *et al.*, 2022; Singh *et al.*, 2014). به مزایای ساختاری و عملکردی بایژل‌ها، هدف از این مطالعه، تولید بایژلی مبتنی بر اولئوژل حاوی روغن سویا و مونو گلیسرید و دی گلیسرید و هیدروژل تهیه‌شده از صمغ‌های زانتان و گوار و بررسی امکان

حاصل در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تحت همزن مغناطیسی هم‌زده شد تا ماده ژل‌کننده به‌طور کامل در فاز روغنی حل گردد. فرآیند ژل شدن با سرد کردن محلول تا دمای محیط (25 ± 2 درجه سلسیوس) دنبال و اولئوژل پایدار حاصل گردید (Singh et al., 2014).

آماده سازی بایژل

برای تهیه بایژل، اولئوژل و هیدروژل در نسبت ۳:۷ (بر اساس میزان چربی خامه) در دمای ۷۵ درجه سلسیوس با یکدیگر مخلوط شدند. مخلوط حاصل پس از رسیدن به ساختار نیمه‌جامد یکنواخت، به عنوان بایژل نهایی شناخته شد و تا زمان استفاده، در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید (Singh et al., 2014).

آماده سازی پنیر پیتزا

ترکیب مواد اولیه مورد استفاده برای تهیه پنیر پیتزای پروسس در جدول ۱ آورده شده است. بایژل در سطوح جایگزینی صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به عنوان جایگزین چربی خامه در فرمولاسیون پنیر به کار گرفته شد (جدول ۱). برای تهیه پنیر، پنیر اولیه در داخل دیگ پخت با حرارت مستقیم با تزریق بخار در دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. دیگر مواد اولیه در دو مرحله مجزا به پنیر اضافه شدند. فرایند حرارت‌دهی تا زمانی ادامه یافت که بافت یکنواخت و مطلوبی به‌دست آید. نمونه‌ها بلافاصله به سردخانه با دمای ۲۰- درجه سلسیوس منتقل و تا زمان اجرای آزمون‌های بیشتر در این دما نگهداری شدند (شکل

استفاده از آن به‌جای خامه در فرمولاسیون پنیر پیتزای پروسس به‌منظور بهبود ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عملکردی این محصول است.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

برای تهیه بایژل، روغن خالص سویا از کارخانه سه‌گل (نیشابور، ایران)، صمغ گوار با برند اونیکول و مونو (چین) (هند)، صمغ زانتان با برند فوفنگ گلیسرید و دی گلیسرید (چین) تهیه شدند. برای آماده‌سازی فرمولاسیون پنیر پیتزای پروسس، پنیر اولیه و خامه پنیر ریکوتا از کارخانه لبنه (فریمان، ایران)، و دیگر مواد شامل نشاسته، پودر آب‌پنیر و نمک از بازار محلی تهیه گردیدند.

روش تهیه ژل‌ها و پنیر پروسس

آماده سازی هیدروژل

بر اساس مطالعات پیشین و نتایج حاصل از پیش‌آزمایش‌ها، صمغ گوار و صمغ زانتان به نسبت مساوی (۱:۱) و در غلظت ۰/۷۵ درصد وزنی/حجمی در آب مقطر حل شدند. محلول حاصل تحت همزن مغناطیسی و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس به‌مدت کافی مخلوط گردید. محلول تا دمای محیط سرد شد و به‌منظور هیدراتاسیون کامل صمغ‌ها، به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای یخچال (4 ± 1 درجه سلسیوس) نگهداری شد (Singh et al., 2014).

آماده سازی اولئوژل

برای تهیه اولئوژل، مونوگلیسرید در غلظت ۳ درصد وزنی/حجمی به روغن سویا اضافه شد و مخلوط

جدول ۱. فرمولاسیون انواع پنیر پیتزای پروسس با درصد مختلف بایژل به جای خامه

Table 1. Formulation of processed pizza cheese types with different percentages of bigel as a cream substitute

ترکیب	P0	P25	P50	P75	P100
بایژل	0	5.7	11.4	17.1	22.8
خامه	22.8	17.1	11.4	5.7	0
آب	13	13	13	13	13
پنیر اولیه	52	52	52	52	52
پنیر ریکوتا و پروتئین آب پنیر	10	10	10	10	10
نمک و سیترات سدیم	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2



شکل ۱. انواع پنیر پیتزای پروسس با درصد مختلف بایژل به عنوان جایگزین خامه

Figure 1. Types of processed pizza cheese with different percentages of bigel as a cream substitute

آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی پنیر پروسس

آنالیز شیمیایی

استفاده از پروپ استوانه‌ای به قطر ۴۵ میلی‌متر، سل با وزن ۱۰۰ نیوتن با سرعت ۰/۸۳ میلی‌متر بر دقیقه تا کرنش ۴۰ درصد نمونه صورت گرفت (Samui et al., 2021)

رطوبت، فعالیت آبی، چربی و پروتئین نمونه‌ها، ۶ روز پس از تهیه‌شدن اندازه گیری شد (Banville et al., 2013; Ma et al., 2014)

آنالیز رئولوژیکی

ارزیابی بافت

نمونه‌ها با ابعاد طول و عرض ۲۰ میلی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر برش داده شدند. صفحه پایینی تا دمای ۵ درجه سلسیوس حرارت داده شد و یک لایه روغن گیاهی با ویسکوزیته کم روی سطح پنیر در معرض قرار داده شد تا از خشک شدن به‌هنگام اندازه‌گیری جلوگیری شود. نیروی نرمال در ۱ نیوتن

ویژگی‌های بافتی پنیر پیتزا پروسس شش روز بعد از تهیه نمونه با استفاده از دستگاه آنالیز بافت (TPA^۱) بررسی گردید. نمونه‌ها در قالب استوانه‌ای شکل با ارتفاع ۱۹ و قطر ۳۰ میلی‌متر در دمای اتاق آماده شدند. آنالیز بافت به صورت فشرده‌سازی دوگانه با

1 Texture Analyzer

قالب‌های نیم کره‌ای در مساحت $2/7$ سانتی‌متر مربع تهیه شدند. نمونه‌های تهیه شده پس از 24 ساعت آزمایش شدند. نمونه‌ها در مرکز پلیت شیشه‌ای روی یک کاغذ صافی قرار داده شدند. وزن پلیت به همراه درپوش، کاغذ صافی، نمونه پنیر در هر یک از آزمایش‌ها ثبت گردید. نمونه‌ها بلافاصله به آون 115 درجه سلسیوس با سیستم گردش هوای اجباری منتقل شدند. پس از 20 دقیقه پنیر ذوب شده از آون خارج و به مدت 5 دقیقه در دمای اتاق سرد شد. مساحت ذوب پنیر با محاسبه تفاوت سطح پنیر قبل و بعد از پخت نشان داده شد.

اندازه‌گیری کشش پذیری با روش چنگال

دویست گرم پنیر رنده شده روی پوسته پیتزا با سس قرار گرفت و به مدت 6 دقیقه در دمای 180 درجه سلسیوس پخته شد. پس از 2 دقیقه، چنگال داخل توده پنیر گذاشته و در جهت بالا کشیده شد. طول رشته‌های پنیر در هنگام شکست به عنوان معیار کشش پذیری در نظر گرفته شد (Farahmandfar et al., 2011).

ارزیابی حسی

ویژگی‌های حسی پنیر پیتزا پروسس از قبیل رنگ، عطر و طعم، احساس دهانی، ذوب پذیری و ظاهر کلی توسط 14 نفر از افراد آموزش ندیده (7 نفر زن و 7 نفر مرد) در محدوده سنی $20-30$ سال تعیین شد. اعضای پنلیست کام خود را بین نمونه‌ها با آب شستشو دادند. آنالیز در شرایط معمولی در مقیاس نوری معمولی صورت گرفت (Bolandi, M., Pirani, S., Pasha, R., Beik Mohammadi, 2014).

ثابت نگه‌داشته شد تا از تماس خوب اطمینان حاصل شود. زمان استراحت 5 دقیقه‌ای اجازه می‌دهد تا هرگونه تنش بارگذاری اضافی از بین برود. اندازه‌گیری‌ها در ناحیه ویسکوالاستیک خطی به اجرا در آمد، این ناحیه توسط یک نوسان دامنه (سرعت زاویه‌ای ثابت $\omega = 10$ راد بر ثانیه تغییر شکل متغیر 0.1 تا 100 درصد) تعیین شد. دما از 5 به 90 درجه سلسیوس با سرعت 5 درجه سلسیوس در دقیقه افزایش یافت در حالی که دامنه کرنش ثابت (0.1 درصد) روی نمونه‌ها با فرکانس نوسان 1 هرتز اعمال شد. مدول الاستیک (G')، مدول ویسکوز (G'') و زاویه اتلاف ($\tan \delta$) بسته به دما تعیین شد (Banville et al., 2013).

اندازه‌گیری رنگ

از یک سیستم بینایی کامپیوتری برای تعیین مساحت پیش بینی شده نمونه‌ها استفاده شد. این سیستم از اتاقک نورپردازی و یک دوربین دیجیتال (Nikon، ژاپن)، تشکیل شده است. یک نگهدارنده نمونه در پایین جعبه قرار داده شد و روی آن با مواد شفاف سفید پوشانده شد و دوربین در نیم متری بالای آن قرار گرفت تا تصویر استاندارد از نمونه‌ها با وضوح مطلوب هرچه بیشتر ثبت شود. تنظیمات در کل دوره آزمایش ثابت نگه‌داشته شد. کل سیستم 5 دقیقه پیش از آزمایش روشن شد (Banville et al., 2013).

اندازه‌گیری پس‌دادن روغن

از سیستم پردازش تصویر برای تجزیه و تحلیل میزان پس‌دادن روغن استفاده شد. حدود 6 گرم از نمونه‌های پنیر بلافاصله پس از تولید در داخل

تجزیه و تحلیل آماری

(Behera *et al.*, 2014). مکدوگال و همکاران

(Macdougall *et al.*, 2019) از ترکیبات مختلف به عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون پنیر خامه‌ای استفاده کردند و گزارش دادند با کاهش میزان چربی، مقدار رطوبت نمونه‌ها افزایش می‌یابد. بی و همکاران (Bi *et al.*, 2016) می‌گویند اینولین و نشاسته به عنوان جایگزین چربی، به دلیل خاصیت جذب و نگهداری آب باعث افزایش میزان رطوبت پنیر موزارای تقلیدی می‌شوند.

پروتئین

برهمکنش پروتئین با چربی و رطوبت عاملی است تعیین کننده و حیاتی در کیفیت محصول و ماندگاری آن و مشارکت پروتئین در ساختار پنیر تحت تأثیر دما، شرایط همگن‌سازی و نوع ترکیبات هیدروکلوئیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Macdougall *et al.*, 2019). در این پژوهش، خامه مورد استفاده در فرمولاسیون تقریباً ۳/۷ درصد پروتئین و بایژل مبتنی بر ترکیبات فاقد پروتئین بودند. بنابراین، همانطور که در جدول ۲ قابل مشاهده است افزایش بایژل در فرمولاسیون پنیر پیتزا به عنوان جایگزین چربی (خامه)، باعث کاهش جزئی و معنادار پروتئین شده است.

چربی

همان‌طور که انتظار می‌رفت، میزان چربی پنیر پیتزا با افزایش بایژل در فرمولاسیون کاهش معناداری داشت. ($p < 0/05$) به عبارت بهتر، چربی پنیر پیتزا در نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایژل، بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته است (جدول ۲). کاهش چربی، باعث کاهش بیشتر اسیدهای چرب اشباع شده پنیر پیتزا نیز می‌شود. دلیل این رویداد حضور اسیدهای چرب

آزمایش‌ها حداقل با سه تکرار همراه بود. آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و از نرم افزار SPSS ورژن ۲۴ استفاده شد. برای مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل یافته‌ها خصوصیات پنیر پیتزا

رطوبت

استفاده از رطوبت به جای چربی یکی از مهم‌ترین هدف‌های مرتبط با جایگزین‌های چربی در فرمولاسیون پنیر است. جایگزین به کارگرفته شده باید توانایی ایفای نقش چربی را در فرمولاسیون داشته باشد به طوری که این جایگزینی باعث کاهش ویژگی‌های کیفی محصول نهایی نشود. از نظر استاندارد، رطوبت پنیر پرچرب فراوری شده باید دارای بین ۴۴ تا ۶۰ درصد باشد ولی در پنیرهای کم چرب تجاری تا ۷۳ درصد رطوبت مجاز است (Lee *et al.*, 2015). جدول ۲ میزان رطوبت نمونه‌های پنیر پیتزا را نشان می‌دهد. آنالیز آماری نشان داد که با افزایش درصد بایژل در فرمولاسیون پنیر پیتزا به عنوان جایگزین چربی، میزان رطوبت به طور معنادار افزایش یافت. به عبارتی، نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایژل به ترتیب کمترین و بیشترین میزان رطوبت را داشتند. این افزایش رطوبت می‌تواند به دلیل کاهش میزان خامه در نمونه‌های پنیر پیتزا پروسس باشد زیرا بایژل جایگزین شده در ساختار پنیر پیتزا به دلیل دارا بودن فاز هیدروژل و توانایی احتباس آب می‌تواند بر ظرفیت نگهداری آب نمونه‌ها تأثیر گذارد و میزان رطوبت آن را افزایش دهد

غیراشباع موجود در ساختار بایزل (قسمت اولئوژل) نشان داد که افزایش بایزل تقریباً باعث افزایش جزئی است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از جایگزین‌های چربی به طور موفقیت‌آمیزی باعث کاهش مقدار چربی موجود در محصولات غذایی می‌شوند. هوآنگ و همکاران (Huang *et al.*, 2018) از اولئوژل‌های موم سبوس برنج و موم آفتابگردان برای تهیه پنیر خامه‌ای استفاده کردند و نشان دادند کاربرد این اولئوژل‌ها ۲۵ درصد کل چربی را کاهش می‌دهد. در پژوهشی دیگر معلوم شد استفاده از مخلوط اینولین/کفیران در فرمولاسیون پنیر موزارلا میزان چربی را کاهش می‌دهد (Moghiseh *et al.*, 2021).

فعالیت آبی

فرآوری، کیفیت و پایداری هر محصول نه تنها به مقدار آب بلکه به وضعیت آب موجود در سیستم غذایی بستگی دارد. بنابراین، فعالیت آبی پارامتری است مهم در هر غذا زیرا سطح آب را در حالت آزاد توصیف می‌کند که به برهمکنش آب با اجزای دیگر بستگی دارد (Dai *et al.*, 2018). فعالیت آبی نمونه‌های مختلف در جدول ۲ قابل مشاهده هست؛ آنالیز آماری

نشان داد که افزایش بایزل تقریباً باعث افزایش جزئی در فعالیت آبی می‌شود که بیشترین فعالیت آبی مربوط به نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایزل است ($p < 0/05$). آب می‌تواند مستقیماً با ترکیبات با هدف جایگزین چربی متصل شود و جایگزین‌های چربی می‌توانند با انقباض ماتریکس کازئین تداخل داشته باشند. بنابراین، این امر نیروی محرک درگیر در دفع آب از ذرات دلمه را کاهش می‌دهد (Sattar *et al.*, 2015). مطالعات نشان می‌دهد استفاده از KGM در فرمولاسیون پنیر موزارلا به عنوان جایگزین چربی باعث افزایش میزان فعالیت آبی نمونه‌های پنیر موزارلا می‌شود (Dai *et al.*, 2018) و نیز در اثر کاهش میزان نمک و چربی در فرمولاسیون پنیر چدار میزان فعالیت آبی افزایش می‌یابد (McCarthy *et al.*, 2015). در بررسی‌های سولویج و همکاران (Sołowiej *et al.*, 2015) نشان داده شده است که جایگزینی چربی با استفاده از اینولین در پنیر آنالوگ پروسس، تفاوت جزئی در مقادیر فعالیت آبی ایجاد می‌شود که از نظر آماری معنی‌دار نیست.

جدول ۲. ترکیبات شیمیایی نمونه‌ها
Table 2. Chemical compositions of the samples

نمونه	رطوبت (%)	پروتئین (%)	چربی (%)	فعالیت آبی (%)
Sample	Moisture (%)	Protein (%)	Fat (%)	Water Activity (%)
P0	51/96±0/85 ^c	22.08 ± 0/07 ^a	17.53 ± 0/35 ^a	0.937 ± 0.00 ^c
P25	53/33±0/57 ^d	21.85 ± 0.05 ^b	15.53 ± 0/41 ^b	0.937 ± 0.00 ^c
P50	55/55±0/38 ^c	21.65 ± 0.06 ^c	12.50 ± 0/34 ^c	0.938 ± 0.00 ^b
P75	58/10±0/19 ^b	20.85 ± 0.01 ^d	9.56 ± 0/55 ^d	0.939 ± 0.00 ^b
P100	62/33±0/33 ^a	20.54 ± 0.05 ^c	8.50 ± 0.60 ^c	0.941 ± 0.00 ^a

حروف کوچک غیر مشترک در هر ستون بیانگر وجود اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد در بین نمونه‌های مختلف در آن سطوح است.

ارزیابی بافت

ارزیابی جایگزینی خامه با استفاده از بایژل روی سفتی پنیر پیتزا پروسس

سفتی معیاری از میزان نیرویی است که برای فشردن سازی نمونه لازم است (Moghiseh *et al.*, 2021). این پارامتر منعکس کننده ترکیبات شیمیایی، وضعیت فیزیکی و شیمیایی مواد تشکیل دهنده مانند نسبت جامد به چربی و وجود غیریکنواختی از قبیل اتصالات گرانول‌ها در دلمه، وجود شکاف و ترک‌هاست (Sattar *et al.*, 2015). در پژوهش حاضر، استفاده از بایژل در فرمولاسیون در سطوح مختلف اثرهای متفاوتی را از نظر سفتی نشان می‌دهد (شکل ۲). به‌طور کلی کمترین و بیشترین میزان سفتی به ترتیب مربوط به نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایژل است. نتایج آماری نیز نشان داده‌اند نمونه حاوی ۷۵ درصد بایژل تفاوت معناداری ($p < 0/05$) در سفتی ندارد. کاهش سفتی نمونه‌ها ممکن است به دلیل جزء هیدروژل نمونه‌های بایژل و کاهش میزان پروتئین در نمونه‌های تیمار شده باشد. کازئین جزء اصلی تشکیل دهنده پنیر است و میسل‌های کازئین به هم پیوسته و یک ماتریکس سه بعدی را تشکیل می‌دهند که این ماتریکس ساختار پنیر را به وجود می‌آورد. بنابراین، میزان پروتئین در میزان سفتی پنیر اثر مستقیمی دارد (Giha *et al.*, 2021). از طرف دیگر، آب موجود در ساختار بایژل با هیدراتاسیون پروتئین باعث تغییر در فشردگی ماتریکس پروتئین و نهایتاً، سبب کاهش سفتی پنیر می‌شود. دای و همکاران (Dai *et al.*, 2019) اثر جایگزینی چربی با استفاده از KGM را در سفتی پنیر پیتزا موزارلا را بررسی کردند و نشان دادند

افزودن KGM در پنیرهای موزارلای کم‌چرب و بدون چربی، سفتی را کاهش می‌دهد. این محققان کاهش میزان سفتی را با اثر روان‌کننده این صمغ به عنوان یک هیدروکلوئید غذایی مرتبط دانستند. استفاده کردن از جایگزین‌های چربی همیشه باعث کاهش میزان سفتی نمونه‌های تیمار شده نمی‌شوند و مطالعاتی نیز وجود دارد که برخلاف یافته‌های ما نشان‌دهنده افزایش میزان سفتی در اثر جایگزینی چربی پنیر هستند. ستار و همکاران (Sattar *et al.*, 2015) با بررسی اثر هیدروکلوئیدهای زانتان و گوار به عنوان جایگزین چربی در پنیر موزارلا نشان دادند در اثر جایگزینی چربی میزان سفتی نمونه‌ها نسبتاً افزایش می‌یابد و حفظ رطوبت در پنیر با افزایش سطح هیدروکلوئیدها افزایش پیدا می‌کند و با کاهش چربی میزان پروتئین افزایش و به جزء اصلی‌تر ساختار تبدیل می‌شود. در نتیجه، سطح بالایی از برهمکنش مولکول‌های پروتئین تشکیل می‌شود که مقاومت در برابر تغییر شکل را افزایش می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از اینولین و نشاسته مقاوم در فرمولاسیون پنیر موزارلای تقلیدی باعث افزایش میزان سفتی نمونه‌های پنیر می‌شود. محققان نشان داده‌اند افزایش سفتی با کاهش چربی مرتبط است زیرا در اثر کاهش چربی، فضاهایی که زمانی توسط گلبول‌های چربی اشغال می‌شد کاهش می‌یابد و ماتریکس پروتئین فشرده‌تر می‌شود (Bi *et al.*, 2016). احتمالاً در سطح ۷۵ درصد بایژل در نمونه، یک اثر سینرژیستی بین نمونه‌های بایژل و خامه اتفاق افتاده و به طور یکنواخت در داخل ماتریکس پروتئینی پخش شده است. پیش بینی می‌شود دلیل این امر کاهش اندازه

پیتزا پروسس با افزایش بایزل در فرمولاسیون پنیر پیتزا مشاهده شد ($p < 0/05$). ولی این افزایش در بین سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد جایگزین شده از نظر آماری معنی‌دار نبود. نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایزل به ترتیب دارای کمترین (۰/۴۵) و بیشترین (۱/۵۵) میزان چسبندگی بودند. همان‌طور که در مطالعات دیمیتزلی و توماریس (Dimitreli & Thomareis, 2007) می‌گویند بالا بودن مقادیر چربی و آب دو عاملی هستند که باعث ایجاد ترکیب بازتری برای مولکول‌های پروتئین می‌شوند و در نتیجه مقادیر چسبندگی را افزایش می‌دهند و بالعکس بالا بودن میزان پروتئین در پنیرها با ایجاد پیوندهای پروتئین - پروتئین باعث فشردگی شدن ماتریکس پروتئینی و در نتیجه کاهش میزان چسبندگی می‌شوند. برخی از محققان برای کاهش میزان اسیدهای چرب اشباع در فرمولاسیون پنیر پیتزای آنالوگ، از روغن‌های گیاهی استفاده کردند. در نتیجه این جایگزینی، ویژگی‌های مختلف محصول دچار تغییر شد و میزان چسبندگی نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد افزایش یافت (Hassanien, 2018). در پژوهش‌های متولی‌زاده و همکاران (Motevalizadeh, 2017) نیز استفاده از روغن سویا به عنوان جایگزین چربی و غنی‌سازی آن با استفاده از عصاره هویج باعث افزایش چسبندگی در نمونه‌های پنیرپیتزا شده است. افزایش دو برابر در میزان چسبندگی فرمولاسیون پنیر آنالوگ در مطالعات لی و همکاران (Liu et al., 2008) با استفاده از ژل پکتین با متوکسیل پایین به عنوان جایگزین چربی گزارش شده است.

گلبول‌های چربی باشد. در مطالعات جیا و همکاران (Giha et al., 2021) اشاره شده است درصد بالاتر چربی منجر به تعداد بیشتری از گلبول‌های چربی می‌شود. بنابراین، گلبول‌ها به دلیل نزدیکی به یکدیگر، بیشتر به هم می‌پیوندند و بزرگ‌تر می‌شوند ولی در اثر کاهش میزان چربی، گویچه‌های چربی در اندازه‌های کوچک در ماتریکس پروتئین پخش می‌شوند و در نتیجه با افزایش واکنش پروتئین - پروتئین باعث افزایش میزان سختی نمونه‌های تیمار شده می‌شوند. لی و همکاران (Lee et al., 2015) در پژوهش‌های خود نیز نشان دادند که پنیر آنالوگ پروسس با درصد چربی کمتر (۱۰ تا ۲۰ درصد)، دارای گلبول‌های چربی کوچک و منظم هستند که در ماتریکس پروتئین پراکنده شده‌اند. در مقابل، پنیرهایی با درصد چربی بالاتر (۳۰ تا ۴۰ درصد) دارای گلبول‌های چربی بسیار بزرگ (بعضی از آن‌ها بزرگتر از ۲۰ میلی‌متر) هستند.

اثر جایگزینی چربی با استفاده از بایزل روی چسبندگی پنیر پیتزا پروسس

منظور از چسبندگی، نیروی لازم برای خارج کردن پنیر از کام در حین غذا خوردن است (H. Bemer, 2021) و از بُعد آزمون دستگاهی، نمونه چسبنده به نیروی بیشتری برای جدا کردن پروب نیاز دارد (Dai et al., 2018). از نظر مصرف‌کننده، چسبندگی بالا در نمونه‌های پنیر به دلیل سختی جدا شدن از بسته بندی ویژگی نامطلوبی به حساب می‌آید (Sołowiej et al., 2014). با توجه به شکل ۲، در این پژوهش افزایش خطی تا سه برابر در مقادیر چسبندگی نمونه‌های پنیر

ویژگی‌های ویسکوالاستیک

آن‌ها ارزیابی شود. ساختار داخلی پنیر در فرآیند ذوب

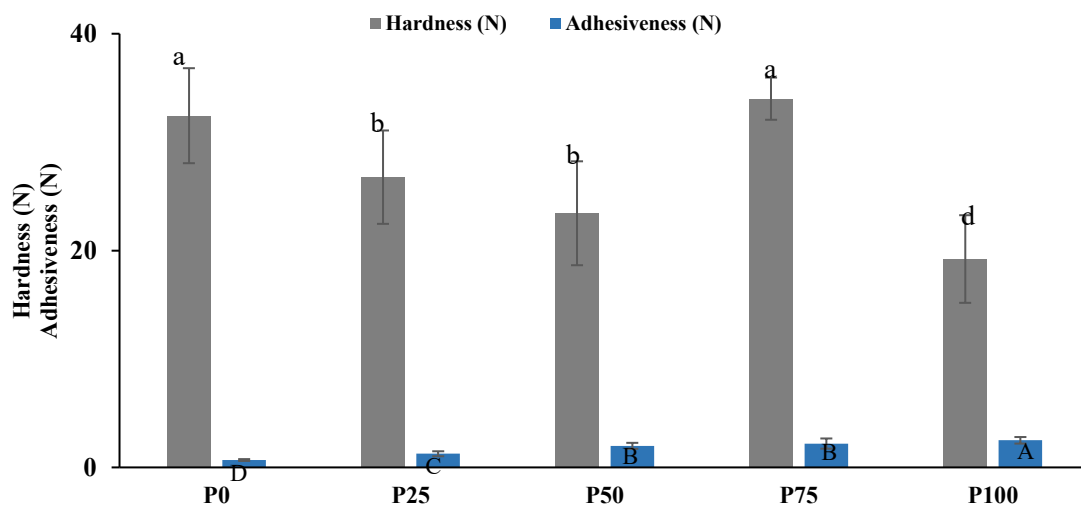
از طریق تغییرات مدول الاستیک (G') و مدول ویسکوز (G'') بررسی شد. مدول G' نشان‌دهنده توانایی ذخیره انرژی و حفظ یکپارچگی ساختاری و G'' بیانگر قابلیت اتلاف انرژی است. فاکتور اتلاف ($\tan \delta = G''/G'$) شاخصی کلیدی برای تعیین ماهیت ویسکوالاستیک مواد است به‌طوری که مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهنده رفتار ژل‌مانند و مقدار ۱ نمایانگر دمای انتقال از رفتار جامدمانند به رفتار مایع‌مانند است (Mounsey & O'Riordan, 2001; Felix da Silva *et al.*, 2016). در تمامی نمونه‌ها، مقدار G' تا دمای ۵۵ درجه سلسیوس بالاتر از G'' باقی ماند که نشان‌دهنده غلبه ویژگی الاستیکی در این بازه دمایی است. با افزایش دما از ۵ تا ۹۰ درجه سلسیوس، مقدار G' تمامی نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافت، که نشان‌دهنده نرم شدن ماتریکس پنیر در اثر حرارت است. مطابق با داده‌های شکل ۳، بیشترین افت G' در بازه دمایی ۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و در نمونه‌های دارای ۰، ۲۵ و ۵۰ درصد جایگزینی مشاهده شد. این کاهش شدید احتمالاً مرتبط با مشخصات ذوب چربی خامه‌ای مورد استفاده در فرمولاسیون پنیر پیتزاست. مطالعات بمر و همکاران (Bemer, *et al.*, 2016) نیز کاهش چشمگیر G' در پنیرهای پرچرب در همین بازه دمایی گزارش کردند که به ذوب چربی به دام‌افتاده در ماتریکس پروتئینی نسبت داده شد. آن‌ها همچنین کاهش تدریجی G' در نمونه‌های حاوی اولئوژل را ناشی از افزایش برهم‌کنش‌های آبگریز و انقباض ذرات کازئین دانستند. با این حال، جایگزین چربی استفاده‌شده در مطالعه حاضر ترکیبی از اولئوژل و هیدروژل است و

ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر پیتزا نشان‌دهنده توانایی آن در حفظ ساختار یکپارچه خود است و مستقیماً با ویژگی‌های جویدنی محصول ارتباط دارد. این ویژگی‌ها می‌توانند نقش مهمی در ارزیابی ویژگی‌های ارگانولپتیکی و پذیرش حسی پنیر داشته باشند. به‌منظور بررسی رفتار رئولوژیکی، نمونه‌های پنیر تحت تنش قرار می‌گیرند تا نحوه تغییر شکل آن‌ها ارزیابی شود. بسته به نوع پاسخ به تنش، مواد غذایی را می‌توان در یکی از سه گروه جامدات الاستیک، مایعات ویسکوز، یا مواد ویسکوالاستیک طبقه‌بندی کرد. در این میان، پنیر به‌طور کلی در گروه مواد ویسکوالاستیک قرار می‌گیرد، زیرا نسبت تنش به کرنش آن، ویژگی‌هایی از هر دو رفتار جامد و مایع را نشان می‌دهد (Giha *et al.*, 2021). در مطالعه حاضر، اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی نمونه‌های پنیر پیتزای پروسس در ناحیه ویسکوالاستیک خطی (LVR) بوده است. این محدوده بر اساس آزمون نوسان دامنه تعیین شد و کرنش برشی برابر با ۰/۱ درصد به‌دست آمد.

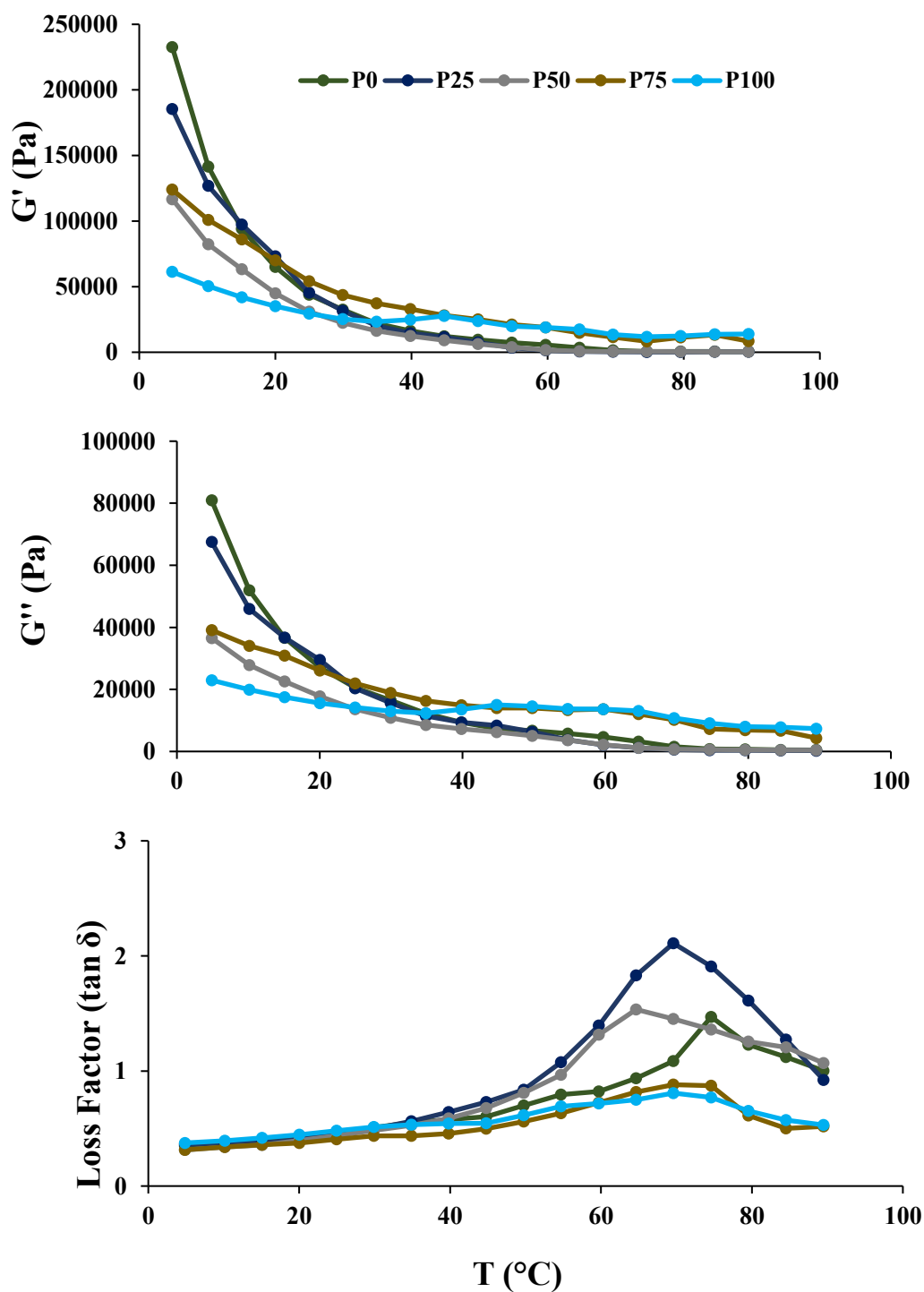
ذوب‌پذیری یکی از فاکتورهای کلیدی در مراحل فرآوری، بسته‌بندی، نگهداری و حتی پذیرش محصول از سوی مصرف‌کننده محسوب می‌شود. این ویژگی تحت تأثیر عواملی مانند درجه پروتئولیز، میزان چربی، توزیع مواد معدنی، برهم‌کنش‌های پروتئین-پروتئین و پروتئین-آب قرار دارد. این عوامل به‌طور مستقیم بر رفتار ذوب و عملکرد نهایی پنیر تأثیر می‌گذارند (Sattar, *et al.*, 2015). در این مطالعه، نمونه‌های پنیر پیتزای پروسس پس از آزمون نوسان کرنش، تحت آزمون نوسان دما قرار گرفتند تا رفتار ذوب‌پذیری

بنابراین کاهش G' در نمونه‌های تیمارشده نسبت به شاهد می‌تواند با افزایش رطوبت و هیدراتاسیون شبکه پروتئینی (Tunick *et al.*, 1993) و تضعیف برهم‌کنش‌های پروتئینی در ماتریکس کازئین مرتبط باشد. علاوه بر این، تغییر شکل گلبول‌های چربی نیز ممکن است به نرم‌تر شدن شبکه پروتئینی منجر شود (Hennelly *et al.*, 2006). نتایج حاصل از تحلیل $\tan \delta$ نشان داد که ذوب‌پذیری در نمونه حاوی ۲۵ درصد بایزل، نسبت به نمونه شاهد، افزایش یافت اما ذوب‌پذیری با افزایش درصد جایگزینی بایزل به تدریج کاهش یافت. نمونه حاوی ۵۰ درصد بایزل ذوب‌پذیری مشابهی با نمونه شاهد داشت، در حالی که نمونه‌های با ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی هرگز از آستانه $\tan \delta = 1$ عبور نکردند و ذوب‌پذیری کمتری را نشان دادند. چربی در پنیر پیتزا نقش روان‌کننده دارد و کاهش آن می‌تواند از جریان ماتریکس پروتئینی جلوگیری کند و در نتیجه ذوب‌پذیری را کاهش دهد. از سوی دیگر،

رطوبت می‌تواند با ایفای نقش نرم‌کننده میان مولکول‌های پروتئین، انعطاف‌پذیری پنیر را افزایش دهد. بنابراین، جایگزینی چربی در صورتی می‌تواند به بهبود ذوب‌پذیری کمک کند که با افزایش رطوبت همراه باشد (Zisu & Shah, 2005). با وجود این، در نمونه‌های ۷۵ و ۱۰۰ درصد بایزل، افزایش رطوبت حاصل از جایگزینی چربی نتوانست کاهش ذوب‌پذیری را جبران کند. این نتایج با داده‌های بافت نیز هم‌راستاست زیرا ترکیب پنیر و اندازه گلبول‌های چربی از عوامل مؤثر بر ذوب‌پذیری هستند و کاهش چربی با کوچک‌تر شدن گلبول‌های چربی همراه است که خود منجر به افت این ویژگی می‌شود (Ran Feng *et al.*, 2021). سرانجام اینکه کاهش ذوب‌پذیری با افزایش میزان بایزل می‌تواند نشان‌دهنده افزایش پایداری امولسیون نیز باشد؛ زیرا این نمونه‌ها در برابر افزایش دما، خاصیت الاستیکی خود را برای مدت طولانی‌تری حفظ کردند.



شکل ۲. سفتی و چسبندگی نمونه‌ها
Figure 2. Hardness and adhesiveness of the samples



شکل ۳. تاثیر حرارت روی مدول الاستیک (G')، مدول ویسکوز (G'') و فاکتور اتلاف ($\tan \delta$) نمونه‌ها
Figure 3. Effect of temperature on the elastic modulus (G'), viscous modulus (G''), and loss tangent ($\tan \delta$) of the samples

اندازه‌گیری رنگ

همکاران (Noshad *et al.*, 2022) گفته شده است استفاده از اولئوژل‌های حاوی صمغ گوار و زانتان در فرمولاسیون کیک اسفنجی منجر به افزایش مقدار L^* می‌شود. پارامترهای رنگی a^* و b^* به ترتیب برای تشخیص رنگ‌های قرمز (+)، سبز (-) و زرد (+)، آبی (-) استفاده می‌شوند و معمولاً در بازه -120 تا $+120$ قرار می‌گیرند. در تمام نمونه‌های مورد بررسی، مقادیر a^* و b^* نشان‌دهنده رنگ غالب سبز و زرد بودند. با افزایش میزان بایزل، مقدار b^* به طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش یافت که می‌تواند ناشی از وقوع واکنش میلارد بین پروتئین شیر و اجزای بایزل در مرحله حرارت‌دهی باشد. این یافته با نتایج تحقیقات دای و همکاران (Dai *et al.*, 2016, 2018) در زمینه جایگزینی چربی در ماست خامه‌ای و پنیر پیتزای موزارلا همخوانی دارد.

اندازه‌گیری پس دادن روغن

به دلیل نشت روغن در اثر جایگزینی چربی، ظرفیت نگهداری روغن یکی از مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی در سیستم‌های غذایی تازه فرموله شده با جایگزین‌های چربی است. میزان پس دادن روغن به شدت تحت تأثیر برهمکنش کازئین و چربی (Tunick, 1994)، نحوه توزیع چربی در ماتریکس پروتئینی (Li *et al.*, 2019) و همچنین میزان کل چربی موجود در پنیر (Authors, 1984) قرار دارد. نتایج تحقیق نشان داد که میزان پس دادن چربی در نمونه‌هایی با ۲۵ و ۵۰ درصد جایگزینی چربی به طور معنی‌داری نسبت به نمونه شاهد بالاتر است. این افزایش احتمالاً به دلیل مقادیر بالاتر روغن در این نمونه‌ها بوده است زیرا در نمونه‌های دارای ۷۵ و ۱۰۰ درصد جایگزینی تفاوت

رنگ، علاوه بر تأثیرگذاری در جلب رضایت مصرف‌کننده، در شناسایی نوع ماده غذایی نیز نقش مهمی دارد (Sattar *et al.*, 2015). در مطالعه حاضر، ویژگی‌های رنگی نمونه‌های پنیر پیتزای پروسس با استفاده از سیستم پردازش تصویر بررسی شده است. در این سیستم، پارامترهای L^* ، a^* و b^* به عنوان شاخص‌های اصلی تشخیص رنگ به کار می‌روند. مقدار L^* نشان‌دهنده روشنایی نمونه است، مقدار بالای آن (نزدیک به ۱۰۰) بیانگر روشنایی بیشتر و مقدار پایین (نزدیک به صفر) نشان‌دهنده روشنایی کمتر است (Dai *et al.*, 2018). بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳، پس از یک روز نگهداری، نمونه‌های تیمار شده از نظر روشنایی تفاوت معنی‌داری با نمونه شاهد نشان ندادند و تنها افزایش بسیار جزئی در مقدار L^* مشاهده شد ($p < 0.05$). این افزایش ممکن است به دلیل رنگ سفید بایزل جایگزین شده در فرمولاسیون پنیر باشد، زیرا روشنایی نهایی پنیر تحت تأثیر ماتریکس چربی و پروتئین و تغییرات فاز سرم در اثر حرارت‌دهی قرار دارد. این یافته‌ها با نتایج گزارش شده توسط دای و همکاران (Dai, *et al.*, 2019) روی پنیر موزارلا نیز هم‌راستا است. این محققان دلیل افزایش روشنایی را تشکیل ذرات سفید کازئین و پپتید در سوسپانسیون کلوئیدی پنیر می‌دانند که سبب افزایش نور بازتاب شده از سطح پنیر پس از حرارت‌دهی می‌شود. در پژوهشی دیگر، دای و همکاران (Dai, *et al.*, 2018) اشاره کردند که رنگ سفید پودر KGM نیز می‌تواند از عوامل مؤثر بر افزایش روشنایی در پنیرهای حاوی این افزودنی باشد. در مطالعه‌ای مشابه توسط نوشاد و

معنی‌داری با نمونه شاهد مشاهده نشد. مطالعات دای و همکاران (Dai *et al.*, 2019) نیز نشان داد که میزان بالای چربی در نمونه‌ها یکی از عوامل اصلی افزایش پس‌دادن روغن است و افزودن KGM، تأثیر قابل توجهی در کاهش این پدیده پیش از مرحله نگهداری ندارد. در پژوهش‌های پره و رامل (Pere R. Ramel, 2018) جایگزینی چربی با اولئوژل روغن کانولا در فرمولاسیون پنیر تقلیدی منجر به کاهش میزان پس‌دادن چربی شد. آن‌ها این اثر را به توانایی شبکه کریستالی اولئوژل در نگهداری روغن نسبت دادند.

اندازه‌گیری ویژگی کشش پذیری

ویژگی کشش‌پذیری یکی از شاخص‌های مهم کنترل کیفیت در پنیر پیتزاست و در صنایع لبنی و غذایی اهمیت ویژه‌ای دارد. کشش‌پذیری به توانایی پنیر ذوب‌شده در تشکیل رشته‌های فیبری اطلاق می‌شود که بدون گسستگی، تحت نیروی کشش امتداد می‌یابند (Ran Feng *et al.*, 2021). نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش سطح جایگزینی چربی، کشش‌پذیری نمونه‌های حاوی بایژل نسبت به نمونه شاهد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) افزایش داشته است. این بهبود ممکن است ناشی از افزایش میزان هیدراتاسیون کازئین در حضور بایژل باشد. از آنجا که عامل اصلی کشش‌پذیری، جابه‌جایی ماتریکس پاراکازئین است، هیدراتاسیون بیشتر کاپا-کازئین امکان لغزش بهتر لایه‌های ماتریکسی را در برابر تنش حرارتی فراهم می‌کند (Sheehan & Guinee, 2004). در مطالعه‌ای دیگر، استفاده از ترانس‌گلوتامیناز و پلی‌ساکاریدها در فرمولاسیون پنیر موزارلا نشان داد که کشش‌پذیری شدیداً تحت تأثیر انحلال‌پذیری پروتئین قرار دارد و پنی‌رهایی با ساختار متراکم‌تر، کشش‌پذیری کمتری از خود نشان می‌دهند (Li *et al.*, 2018). یافته‌های بای و همکاران (Bi *et al.*, 2016) برخلاف نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد که جایگزینی چربی با نشاسته مقاوم و اینولین در پنیر تقلیدی منجر به کاهش کشش‌پذیری می‌شود.

جدول ۳. ویژگی‌های رنگی و عملکردی نمونه‌ها

Table 3. Color and functional properties samples

نمونه	رنگ	پس دادن روغن (%)	کشش پذیری (%)
Sample	Color	Oil-off (%)	Stretchability (%)
	a^*		
P0	$27/95 \pm 0.07^a$	13.58 ± 0.60^a	37.30 ± 6.30^c
P25	$31.67 \pm 0/12^b$	12.32 ± 0.21^b	52.70 ± 9.86^b
P50	$33/32 \pm 0/22^{bc}$	10.56 ± 0.32^c	60.10 ± 8.73^{ab}
P75	$34.48 \pm 0/00^c$	8.54 ± 0.58^d	67.90 ± 7.54^a
P100	$34/58 \pm 0/11^c$	7.15 ± 0.06^e	52.00 ± 12.56^b

ارزیابی حسی

اثر درصد جایگزینی چربی با بایژل بر ویژگی‌های ظاهری پنیر پیتزای پروسس نشان داد که افزایش ارزیابی حسی، ظاهری نمونه‌ها ندارد ($p < 0.05$). بر اساس نظر ارزیابان، نمونه حاوی ۲۵ درصد جایگزینی چربی،

چربی بیشتری روی سطح خود نشان داد، که این مشاهده با نتایج آزمون پس‌دهی چربی نیز مطابقت دارد. بررسی اثر جایگزینی سطوح مختلف بایزل به‌عنوان چربی نشان داد که افزایش سطح جایگزینی تا ۷۵ درصد باعث کاهش معنی‌دار در عطر و طعم خامه‌ای نمونه‌ها نمی‌شود. با این حال، نمونه شاهد همچنان از نظر عطر و طعم امتیاز بالاتری نسبت به سایر نمونه‌ها کسب کرد. افزایش جایگزینی چربی با بایزل منجر به افزایش زمان جویده شدن در دهان شد که این امر موجب ایجاد تفاوت معنی‌دار بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۱۰۰ درصد بایزل گردید. با این حال، تا سطح ۷۵ درصد جایگزینی، تفاوت معنی‌داری در احساس دهانی گزارش نشد. نتایج حاصل از ارزیابی پذیرش کلی نیز نشان داد که بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲۵ درصد جایگزینی بایزل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. با این حال، امتیاز پذیرش کلی به‌تدریج با افزایش سطح جایگزینی چربی کاهش یافت.

جدول ۴. ارزیابی حسی نمونه‌ها

Table 5. Sensory evaluation of the samples

نمونه	ظاهر	عطر و طعم	احساس دهانی	پذیرش کلی
Sample	Appearance	Flavor	Mouthfeel	Acceptability
P0	8.75 ± 0.95 ^a	8.62 ± 0.47 ^a	9.25 ± 0.50 ^a	9.00 ± 0.00 ^a
P25	7.00 ± 0.00 ^b	8.25 ± 0.28 ^a	8.00 ± 0.81 ^{ab}	8.50 ± 0.57 ^{ab}
P50	8.25 ± 0.50 ^a	7.62 ± 0.47 ^{ab}	7.75 ± 1.50 ^b	7.25 ± 0.50 ^b
P75	8.50 ± 0.57 ^a	7.50 ± 1.29 ^{ab}	7.50 ± 0.57 ^b	7.01 ± 1.44 ^b
P100	8.00 ± 0.00 ^a	6.50 ± 1.22 ^b	7.00 ± 0.81 ^b	7.00 ± 1.41 ^b

نتیجه‌گیری
در این پژوهش، بایزل تهیه شده از مخلوط هیدروژل گوار و زانتان با اولئوژل مونو گلیسرید و دی گلیسرید در فرمولاسیون پنیر پیتزای پروسس به عنوان جایگزین خامه در سطوح مختلف ارزیابی گردید. استفاده از سطوح مختلف بایزل درصد ترکیبات تشکیل دهنده پنیر پیتزای پروسس را به‌شدت تحت تأثیر قرار داد. افزایش میزان بایزل در فرمولاسیون باعث افزایش میزان رطوبت و کاهش مقدار پروتئین شد که متعاقباً باعث به‌دست آمدن پنیرهایی با بافت نرم‌تر، چسبندگی و کشش پذیری بیشتر، ویژگی‌های ذوب پذیری متفاوت و کاهش پس دادن روغن گردید. نمونه با ۱۰۰ درصد جایگزینی خامه دارای بیشترین میزان رطوبت، فعالیت آبی، چسبندگی، تغییرات رنگ و ویژگی‌های حسی نسبت به نمونه شاهد بود. جایگزینی خامه پنیر پیتزا پروسس در سطح ۷۵ درصد با بایزل، نسبت به نمونه شاهد، تغییرات چشمگیری در ویژگی‌های سفتی، روشنایی عطر و طعم و احساس دهانی ایجاد نشد. پنیر پیتزای حاصل از بایزل در سطح ۷۵ درصد دارای بیشترین میزان کشش‌پذیری و کم‌ترین میزان پس دادن روغن بود و این عامل از نظر کیفی بسیار مطلوب است. این بررسی نشان داد استفاده از بایزل به عنوان جایگزین چربی در سطح ۷۵ درصد در فرمولاسیون پیتزا، علاوه بر کاهش میزان مصرف اسیدهای چرب اشباع می‌تواند باعث بهبود کیفیت محصول نهایی گردد.

تعارض منافع

نویسندگان تعارض منافع اعلام نکرده‌اند.

منابع

- Abdolmaleki, K., Alizadeh, L., & Nayeibzadeh, K. (2019). Oleogel production based on binary and ternary mixtures of sodium caseinate , xanthan gum , and guar gum : Optimization of hydrocolloids concentration and drying method. July, 1–10. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12469>
- AK, M. M., & GUNASEKARAN, S. (1995). Measuring Elongational Properties of Mozzarella Cheese. *Journal of Texture Studies*, 26(2), 147–160. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1995.tb00790.x>
- Authors, V. (1984). DigitalCommons @ USU Proceedings from the 21st Annual Marschall Invitational Cheese Seminar 1984.
- Banville, V., Morin, P., Pouliot, Y., & Britten, M. (2013). Physical properties of pizza Mozzarella cheese manufactured under different cheese-making conditions. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4804–4815. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6314>
- Behera, B., Dey, S., Sharma, V., & Pal, K. (2015). Rheological and Viscoelastic Properties of Novel Sunflower Oil-Span 40-Biopolymer–Based Bigels and Their Role as a Functional Material in the Delivery of Antimicrobial Agents. 34(2), 1–10. <https://doi.org/10.1002/adv.21488>
- Behera, Sagiri, S. S., Singh, V. K., Pal, K., & Anis, A. (2014). Mechanical properties and delivery of drug/probiotics from starch and non-starch based novel bigels: A comparative study. *Standardization News*, 66(9–10), 865–879. <https://doi.org/10.1002/star.201400045>
- Bemer, H. (2021). Processing development for the production of low-fat oleogel cream cheese products. *Nuevos Sistemas de Comunicación e Información*, 2013–2015.
- Bemer, H. L., Limbaugh, M., Cramer, E. D., Harper, W. J., & Maleky, F. (2016). Vegetable organogels incorporation in cream cheese products. *Food Research International*, 85, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.016>
- Bi, W., Zhao, W., Li, D., Li, X., Yao, C., Zhu, Y., & Zhang, Y. (2016). Effect of Resistant Starch and Inulin on the Properties of Imitation Mozzarella Cheese. *International Journal of Food Properties*, 19(1), 159–171. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1013634>
- Bolandi, M., Pirani, S. , Pasha, R., Beik Mohammadi, M. (2014). Aroushe cheese: physicochemical, reological, organoleptic and microstructure properties. *Iran Food Science and Industry*. https://fsct.modares.ac.ir/rdsm_jarticle_list.php?sid=1&slc_lang=fa&jart_id=2014
- Bollom, M. A., Clark, S., & Acevedo, N. C. (2020). Development and characterization of a novel soy lecithin-stearic acid and whey protein concentrate bigel system for potential edible applications. *Food Hydrocolloids*, 101, 105570. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105570>
- Bunka, F., & Pavlínek., V. (2007). EFFECT OF 1-MONOGLYCERIDES ON VISCOELASTIC PROPERTIES OF PROCESSED CHEESE F . Bunka V . Pavlínek J . Hrab 9 , O . Rop , R . Janiš , and J . Krej 7 í. August 2006, 819–828. <https://doi.org/10.1080/10942910601113756>
- Černíková, M., Buňka, F., Pospiech, M., Tremlová, B., Hladká, K., Pavlínek, V., & Březina, P. (2009). Replacement of traditional emulsifying salts by selected hydrocolloids in processed cheese production. 1997. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.012>
- Dai, S., Corke, H., & Shah, N. P. (2016). Utilization of konjac glucomannan as a fat replacer in low-fat and skimmed yogurt. *Journal of Dairy Science*, 99(9), 7063–7074. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11131>
- Dai, S., Jiang, F., Corke, H., & Shah, N. P. (2018). Physicochemical and textural properties of mozzarella cheese made with konjac glucomannan as a fat replacer. *Food Research International*, 107, 691–699. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.069>
- Dai, S., Jiang, F., Shah, N. P., & Corke, H. (2019). Functional and pizza bake properties of Mozzarella cheese made with konjac glucomannan as a fat replacer. *Food Hydrocolloids*, 92(800), 125–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.045>

- Dimitreli, G., & Thomareis, A. S. (2007). Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1364–1373. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.043>
- Farahmandfar, R., Tehrani, M. M., Razavi, S. M. A., & Najafi, M. B. H. (2011). Effect of trisodium citrate concentration and soy cheese on meltability of pizza cheese. In *International Journal of Food Properties* (Vol. 14, Issue 4, pp. 697–707). <https://doi.org/10.1080/10942910903367621>
- Felix da Silva, D., Barbosa de Souza Ferreira, 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 Hydrocolloids*, 60, 308–316. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.034>
- Giha, V., Ordoñez, M. J., & Villamil, R. A. (2021). How does milk fat replacement influence cheese analogue microstructure, rheology, and texture profile? *Journal of Food Science*, 86(7), 2802–2815. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15799>
- Gulzar, N., Sameen, A., Rafiq, S., Huma, N., & Murtaza, M. S. (2020). Influence of mozzarella and cheddar cheese blending on baking performance , viscosity and microstructure of pizza cheese blends. 30(1), 212–218.
- Hassanien, E. M. A. E.-W. and M. F. R. (2018). Chemical, rheological and sensory characteristics of processed cheese spread analogues. *Carpathian journal of food science and technology*.
- Hennelly, P. J., Dunne, P. G., O’Sullivan, M., & O’Riordan, E. D. (2006). Textural, rheological and microstructural properties of imitation cheese containing inulin. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 75, Issue 3, pp. 388–395). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.023>
- Huang, H., Hallinan, R., & Maleky, F. (2018). Comparison of different oleogels in processed cheese products formulation. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(11), 2525–2534. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13846>
- Imm, J. Y., Oh, E. J., Han, K. S., Oh, S., Park, Y. W., & Kim, S. H. (2003). Functionality and Physico-Chemical Characteristics of Bovine and Caprine Mozzarella Cheeses During Refrigerated Storage. *Journal of Dairy Science*, 86(9), 2790–2798. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73876-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73876-4)
- Lee, S. K., Klostermeyer, H., & Anema, S. G. (2015). Effect of fat and protein-in-water concentrations on the properties of model processed cheese. *International Dairy Journal*, 50, 15–23. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.06.001>
- Li, H., Liu, Y., Sun, Y., Li, H., & Yu, J. (2018). Properties of polysaccharides and glutamine transaminase used in mozzarella cheese as texturizer and crosslinking agents. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.011>
- Li, H., Yu, H., Liu, Y., Wang, Y., Li, H., & Yu, J. (2019). The use of of inulin, maltitol and lecithin as fat replacers and plasticizers in a model reduced-fat mozzarella cheese-like product. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5586–5593. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9835>
- Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2008). Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(9), 1581–1592. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01616.x>
- Ma, X., Balaban, M. O., Zhang, L., Emanuelsson-Patterson, E. A. C., & James, B. (2014). Quantification of pizza baking properties of different cheeses, and their correlation with cheese functionality. *Journal of Food Science*, 79(8), 1528–1534. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12540>
- Macdougall, P. E., Ong, L., Palmer, M. V., & Gras, S. L. (2019). The microstructure and textural properties of Australian cream cheese with differing composition. *International Dairy Journal*, 99, 104548. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104548>
- McCarthy, C. M., Wilkinson, M. G., Kelly, P. M., & Guinee, T. P. (2015). Effect of salt and fat reduction on the composition, lactose metabolism, water activity and microbiology of Cheddar cheese. *Dairy Science and Technology*, 95(5), 587–611. <https://doi.org/10.1007/s13594-015-0245-2>

- Moghiseh, N., Arianfar, A., Salehi, E. A., & Rafe, A. (2021). Effect of inulin/kefiran mixture on the rheological and structural properties of mozzarella cheese. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191(July), 1079–1086. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.154>
- Motevalizadeh, E. (2017). Optimization of physicochemical and textural properties of pizza cheese fortified with soybean oil and carrot extract (p. 17). <https://doi.org/10.1002/sn3.563>
- Mounsey, J. S., & O’Riordan, E. D. (2001). Characteristics of Imitation Cheese. *Journal of Food Science*, 66(4), 586–591.
- Naderi, M. , Farmani, J, R. (2017). Structured sunflower oil: the evaluation of Crystallization kinetic and microstructure. *Iran Food Science and Industry*. https://fsct.modares.ac.ir/rdsm_jarticle_list.php?sid=1&slc_lang=fa&jart_id=1390
- Noshad, M., Hojjati, M., Hassanzadeh, M., Zadeh-Dabbagh, R., & Khani, M. H. (2022). Edible Utilization of Xanthan-guar Oleogels as a Shortening Replacement in Sponge Cake: Physicochemical Properties. *Journal of Chemical Health Risks*, 12(2), 255–264. <https://doi.org/10.22034/jchr.2020.1908257.1169>
- Pehlivanoglu, H., Demirci, M., Toker, O. S., Konar, N., Karasu, S., & Sagdic, O. (2018). Oleogels, a promising structured oil for decreasing saturated fatty acid concentrations: Production and food-based applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(8), 1330–1341. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1256866>
- Pere R. Ramel, A. G. M. P. (2018). Processed cheese as a polymer matrix composite: A particle toolkit for the replacement of milk fat with canola oil in processed cheese. *Food Research International*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.019>
- Ran Feng , Sylvain Barjon , Frans W.J. van den Berg , Søren Kristian Lillevang b, L. A. (2021). Effect of residence time in the cooker-stretcher on mozzarella cheese composition, structure and functionality. *Journal of Food Engineering*.
- Rodríguez-hern, A. K. (2021). Rheological properties of ethyl cellulose-monoglyceride-candelilla wax oleogel vis-a-vis edible shortenings. 252(February 2020). <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117171>
- Samui, T., Goldenisky, D., Rosen-Kligvasser, J., & Davidovich-Pinhas, M. (2021). The development and characterization of novel in-situ bigel formulation. *Food Hydrocolloids*, 113, 106416. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106416>
- Sattar, M. U., Sameen, A., Huma, N., & Shahid, M. (2015). Exploit Fat Mimetic Potential of Different Hydrocolloids in Low Fat Mozzarella Cheese. 3(8), 518–525. <https://doi.org/10.12691/jfnr-3-8-7>
- Shaikh, H. M., Anis, A., Poulouse, A. M., Madhar, N. A., & Al-Zahrani, S. M. (2022). Development of Bigels Based on Date Palm-Derived Cellulose Nanocrystal-Reinforced Guar Gum Hydrogel and Sesame Oil/Candelilla Wax Oleogel as Delivery Vehicles for Moxifloxacin. *Gels*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/gels8060330>
- Shariati, F., Azadmard-Damirchi, S., Shirani Rad, A. H. (2017). Oleogel production from canola oil with mixture of ethylcellulose and polyglycerol polyricinoleate. *Iran Food Science and Industry*. https://fsct.modares.ac.ir/rdsm_jarticle_list.php?sid=1&slc_lang=fa&jart_id=1332
- Sheehan, J. J., & Guinee, T. P. (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. In *International Dairy Journal* (Vol. 14, Issue 2, pp. 161–172). [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00167-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00167-5)
- Singh, V. K., Banerjee, I., Agarwal, T., Pramanik, K., Bhattacharya, M. K., & Pal, K. (2014). Guar gum and sesame oil based novel bigels for controlled drug delivery. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 123, 582–592. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2014.09.056>
- Sołowiej, B., Cheung, I. W. Y., & Li-Chan, E. C. Y. (2014). Texture, rheology and meltability of processed cheese analogues prepared using rennet or acid casein with or without added whey proteins. *International Dairy Journal*, 37(2), 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.03.003>
- Sołowiej, B., Glibowski, P., Muszyński, S., Wydrych, J., Gawron, A., & Jeliński, T. (2015). The effect of fat replacement by inulin on the physicochemical properties and microstructure of acid casein processed

- cheese analogues with added whey protein polymers. *Food Hydrocolloids*, 44(February 2015), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.08.022>
- Tunick, M. H. (1994). Effects of Homogenitation and Proteolysis on Free Oil in Mozzarella Cheese. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2487–2493. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77190-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77190-3)
- Tunick, M. H., Mackey, K. L., Shieh, J. J., Smith, P. W., Cooke, P., & Malin, E. L. (1993). Rheology and microstructure of low-fat Mozzarella cheese. In *International Dairy Journal* (Vol. 3, Issue 7, pp. 649–662). [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(93\)90106-A](https://doi.org/10.1016/0958-6946(93)90106-A)
- Zampouni, K., Mouzakitis, C. K., Lazaridou, A., Moschakis, T., & Katsanidis, E. (2023). Physicochemical properties and microstructure of bigels formed with gelatin and κ -carrageenan hydrogels and monoglycerides in olive oil oleogels. *Food Hydrocolloids*, 140(November 2022), 108636. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108636>
- Zhao, W., Wei, Z., & Xue, C. (2022). Recent advances on food-grade oleogels: Fabrication, application and research trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(27), 7659–7676.
- Zisu, B., & Shah, N. P. (2005). Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheeses in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat replacers, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*, 15(6–9), 957–972. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2004.09.014>

Original Research

Effect of Replacing Cream with Bigel on the Physicochemical and Textural Properties of Processed Pizza Cheese

Ali Ebrahimzade^{*1}, Maryam Ghasemi², Mostafa Mazaheri Tehrani³, Mohammad Hossein Haddad Khodaparast⁴

* Corresponding Author: Ferdowsi University Mashhad, Khorasan Razavi, Mashhad, Iran.

Email: ali.ebrahimzadeh@mail.um.ac.ir

Received: 3 June 2024 Accepted: 26 July 2025

[http://doi: 10.22092/fooder.2025.365834.1393](http://doi.org/10.22092/fooder.2025.365834.1393)

Abstract

Solid fats play a crucial role in determining the quality and sensory attributes of food products. However, their use has raised health concerns due to their high content of saturated and trans fatty acids. Consequently, food manufacturers are seeking strategies to reduce fat content without compromising the final product quality. In this study, bigels composed of guar and xanthan gum-based hydrogels and soybean oil oleogels containing mono- and diglycerides were incorporated into processed pizza cheese formulations as cream substitutes at levels of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The physicochemical and functional properties of the cheese samples—including hardness, adhesiveness, rheological behavior, meltability, and stretchability—were evaluated. Results showed that increasing the level of bigel substitution led to a reduction in protein content, which in turn decreased hardness, elastic (G') and viscous (G'') moduli, and increased adhesiveness compared to the control. The incorporation of bigel significantly improved the stretchability of the cheese samples. The 75% bigel-substituted sample demonstrated comparable hardness to the control, along with superior stretchability and lower oil release. Overall, the findings suggest that up to 75% of cream can be successfully replaced with bigels in processed pizza cheese formulations without negatively affecting key quality attributes.