Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Food Processing and Preservation Journal

Print ISSN: 2423-3544
Online ISSN: 2423-3803

Iranian Association of Food Scientists and Technologists

Effect of Thermo-mechanical process and storage conditions on textural and functional characteristics of low-fat mozzarella prepared with fat substitutes

Tahereh Jahani[1], Mahdi Kashaninejad[2*], Aman-Mohammad Ziaifar[3], Mahmoodreza Golzarian[4]

[1] PhD graduate, Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2] Professor, Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Email: kashani@gau.ac.ir
[3] Professor, Department of Food Process Engineering, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[4] Associate Professor, Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-04-12
Revised: 2023-06-07
Accepted: 2023-06-08

Keywords:
mozzarella cheese
low-fat
thermo-mechanical process
textural properties
functional characteristics

ABSTRACT

Background and objectives: Mozzarella is a soft cheese that turns to a fibrous and elastic texture during thermo-mechanical processes. Changing various functions, including temperature, stretching time and screw speed, along with the storage condition, could impact on textural and functional properties. These properties are more critical in low-fat mozzarella due to the fat content. Therefore, the compensating of this defect is one of the most important objects in low-fat mozzarella cheese production. According to studies, in addition to the possibility of adding fat-imitating compounds, changing the cooking and stretching conditions has a great impact on improving these characteristics.

Materials and methods: Low-fat mozzarella cheese with 6% fat were produced by pre-acidification and using fat-imitating compounds. Keeping constant the water temperature and screw speed in the thermo mechanical section, the effect of stretching time in hot water (2 and 8 minutes), storage temperature, addition of citric acid, whey protein concentrate and sodium caseinate on moisture, fat content, hardness, adhesiveness, springiness, cohesiveness, gumminess, chewiness, melt ability and free oil formation were investigated after a week of storage at 4° and -18°C. Moisture based on the oven method and fat were determined by Gerber methods. Texture characteristics such as hardness, stickiness, cohesiveness, springiness, gum state, and chewability were analyzed by a texture analysis, and functional characteristics were measured by standard experiments. One of samples with high-fat or low-fat without any additives was considered as a control sample. All treatments were analyzed by a general linear model and univariate as a completely randomized factorial design through IBM SPSS Statistics. 26 at a 5% confidence level.

Results: by increasing the fat content, the fat loss was increased in hot water in the thermomechanical section. The moisture content of

low-fat mozzarella was significantly increased by addition of whey protein concentrates, and melt ability was also improved in the same samples. By changing the stretching time from 2 to 8 minutes, hardness, springiness, gumminess, cohesiveness and chew ability were increased. However, the adhesiveness decreased while free oil remained unchanged ($P<0.05$). Addition of sodium caseinate reduced the hardness and adhesiveness. At the same time, storage at frozen condition caused a reduction in moisture content, an increasing in hardness, and the accumulation of free oil due to structural damage in the cheese.

Conclusion: All textural and functional characteristics were significantly affected by thermo-mechanical processes and formulation changes. Due to the reduction in thermo-mechanical intensity, all textural properties except free-oil were improved. The addition of whey protein concentrates improved melt ability, and sodium caseinate produced softer cheese. However, except of increasing the formation of free oil and hardness, freezing did not effect on other characteristics. In general, it could be possible to produce low-fat mozzarella with more textural and functional characteristics by optimizing changes in thermo-mechanical properties.

Cite this article: Jahani, T., Kashaninejad, M., Ziaifar, A.M., Golzarian, M.R. 2024. Effect of Thermo-mechanical process and storage conditions on textural and functional characteristics of low-fat mozzarella prepared with fat substitutes. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(1), 49-66.

"Authors retain the copyright and full publishing rights"

DOI: 10.22069/fppj.2023.21251.1752
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

فرآوری و نگهداری مواد غذایی
شاپا چاپی: ۳۵۴۴-۲۴۲۳
شاپا الکترونیکی: ۳۸۰۳-۲۴۲۳

تأثیر فرایند حرارتی– مکانیکی و شرایط نگهداری بر ویژگی‌های بافتی و عملکردی موزارلای کم‌چرب تهیه‌شده با جانشین‌های چربی

طاهره جهانی[۱]، مهدی کاشانی‌نژاد[۲*]، امان‌محمد ضیائی فر[۳]، محمود رضا گلزاریان[۴]

[۱] دانش‌آموخته دکتری مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۲] استاد گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، رایانامه: kashani@gau.ac.ir
[۳] استاد گروه مهندسی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۴] دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی–پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۸

واژه‌های کلیدی:
پنیر موزارلا
کم‌چرب
فرایند حرارتی_مکانیکی
ویژگی‌های بافتی
خصوصیات عملکردی

چکیده

سابقه و هدف: موزارلا پنیر نرمی است که طی عملیات مکانیکی_حرارتی به حالت فیبری و کشسانی درمی‌آید. تغییر عوامل مختلف شامل دما، زمان کشسانی و سرعت مارپیچ در این مرحله در کنار شرایط نگهداری بر ویژگی‌های بافتی و عملکردی محصول تأثیرگذار است. این ویژگی‌ها در موزارلای کم‌چرب به دلیل نقصان چربی، حیاتی‌تر است. بنابراین یکی از مهم‌ترین اهداف در تولید پنیر موزارلای کم‌چرب جبران این نواقص است. بر اساس مطالعات، علاوه بر افزودن ترکیبات تقلیدکننده چربی، تغییر فرایند در بخش پخت و کشسانی پنیر موزارلا تأثیر بسزایی در بهبود این ویژگی‌ها دارد.

مواد و روش‌ها: پنیر موزارلای کم‌چرب با ۶٪ چربی با پیش‌اسیدی کردن و استفاده از ترکیبات تقلیدکننده چربی تولید شد. با ثابت نگه‌داشتن دمای آب پخت و دور مارپیچ در بخش فرایند مکانیکی_حرارتی، تأثیر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ (۲ و ۸ دقیقه)، دمای نگهداری، افزودن اسیدسیتریک، کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و کازئینات سدیم بر رطوبت، چربی، سختی، چسبندگی، فنریت، انسجام، حالت صمغی، قابلیت جویدن، ذوب‌پذیری و تشکیل روغن آزاد در پنیر موزارلا، یک هفته بعد از نگهداری در دمای ۴° و ۱۸°C– موردبررسی قرار گرفت. رطوبت با روش آون تحت خلأ و چربی توسط روش ژربر تعیین شدند. مشخصات بافتی با استفاده از دستگاه تجزیه‌وتحلیل بافت و ویژگی‌های عملکردی توسط آزمون‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. از نمونه‌های تولیدی یک نمونه پرچرب و یک نمونه کم‌چرب بدون هیچ‌گونه افزودنی به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با روش GLM و تجزیه‌وتحلیل واریانس تک متغیره در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics. 26 در سطح معنی‌داری α=۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: با افزایش میزان چربی، اتلاف چربی در آب پخت در بخش عملیات حرارتی–مکانیکی افزایش یافت. رطوبت موزارلای کم‌چرب به طور معنی‌داری تحت تأثیر افزودن کنسانتره

پروتئینی آب‌پنیر افزایش یافت و به دنبال آن قابلیت ذوب نیز در نمونه‌های مشابه افزایش نشان داد. سختی، فنریت، حالت صمغی، انسجام و قابلیت جویدن در اثر تغییر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه، افزایش یافت. درحالی‌که چسبندگی نمونه‌ها کاهش یافت ($P < ۰/۰۵$)؛ اما تشکیل روغن آزاد تفاوت چندانی نداشت. افزودن کازئینات سدیم سبب کاهش سختی و چسبندگی شد. درعین‌حال نگهداری در حالت انجماد به سبب آسیب ساختاری در پنیر باعث کاهش رطوبت، افزایش سختی و تشکیل روغن آزاد گردید.

نتیجه‌گیری: خصوصیات بافتی و عملکردی به طرز معنی‌داری تحت تأثیر فرایند حرارتی_مکانیکی و تغییرات فرمولاسیون قرار گرفتند. تمام ویژگی‌ها به‌جز روغن آزاد در اثر کاهش شدت عملیات حرارتی_مکانیکی بهبود یافتند. کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر قابلیت ذوب را بهبود بخشید و کازئینات سدیم پنیر نرم‌تری را تولید کرد. در حالی‌که انجماد به‌جز در افزایش تشکیل روغن آزاد و سختی، تأثیر چندانی بر سایر ویژگی‌های نداشت. به طور کلی با تغییر بهینه در فرایند مکانیکی_حرارتی می‌توان پنیر موزارلای کم‌چرب با ویژگی‌های بافتی و عملکردی مناسب‌تری تولید نمود.

استناد: جهانی، طاهره؛ کاشانی‌نژاد، مهدی؛ ضیائی‌فر، امان‌محمد؛ گلزاریان، محمودرضا. (۱۴۰۳). تأثیر فرایند حرارتی- مکانیکی و شرایط نگهداری بر ویژگی‌های بافتی و عملکردی موزارلای کم‌چرب تهیه شده با جانشین‌های چربی. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶(۱)، ۶۶-۴۹.

CC BY

DOI: 10.22069/fppj.2023.21251.1752

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

"حق نشر و حقوق کامل انتشار برای نویسندگان محفوظ است"

مقدمه

موزارلا، پنیری نرم از خانواده پاستافیلاتاست[1] که به‌صورت مرسوم، با کشسانی در آب داغ عمل‌آوری می‌شود. کشش یک فرایند حرارتی_مکانیکی است که اعمال انرژی مکانیکی به شکل تنش برشی را در برمی‌گیرد و طی آن، آبگیری کازئین افزایش و نسبت کلسیم به کازئین کاهش می‌یابد. درنتیجه لخته حالت پلاستیکی به خود می‌گیرد و پنیر موزارلا به دست می‌آید. طی این فرایند میزان چربی در ماده خشک طی این فرایند، ۴۵-۳۰ (٪) وزنی افت می‌کند. به همین علت، به طورمعمول، نسبت کازئین به چربی را با افزودن ترکیبات جامد بدون چربی افزایش می‌دهند و سپس تولید را آغاز می‌کنند. ویژگی‌های بافتی و عملکردی موزارلا تحت تأثیر عوامل متعدد و مهمی از قبیل چربی، رطوبت، مدت‌زمان ماندگاری، شرایط پخت، ترکیب اولیه شیر، میزان کلسیم پنیر روش تولید می‌باشد و زمانی که رطوبت و چربی در ماده خشک موزارلا بالا می‌رود، این ویژگی‌ها بهبود می‌یابند (۱،۲، ۳، ۴). موزارلا تازه با قوامی سفت و الاستیک ذوب می‌شود و خاصیت ذوب و کشسانی محدودی دارد. پس از گذشت یک الی سه هفته نگهداری در یخچال، در هنگام حرارت دهی به سهولت جریان یافته و بهتر ذوب می‌شود. مطالعات، نشان داده است که سرعت‌بالای مارپیچ بخش پخت باعث افزایش محتوای پروتئین و سختی پنیر و کاهش محتوای چربی، رطوبت، قابلیت ذوب و تشکیل روغن آزاد می‌شود. بااین‌حال شکل‌گیری ساختار پنیر در بخش پخت، عمدتاً توسط دمای پخت و نیروهای برشی اعمال‌شده در طول فرآیند تعیین می‌شود که تحت تأثیر دمای آب و سرعت مارپیچ، مدت‌زمان ماندن لخته در آب داغ و شرایط اعمال نیروی برشی بر روی لخته نیز قرار می‌گیرد (۵). تغییر در فرایندهای حرارتی_مکانیکی نیز بر ترکیب، از دست دادن مواد جامد و ریزساختار پنیر موزارلا تأثیر می‌گذارد. به‌طوری‌که افزایش سرعت مارپیچ بخش پخت پنیر و دمای مخزن در سیستم حرارتی پخت منجر به کاهش کلی رطوبت و چربی در ماده خشک موزارلا می‌شود. اگرچه برخی محققین مانند یو و گوناسکاران (۲۰۰۵)، مالوانی و همکاران (۱۹۹۷) و بنویل (۲۰۱۶)، ثابت کردند که افزایش دما و عملیات مکانیکی سبب افزایش فنریت موزارلا می‌شود. در عین حال، تغییر در عوامل سیستم پخت می‌تواند تأثیرات پیچیده‌ای داشته باشد. زیرا افزایش سرعت مارپیچ پخت، مدت‌زمان ماندگاری لخته در بخش عملیات مکانیکی_حرارتی و در عین حال دمای لخته را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش دما و ماند لخته در بخش کشسانی اگرچه سبب حفظ رطوبت در درون ماتریکس پروتئین می‌شود، اما باعث از دست رفتن مواد جامد و آب آزاد در پنیر شده گلبول‌های چربی را درشت‌تر و تشکیل روغن آزاد را بیشتر می‌نماید (۶، ۷، ۸). اما یافته‌های فنگ و همکاران (۲۰۲۱)، با بررسی اثر عوامل یادشده در قالب ترکیبی از سرعت مارپیچ پخت و دمای مارپیچ نشان داد میان مدت زمان ماندن لخته در آب داغ یا مدت‌زمان اعمال نیروی برشی و ویژگی‌ها پنیر شامل اندازه گلبول‌های چربی، قابلیت ذوب، تشکیل روغن آزاد و قهوه‌ای‌شدن همبستگی غیرخطی وجود دارد و اندازه گلبول چربی عامل تعیین‌کننده‌ای برای خروج روغن آزاد از پنیر نیست (۹). بااین‌وجود، مریل و همکاران (۱۹۹۴)، ادعا کردند که بهترین روش را برای حفظ رطوبت در موزارلای کم‌چرب، کاهش سختی و لاستیکی بودن آن، پیش‌اسیدی کردن شیر کاهش دمای پاستوریزاسیون و کشسانی لخته به مدت ۲ دقیقه در آب پخت است. هنگامی‌که چربی پنیر کاهش می‌یابد، ویژگی‌های بافتی و خصوصیات عملکردی آن در هنگام پخت بر روی پیتزا تحت تأثیر

[1] Pasta filata

قرار می‌گیرد (۱۰). بااین‌وجود، اصلاح روش‌های تولید، افزودن جایگزین‌های چربی به لخته، افزودن کشت آغازگر اگزوپلی ساکارید به شیر و پیش اسیدی کردن با اسیدهای خوراکی به منظور بهبود خواص بافتی و عملکردی پنیر کم‌چرب توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج رضایت‌بخشی به‌دست‌آمده است (۲، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۶). با توجه به نقش چربی در افزایش خطر چاقی، بیماری‌های قلبی‌عروقی و سرطان، مصرف‌کنندگان روز به روز به مصرف محصولات لبنی کم‌چرب علاقمندتر می‌شوند. جانشین‌های چربی که با هدف کاهش مصرف چربی به محصولات لبنی اضافه می‌شوند، می‌توانند بر پایه کربوهیدرات، پروتئین، چربی و یا ترکیبی از آنها باشند. این ترکیبات با حفظ رطوبت به بهبود ویژگی‌های بافتی و عملکردی، بهبود کارائی پخت، رنگ و بازده محصول کمک می‌کنند و بسیاری از این ترکیبات با موفقیت در بهبود خواص فیزیکی و کام‌پذیری محصولات لبنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۱۷، ۱۸). ازآنجایی‌که تاکنون تأثیر فرایند حرارتی_مکانیکی، تنوع در فرمولاسیون و شرایط نگهداری به عنوان متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های بافتی (سختی، چسبندگی انسجام، فنریت، حالت صمغی، قابلیت جویدن) و خصوصیات عملکردی (ذوب پذیری و تشکیل روغن آزاد) در پنیر موزارلای کم‌چرب بررسی نشده است، در این مطالعه با ثابت نگه‌داشتن دما و سرعت مارپیچ در بخش عملیات حرارتی_مکانیکی، اثر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و تغییر در فرمولاسیون با افزودن ترکیبات جانشین‌شونده چربی بر رطوبت، چربی، ویژگی‌ها بافتی و عملکردی بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

تولید پنیر موزارلا: تولید پنیر بر اساس روش اصلاح‌شده آه و تاگالپالوار (۲۰۱۷)، مک‌ماهون و همکاران (۱۹۹۶) و جهانی و آذر (۲۰۱۶)، با استفاده از آغازگر ترموفیل «*استرپتوکوکوس ترموفیلوس*[1] و *لاکتوباسیلوس هلوتیکوس*[2]» (شرکت کریستین‌هانسن دانمارک) و آنزیم رنت میکروبی کالزاکلمنته ایتالیا[3] بر پایه کپک موکور[4] در محل شرکت شیر پاستوریزه پگاه گلستان انجام شد (۱،۱۲، ۱۳). ۹ بهر مختلف (مطابق فرمولاسیون‌های جدول ۱)، جهت تولید پنیرهای موزارلای کم‌چرب و پرچرب در نظر گرفته شد. شیر پس چرخ با نسبت چربی به کازئین برابر با ۴:۲ برای تولید پنیرهای کم‌چرب تنظیم و به‌منظور جبران کاهش چربی و تقلید ویژگی‌های آن (gr/kg) ۰/۵ کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، ۰/۱ (٪) کازئینات سدیم و ۲۰(٪) اسیدسیتریک تا رسیدن به pH=۵/۸ در فرمولاسیون‌های مختلف افزوده شد (۱۵). یک نمونه پنیر با شیر ۳ (٪) چربی و خامه هموژنیزه شده به‌عنوان شاهد پرچرب و یک نمونه پنیر با شیر پس چرخ بدون هیچ‌گونه افزودنی به‌عنوان شاهد کم‌چرب در نظر گرفته شد. پس از رسیدن به pH=۵/۱، در سرعت ثابت مارپیچ (حدود ۱۰RPM–۸) و دمای ثابت آب داغ، یک دسته از لخته‌های پنیر در مدت‌زمان ۸ الی ۱۰ دقیقه (۳، ۹، ۱۲) و دسته دیگر در مدت‌زمان ۲ دقیقه (۱۰) در آب داغ ۸۲°C ورز داده شدند. سپس از ۳۶ نمونه پنیر، نیمی در دمای ۴°C و نیمی دیگر دیگر بلافاصله بعد از تولید در دمای ۱۸°C– منجمد و به مدت یک هفته نگهداری شدند (۱۹). این شرایط منعکس‌کننده فرآیندی است که اغلب در زنجیره تأمین رخ می‌دهد. شرایطی که پس از

[1] *Streptococcus thermophilus*
[2] *Lactobacillus helveticus*
[3] Calza 2700IMCU
[4] *Rhizomucor Miehei*

رفع انجماد توسط مشتری خرده‌فروش یا مصرف‌کننده ایجاد می‌شود (۲۰).

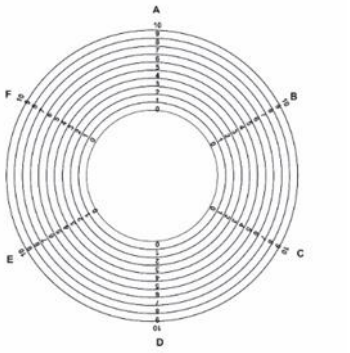
اندازه‌گیری چربی و رطوبت: با توجه به اینکه پنیر موزارلا به دلیل ماهیت فیبری و رشته‌ای، بافت یکنواخت و متوازنی ندارد، هر قالب پنیر به سه قسمت تقسیم و تمامی آزمایش‌ها برای هر بخش به‌صورت جداگانه انجام پذیرفت. محتوای چربی با روش اصلاح‌شده کیندستت و همکاران (۱۹۹۱)، به روش ژربر تعیین شد (۲۱). به‌منظور تعیین درصد رطوبت با کمک روش استاندارد آون خلاء ۳±۰/۵ گرم نمونه پنیر خردشده، توزین و درون آون با دمای ۱۰۲^{oC} به‌مدت ۲ ساعت قرار داده شد. پس از قرارگیری در دسیکاتور به‌مدت ۴۵ دقیقه، درصد رطوبت بر اساس درصد افت وزن محاسبه گردید (۲۲).

تجزیه و تحلیل مشخصات بافت (TPA): با استناد به روش اصلاح یافته Gimenez و همکاران (۲۰۲۳) و با کمک دستگاه تحلیل‌گر بافت موجود در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (A TA.XT Plus (kg, Stable Microsistem, UK)، ویژگی‌های بافتی تعیین شدند. قبل از انجام آزمون، نمونه‌های منجمد به مدت یک ساعت و نمونه‌های نگهداری شده در یخچال به مدت نیم ساعت در دمای محیط (۲۵^{oC}) جهت رسیدن به هم‌دمایی و تعادل قرار داده شد. از بخش‌های مختلف قالب گرد پنیر،۳ قطعه‌نمونه به اندازه‌های ۱/۵cm× ۲/۲cm × ۳/۴cm (طول، عرض، ضخامت) برداشت شد. در یک چرخه فشرده-سازی با دو بار تقلید گاز زدن و مدت زمان استراحت ۵ ثانیه‌ای بین آن‌ها، قطعات مکعبی پنیر دو بار تا ۳۰ درصد ارتفاع اولیه توسط یک پروب استوانه ای فولادی ضد زنگ (قطر ۳۶ میلی متر) با سرعت ۱ میلی متر بر ثانیه فشرده شدند و نیروی رهاساز روی ۱۵ گرم تنظیم شد. ویژگی‌های بافتی شامل سختی[1] (بیشترین نیرو در اولین چرخه فشرده‌سازی)، انسجام[2] (نسبت مساحت ناحیه گاز زدن مثبت دوم به مساحت ناحیه گاز زدن مثبت او)، چسبندگی[3] (ناحیه نیروی منفی در گاز زدن اول)، فنریت[4] (ارتفاعی که نمونه به آن بازگشت می‌کند) ، حالت صمغی[5] (حاصل‌ضرب سختی و میزان انسجام) و قابلیت جویدن[6] (حاصل ضرب حالت صمغی و فنریت) از نمودارهای مربوط به تجزیه‌وتحلیل بافت با استفاده از نرم‌افزار دستگاه (Exponent Version 6.1.4.0) به دست آمد. تجزیه‌وتحلیل بافت در سه تکرار انجام گردید. (۲۳).

ویژگی‌ها عملکردی: جهت تعیین ذوب‌پذیری[7] بر اساس روش اصلاح یافته ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، سه قطعه از یک قالب پنیر با قطر ۳/۵ سانتیمتر و ارتفاع ۱ سانتیمتر با قالب کاتر گرد، برش داده شد (۱۷). جهت تعیین مقیاس اندازه‌گیری از دوایر استاندارد روش *شرایبر*[8] که با نرم‌افزار اتوکد در مقیاس واقعی ترسیم شد، استفاده گردید (شکل ۱). نمونه‌ها در آون تجاری حرارتی به‌صورت همرفتی در دمای ۱۴۰ ^{oC} به مدت ۱۳ دقیقه جهت نمونه‌های پرچرب و به مدت ۱۰ دقیقه برای نمونه‌های کم‌چرب تا رسیدن به ذوب، بدون سوختگی یا چروکیدگی سطح نمونه، قرار گرفتند. سپس از نمونه‌ها با کمک دوربین دیجیتال Canon PowerShot SX40 تصویربرداری شد. پس از اسکن نمونه قبل و بعد از ذوب، تصویر مقیاس خاکستری و باینری با آستانه-گذاری انجام شد و با تقسیم نسبت سطح قبل و بعد، مساحت سطح ذوب نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزار

[1] Hardness
[2] Cohesiveness
[3] Adhesiveness
[4] Springiness
[5] Gumminess
[6] Chewiness
[7] Meltability
[8] Schreiber

Image J. 2.6، محاسبه گردید (۲۴). تشکیل روغن آزاد پس از تعیین چربی نهایی با بوتیرومتر ژربر و تقسیم آن بر ۲ محاسبه شد. کلیه آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام و جهت تحلیل بعدی ذخیره گردید (۱۷).



شکل ۱- مقیاس اندازه‌گیری آزمون شرایبر (قطر دایره وسط ۴۰mm است)

Figure 1- Schreiber test measurement scale (the diameter of the middle circle is 40mm)

تجزیه‌وتحلیل آماری

تأثیر شرایط مختلف تولید شامل مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری، همچنین تغییر در فرمولاسیون نمونه‌ها (افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، کازئینات و اسیدسیتریک) به‌عنوان متغیرهای مستقل بر روی رطوبت، چربی، ویژگی‌های بافتی (سختی، چسبندگی، فنریت، انسجام، حالت صمغی، قابلیت جویدن) و عملکردی (ذوب‌پذیری و تشکیل روغن آزاد) پنیر موزارلا به‌عنوان متغیرهای وابسته موردبررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با روش GLM و تجزیه‌وتحلیل واریانس تک متغیره در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics. 26 در سطح معنی‌داری α=۰/۰۵ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) صورت گرفت.

نتایج و بحث

آزمون‌های شیمیایی

محتوای چربی: نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس محتوای چربی پنیرهای تولیدی نشان داد مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر چربی موزارلا تأثیر معنی‌دار داشته‌اند؛ اما در زمان بررسی اثر متقابل هر یک از عوامل مذکور مشخص گردید که به‌جز تأثیر متقابل مدت‌زمان کشسانی و دمای نگهداری، اثر متقابل سایر عوامل بر یکدیگر معنی‌دار بود (P <۰/۰۵). در این مطالعه میانگین چربی در پنیر موزارلای کم‌چرب برابر ۵/۷۱٪ و در پنیر پرچرب برابر با ۲۲٪ به دست آمد. ازآنجایی که جهت تولید پنیر کم‌چرب، نسبت کازئین به چربی برابر با ۴:۲ تنظیم شده بود پیش‌بینی می‌گردید که محتوای چربی در پنیرهای کم‌چرب ۶٪ و در پنیرهای پرچرب ۲۴٪ باشد. نتایج مقایسه میانگین چربی در نمونه‌ها در جدول شماره (۱) به نمایش در آمده است. مطابق جدول مذکور، میانگین چربی در تمامی نمونه‌های پرچرب کمتر از ۲۴٪ و در اغلب نمونه‌های کم‌چرب، کمتر از ۶٪ می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد هر چه میزان چربی بیشتر شد، مقدار اتلاف آن در آب پخت در بخش کشسانی لخته افزایش یافته است. همچنین، اتلاف چربی در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و کازئینات سدیم، کمتر از نمونه شاهد کم‌چرب بود (P <۰/۰۵). همچنین در اثر فرایند مکانیکی_حرارتی و شرایط نگهداری، نمونه‌های

پرچرب و کم‌چرب نتایج یکسانی بروز ندادند. به‌نحوی‌که در نمونه‌های پرچرب (A و B)، در اثر افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه، کاهش قابل‌توجهی در میزان چربی رخ داد (P <۰/۰۵)؛ اما در نمونه‌های کم‌چرب این کاهش به صورت منظم قابل مشاهده نبود. این نتایج با یافته-های فنگ و همکاران (۲۰۲۱) همسو بود. زیرا آن‌ها در مطالعه‌ای بر روی موزارلای پرچرب دریافتند که افزایش مدت زمان ماندگاری لخته در بخش پخت و کشش سبب کاهش قابل توجه در میزان پروتئین و چربی شده و نسبت کلسیم به پروتئین را در پنیر افزایش می‌دهد (۹)؛ اما در این مطالعه، با ثابت نگهداشتن دمای آب و سرعت مارپیچ پخت، افزایش مدت‌زمان ماندن لخته از ۲ به ۸ دقیقه در بخش عملیات حرارتی_مکانیکی، تأثیر قابل توجهی بر چربی پنیر نشان نداد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزودن ترکیبات تقلیدکننده عملکرد چربی شامل WPC و کازئینات سدیم به پنیر کم‌چرب، به سبب تغییر در نسبت پروتئین و چربی، همچنین نسبت کلسیم به پروتئین بر حفظ چربی در بخش فرایند حرارتی_مکانیکی تأثیرگذار بوده است (P <۰/۰۵).

جدول ۱- مقایسه میانگین چربی در نمونه‌های پنیر موزارلا بر اساس تأثیر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ و دمای نگهداری

Table 1- Comparison of the Fat content in mozzarella cheese samples based on the effect of stretching time in hot water and storage temperature

زمان (8 دقیقه) Time (8min)		زمان (2 دقیقه) Time (2min)		کد Code	فرمولاسیون Formulation
-18°C	4°C	-18°C	4°C		
20.62 ^{Cb}	20.8 ^{Ca}	23.27 ^{Aa}	23.02 ^{Ba}	(A)	نمونه پرچرب (شاهد) High fat sample (Control)
21.92 ^{Aa}	20.13 ^{Ab}	21.46 ^{Ab}	21.03 ^{Ab}	(B)	نمونه پرچرب + اسید High fat sample +Acid
5.49 ^{Ae}	5.39 ^{Dd}	5.48 ^{Be}	5.41 ^{Cd}	(C)	نمونه کم‌چرب (شاهد) Low fat sample (Control)
5.953 ^{Ad}	5.86 ^{Ac}	5.923 ^{Ad}	5.85 ^{Ac}	(D)	نمونه کم‌چرب + اسید Low fat sample +Acid
5.956 ^{Ad}	5.78 ^{Ac}	5.926 ^{Ad}	5.65 ^{Ac}	(E)	نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم Low fat sample +Acid+ Sodium caseinate
5.99 ^{Ad}	6.03 ^{Ac}	6.4 ^{Ac}	6.14 ^{Ac}	(G)	نمونه کم‌چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +Acid+ WPC
5.957 ^{Ac}	5.88 ^{Ac}	5.956 ^{Ad}	5.27 ^{Be}	(J)	نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +WPC
6.48 ^{Ac}	6.126 ^{Ac}	6.37 ^{Ac}	6.24 ^{Bc}	(K)	نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + کازئینات سدیم Low fat sample +WPC+ Sodium caseinate
6.44 ^{Ac}	6.123 ^{Bc}	5.953 ^{Bd}	6.1 ^{Bc}	(L)	نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم+ کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +Acid+ Sodium caseinate +WPC

حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه بین ردیف‌ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون‌هاست.

Capital letters are concerned to comparison between rows and small letters indicate the comparison in columns

حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است ($p<0.05$)

The similar letters indicate that there is no significant difference ($P<0.05$).

محتوای رطوبت: نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس تک متغیره نشان داد مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر رطوبت پنیر تأثیر معنی‌دار داشتند؛ اما در زمان بررسی اثر متقابل هر یک از عوامل مذکور مشخص گردید که به‌جز تأثیر متقابل نوع فرمولاسیون و مدت‌زمان کشسانی، اثر متقابل سایر عوامل بر یکدیگر معنی‌دار بود (P <۰/۰۵).

جدول ۲- مقایسه میانگین رطوبت در نمونه‌های پنیر موزارلا بر اساس تأثیر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ و دمای نگهداری

Table 2- Comparison of the moisture content in mozzarella cheese samples based on the effect of stretching time in hot water and storage temperature

زمان (8 دقیقه) Time (8min)		زمان (2 دقیقه) Time (2min)		کد Code	فرمولاسیون Formulation
-18°C	4°C	-18°C	4°C		
55.45 ^{Bd}	56.5 ^{BCf}	56.14 ^{Bg}	59.07 ^{Af}	(A)	نمونه پرچرب (شاهد) High fat sample (Control)
58.36 ^{Bc}	59.08 ^{Bd}	59.75 ^{Be}	60.83 ^{Ad}	(B)	نمونه پرچرب + اسید High fat sample +Acid
57.68 ^{Bc}	58.11 ^{Be}	58.16 ^{Bf}	59.78 ^{Ae}	(C)	نمونه کم‌چرب (شاهد) Low fat sample (Control)
58.93 ^{Cc}	60.18 ^{Bc}	60.79 ^{Bc}	61.45 ^{Ac}	(D)	نمونه کم‌چرب + اسید Low fat sample +Acid
58.44 ^{Bc}	59.82 ^{Ad}	60.29 ^{Ad}	60.41 ^{Ae}	(E)	نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم Low fat sample +Acid+ Sodium caseinate
62.83 ^{Ca}	63.24 ^{BCa}	63.96 ^{Ba}	64.72 ^{Aa}	(G)	نمونه کم‌چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +Acid+ WPC
59.31 ^{Bc}	58.63 ^{Ce}	60.47 ^{Ad}	61.02 ^{Ac}	(J)	نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +WPC
58.46 ^{Bc}	58.76 ^{Be}	59.22 ^{Bd}	60.64 ^{Ae}	(K)	نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + کازئینات سدیم Low fat sample +WPC+ Sodium caseinate
60.26 ^{Cb}	61.97 ^{Bb}	61.08 ^{Cb}	63.75 ^{Ab}	(L)	نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم+ کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample +Acid+ Sodium caseinate +WPC

حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه بین ردیف‌ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون‌هاست

Capital letters are concerned to comparison between rows and small letters indicate the comparison in columns

حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است ($p<0.05$)

The similar letters indicate that there is no significant difference ($P<0.05$)

نتایج مقایسه میانگین رطوبت نمونه‌های مختلف در جدول شماره (۲) آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت‌زمان کشش لخته در آب داغ، از ۲ به ۸ دقیقه رطوبت در تمام نمونه‌ها کاهش یافت؛ اما این کاهش در تمام نمونه‌ها معنی‌دار نبود. مریل و همکاران (۱۹۹۹) نیز دریافتند که کاهش دمای پاستوریزاسیون و پیش اسیدی کردن شیر تا pH=۶، کاهش دمای پخت لخته تا ۳۷/۸ °C و کاهش شدت عملیات مکانیکی_حرارتی و پخت و کشسانی لخته در مدت‌زمان ۲ دقیقه در آب داغ ^{oC} ۸۲، بهترین

روش برای حفظ رطوبت در موزارلای کم‌چرب و کاهش سختی و لاستیکی بودن آن می‌باشد (۱۰). از سوی دیگر، رطوبت در میان تمام فرمولاسیون‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته (P <۰/۰۵) و نمونه‌های حاوی WPC بالاترین میانگین رطوبت را به خود اختصاص دادند. این نتایج با یافته‌های مطالعات مک‌ماهون و همکاران (۱۹۹۹)؛ اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱)؛ جهانی و آذر (۲۰۱۶) و ژنگ و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت داشت (۲۵، ۲۶، ۱۳، ۱۷).

همچنین همانند مطالعات عبدالقادر و همکاران (۲۰۱۹) و لیو و همکاران (۲۰۱۸)، رطوبت در نمونه‌های حاوی کازئینات در مقایسه با شاهد کم‌چرب، بالاتر بود (P <۰/۰۵). افزودن ترکیباتی همانند کازئینات سدیم به دلیل اثری که در ساختار پنیر به‌عنوان تشکیل ماتریکس ژلی دارند، به‌عنوان روان کننده یا امولسیفایر نقش مؤثری در بهبود ویژگی‌ها موزارلا دارند (۲۷، ۲۸). علاوه بر این رطوبت در نمونه‌های حاوی اسید بالاتر از نمونه‌های شاهد و نمونه‌های بدون اسید بود (P <۰/۰۵). این نتیجه با یافته‌های حاصل از مطالعه تو و همکاران (۲۰۲۲) و زیسو و شاه (۲۰۰۵) مطابقت داشت (۱۱، ۲۹). از طرف دیگر نگهداری نمونه‌ها در دمای $-18^{\circ}C$ در تمام نمونه‌ها سبب کاهش رطوبت شد؛ اما این کاهش در برخی نمونه‌ها معنی‌دار و بوده و در سایر نمونه‌ها معنی‌دار نبود. نگهداری پنیر در حالت انجماد سبب تغییر در توزیع رطوبت شده و باعث خروج سرم (رطوبت) از داخل پنیر می‌شود (۳۰). این موضوع در مطالعه حاضر نیز هنگام خروج پنیر از داخل بسته‌ها کاملاً مشهود بود. بر اساس نظریه پکس و همکاران (۲۰۲۳)، در طول انجماد پنیر آسیب ساختاری رخ می‌دهد که می‌تواند منجر به تغییر در خواص پنیر شود. چنین آسیبی احتمالاً از طریق دو مکانیسم است: اولاً تغییر فاز و انبساط حرارتی از آب به یخ ممکن است به‌طور فیزیکی شبکه پروتئین را تغییر دهد و ثانیاً کم‌آبی موضعی ممکن است ساختار پروتئین را تغییر دهد (۲۰).

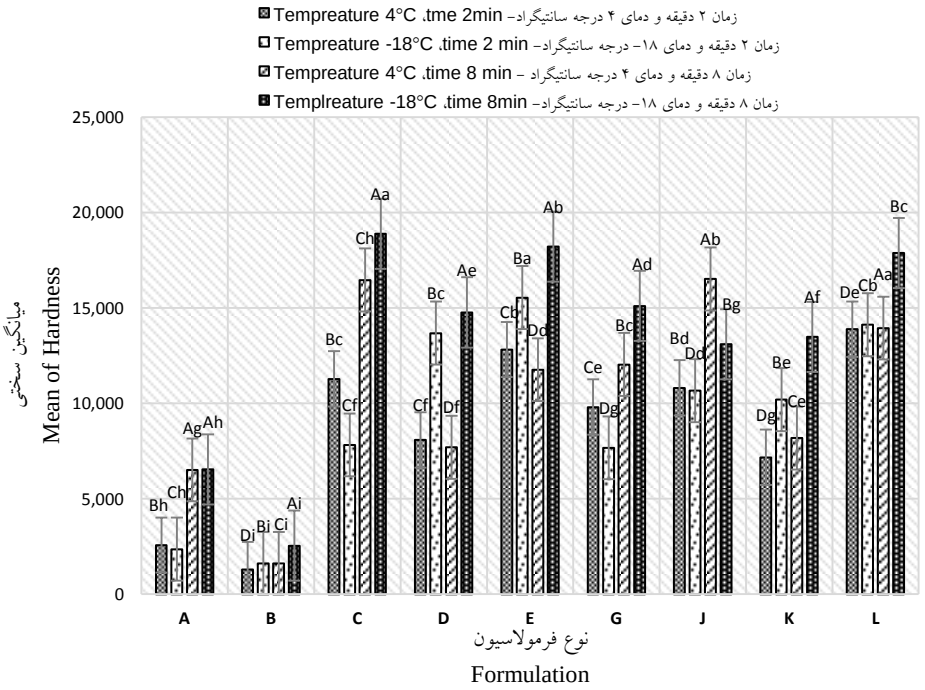
ویژگی‌ها بافتی و عملکردی

سختی: نتایج تجزیه‌وتحلیل واریانس تک متغیره نشان داد که تأثیر مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر تمام ویژگی‌ها بافتی و عملکردی موزارلای تولیدی معنی‌دار بود (P <۰/۰۵). همچنین در بررسی تأثیر متقابل هر یک از عوامل یادشده مشخص گردید که تأثیر متقابل فرآیندهای فوق بر روی تمام ویژگی‌ها به‌جز تشکیل روغن آزاد معنی‌دار بود (P <۰/۰۵). بااین‌وجود، میانگین سختی با کاهش مدت‌زمان کشسانی به ۲ دقیقه به طرز معنی‌داری در تمام نمونه‌ها به‌جز نمونه (D) و (E) کاهش یافت. کیندستت و همکاران (۱۹۹۲) ، با ثابت نگه‌داشتن دمای پخت، همانند نتایج تحقیق حاضر، دریافتند که در سرعت کمتر مارپیچ، سختی موزارلا کاهش یافت (۱۵). درحالی‌که مالوانی و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که شدت عملیات حرارتی با افزایش سرعت مارپیچ، افزایش‌یافته، به‌گونه‌ای که در سرعت بالا و تنش برش بالاتر، ممکن است لخته دچار فروپاشی شده و فرصت کافی برای رسیدن به دمای لازم برای کشسانی مناسب را پیدا نکند (۷). مطابق با یافته‌های این مطالعه، رندا و همکاران (۱۹۹۷)، اظهار کردند که سختی و فنریت پنیر موزارلای تولیدی همگام با کاهش سرعت مارپیچ، کاهش یافت. نگهداری پنیر در شرایط انجماد سبب افزایش سختی آن در تمام فرمولاسیون‌های نمونه به‌جز نمونه شاهد پرچرب شد (P >۰/۰۵)، (۳۱). قابل‌توجه است که نمونه‌های منجمد رطوبت کمتری را نیز از خود نشان داده بودند. این موضوع تأثیر اهمیت رطوبت را در بروز سختی موزارلای کم‌چرب اثبات می‌کند. این نتایج با یافته‌های علینوی و

همکاران (۲۰۲۰)، همسو بود (۳۲). همچنین مشابه با یافته‌های اسن و همکاران (۲۰۲۳) و تو و همکاران (۲۰۲۰)، سختی در نمونه‌های پرچرب (A و B) و نیز نمونه‌های حاوی اسیدسیتریک به طرز قابل‌توجهی کمتر از نمونه‌های پرچرب و پنیر شاهد کم‌چرب (C) سخت‌ترین پنیر در میان نمونه‌ها بود (P <۰/۰۵)، (شکل ۱)، (۳۳، ۱۱).

چسبندگی

افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه به‌جز نمونه D و G سبب کاهش میانگین چسبندگی شده و این اختلافات در تمام نمونه‌ها به‌جز B و J معنی‌دار بود (P <۰/۰۵). این موضوع، یافته‌های حاصل از سختی نمونه‌ها را تأیید می‌کند. زیرا نمونه‌ای که نرم‌تر است، چسبندگی بیشتری را نیز نشان داده است.



شکل ۲- مقایسه نتایج میانگین سختی در نمونه‌های پنیر موزارلای تولیدی

Figure 2- Comparison of Hardness results in mozzarella cheese samples

A: نمونه پرچرب (شاهد) ، B: نمونه پرچرب + اسید، C: نمونه کم‌چرب (شاهد) ، D: نمونه کم‌چرب + اسید، E: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم، G: نمونه کم‌چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر، J: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر ، K: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + کازئینات سدیم، L: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم+ کنسانتره پروتئینی آب پنیر

A: High fat sample [Control], B: High fat sample +Acid, C: Low fat sample [Control], D: Low fat sample +Acid, E: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate, G: Low fat sample +Acid+ WPC, J: Low fat sample +WPC, K: Low fat sample +WPC+ Sodium Caseinate, L: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate +WPC

حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه بین ردیف‌ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون‌هاست

Capital letters are concerned to comparison between rows and small letters indicate the comparison in columns

حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است (p<0.05)

The similar letters indicate that there is no significant difference (P<0.05)

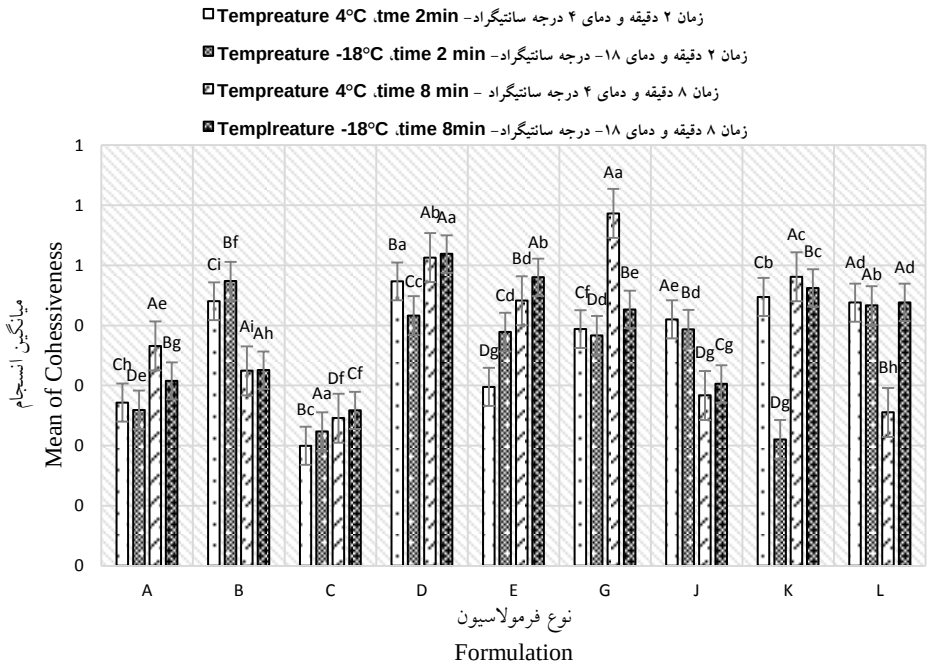
تأثیر متغیرهای فرایند در این مطالعه بر چسبندگی پنیر موزارلا به‌طور خاص در سایر تحقیقات موردمطالعه قرار نگرفته است؛ اما گنکاوالس و کاردارلی (۲۰۲۱)، در بررسی تأثیر دمای آب کشسانی، با کاربرد دو دمای متفاوت ۷۵° C و ۸۵° C در زمان کشسانی، متوجه شدند که با افزایش و تغییر دمای آب

کشسانی، در ویژگی بافتی چسبندگی و سختی پنیر تغییری حاصل نشد (۵). بااین‌وجود، میانگین چسبندگی در میان فرمولاسیون‌های مختلف نمونه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشت ($P<0/05$). به‌نحوی‌که نمونه شاهد کم‌چرب کمترین چسبندگی و شاهد پرچرب بیشترین چسبندگی را نشان داد. این موضوع نقش چربی را در افزایش چسبندگی تأیید کرد. مقایسه نمونه‌ها مشخص کرد افزودن کنسانتره پروتئینی آب پنیر، کازئینات سدیم و اسید سیتریک سبب افزایش چسبندگی شد ($P>0/05$). از آنجایی که رطوبت در نمونه‌های حاوی کنسانتره پروتئینی آب پنیر و کازئینات بالاتر از شاهد کم‌چرب بود، این موضوع نقش رطوبت در افزایش چسبندگی را تأیید نمود. این نتایج با یافته‌های ناطقی و همکاران (۲۰۱۳)، از این جهت همسو بود که آنها نیز نقش کازئینات سدیم را در افزایش رطوبت و به تبع آن افزایش چسبندگی پنیر موزارلا اثبات کردند (۳۴).

فنریت: مطابق با یافته‌های تاپکو و همکاران (۲۰۲۰) و اسن و همکاران (۲۰۲۳)، همانند سختی، فنریت در تمام نمونه‌ها در اثر افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه و نیز در اثر نگهداری در دمای 18^{C}°- افزایش یافت (۳۰، ۳۳). فنریت در نمونه‌های کم‌چرب نیز به طرز قابل‌ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه‌های شاهد پرچرب بود ($P<0/05$) و افزودن اسید در نمونه‌های کم‌چرب سبب کاهش فنریت شد. به نظر می‌رسد عوامل اصلی مؤثر بر فنریت پنیر، کاهش آب آزاد و هر عاملی است که با تغییر در ساختار پروتئین سبب کاهش رطوبت قابل‌دسترس شود.

انسجام: انسجام تمام نمونه‌ها با افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه به‌جز نمونه‌های حاوی اسید و کازئینات افزایش یافت ($P<0/05$)؛ اما رندا و همکاران (۱۹۹۷) پس از بررسی تأثیر سرعت مارپیچ بر ویژگی‌ها بافتی پنیر موزارلا نتوانستند توضیح دقیقی در خصوص تغییرات مربوط به ویژگی بافتی انسجام طی فرایند حرارتی_مکانیکی ارائه نمایند (۳۱). افزودن WPC سبب بالا رفتن انسجام و افزودن اسید به‌ویژه در نمونه پرچرب سبب کاهش عمده انسجام گردید (شکل ۲). همچنین انسجام در اغلب نمونه‌ها به طرز معنی‌داری در اثر انجماد افزایش یافت و افزودن کازئینات سدیم و WPC سبب کاهش معنی‌دار انسجام شده و پنیر نرم‌تری ایجاد نمود. این مسئله تأثیر امولسیون کنندگی کازئینات سدیم را در ایجاد بافت خامه‌ای‌تر پنیر موزارلا تقویت می‌کند. این نتایج با یافته‌های اسن و همکاران (۲۰۲۳) و زیسو و شاه (۲۰۰۵) مطابقت داشت (۲۹،۳۳).

حالت صمغی: همانند نتایج مربوط به سختی، انسجام و فنریت، حالت صمغی تحت تأثیر افزایش مدت زمان کشسانی در آب داغ در تمام نمونه‌ها به‌جز یک مورد افزایش معنادار یافت ($P<0/05$). همچنین نگهداری نمونه‌ها به مدت یک هفته در دمای 18^{C}°- سبب افزایش حالت صمغی شد. این نتایج با مطالعه تونیک و همکاران (۱۹۹۱)، همسو نبود (۳۵). زیرا آن‌ها با نگهداری موزارلای کم رطوبت در دمای 20^{C}°- به مدت ۸ هفته، کاهش قابل‌توجه سختی، فنریت و حالت صمغی را گزارش کردند. میانگین حالت صمغی در نمونه‌های کم‌چرب، اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های پرچرب داشت ($P<0/05$). بنابراین چربی تأثیر قابل‌توجهی بر ویژگی حالت صمغی دارد. بعلاوه افزودن اسیدسیتریک سبب کاهش معنی‌دار میانگین حالت صمغی شد. به‌گونه‌ای که کمترین حالت صمغی مربوط به نمونه پرچرب حاوی اسید (B) بود؛ اما افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و کازئینات سدیم سبب بالا رفتن اندک این ویژگی نسبت به شاهد کم‌چرب گردید. این نتایج با یافته‌های ناطقی و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت داشت (۳۴).



شکل ۳- مقایسه نتایج میانگین انسجام در نمونه‌های پنیر موزارلای تولیدی

Figure 3- Comparison of Cohesiveness results in mozzarella cheese samples

A: نمونه پرچرب (شاهد) ، B: نمونه پرچرب + اسید، C: نمونه کم‌چرب (شاهد) ، D: نمونه کم‌چرب + اسید، E: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم، G: نمونه کم‌چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر، J: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر ، K: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + کازئینات سدیم، L: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم+ کنسانتره پروتئینی آب پنیر

A: High fat sample [Control], B: High fat sample +Acid, C: Low fat sample [Control], D: Low fat sample +Acid, E: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate, G: Low fat sample +Acid+ WPC, J: Low fat sample +WPC, K: Low fat sample +WPC+ Sodium Caseinate, L: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate +WPC

حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه بین ردیف‌ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون‌هاست

Capital letters are concerned to comparison between rows and small letters indicate the comparison in columns

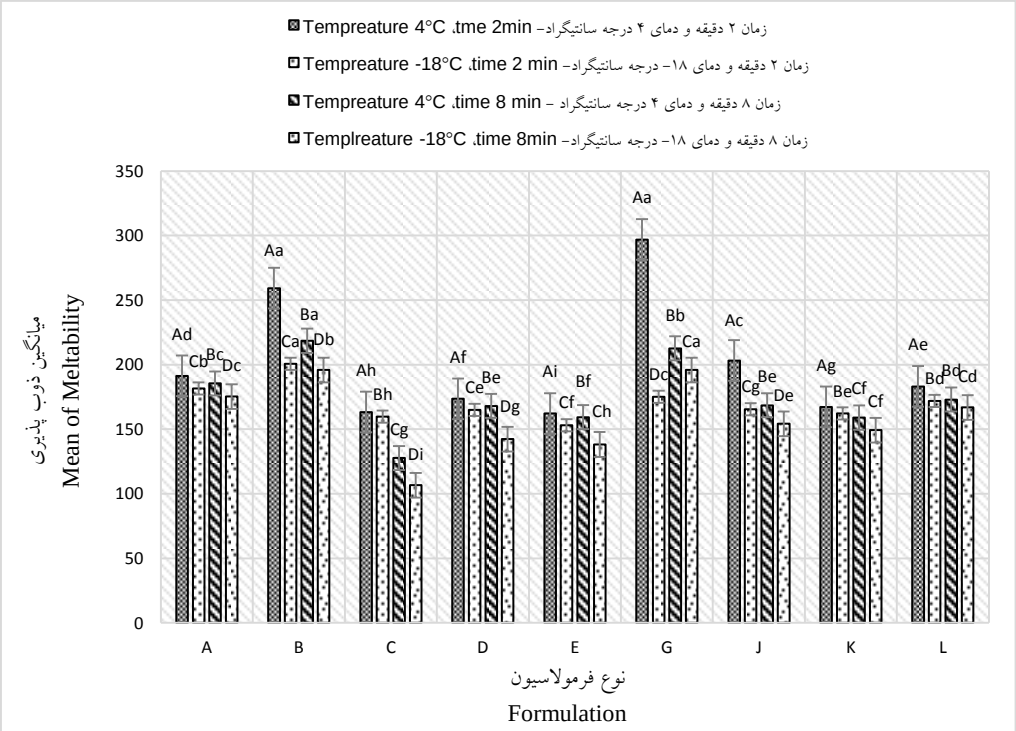
حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است ($p<0.05$)

The similar letters indicate that there is no significant difference ($P<0.05$)

قابلیت جویدن: در اکثر نمونه‌ها با افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، میانگین قابلیت جویدن به طرز معنی‌داری افزایش یافت (P۰/۰۵>). این یافته نیز نتایج مربوط به سختی را تأیید می‌نماید. زیرا پنیری که سخت‌تر بود، قابلیت جویدن بیشتری نیز بروز داد. نتایج به‌دست‌آمده در مورد تأثیر انجماد نیز مشابه نتایج سختی، فنریت و انسجام بود. چراکه قابلیت جویدن، معیاری است که با سختی ارتباط نزدیک دارد و از حاصل‌ضرب مقدار سختی در انسجام در فنریت به دست می‌آید. مشابه با یافته‌های زیسو و شاه (۲۰۰۵)، کاهش رطوبت در موزارلای کم‌چرب، منجر به افزایش سختی، فنریت و قابلیت جویدن شد (۲۹). همچنین همانند مطالعه متزگر و همکاران (۲۰۰۱)، افزودن اسیدسیتریک سبب کاهش معنی‌دار و افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و کازئینات سدیم سبب افزایش معنی‌دار قابلیت جویدن شدند (۱۹).

ذوب پذیری: نتایج محاسبه قبل و بعد ناحیه ذوب پنیر موزارلا که یک نمونه آن در شکل (۳) قابل مشاهده است، نشان داد مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در مورد رطوبت، ذوب پذیری در تمام نمونه‌های موزارلا با افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه، کاهش یافت (P <۰/۰۵). این نتایج با یافته‌های

مریل و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت داشت (۱۰). زمانی که رطوبت در ماده خشک و چربی در ماده خشک موزارلا بالا می‌رود، ذوب پذیری بهبود می‌یابد (۲، ۳، ۳۳، ۳۴). در این مطالعه برخلاف یافته‌های راونی و همکاران (۲۰۰۳)، همچنین کایس‌سوکولیسنکا و پیکول (۲۰۰۹)، ذوب پذیری نمونه‌های حاوی WPC و اسید نسبت به شاهد کم‌چرب به میزان قابل‌توجهی بالاتر بود (۳۶، ۳۷). به‌طوری‌که نمونه حاوی WPC و اسید (G) بالاترین ذوب پذیری را بروز داد (شکل ۴). این نمونه، پنیری است که بالاترین مقدار رطوبت را نیز به خود اختصاص داده بود. این نتایج با یافته‌های میزونو و همکاران (۲۰۰۶) و مک‌ماهون و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت داشت (۲۵،۳۸).



شکل ۴- مقایسه نتایج میانگین ذوب پذیری در نمونه‌های پنیر موزارلای تولیدی

Figure 4- Comparison of Meltability results in mozzarella cheese samples

A: نمونه پرچرب (شاهد) ، B: نمونه پرچرب + اسید، C: نمونه کم‌چرب (شاهد) ، D: نمونه کم‌چرب + اسید، E: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم، G: نمونه کم‌چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر، J: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر ، K: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + کازئینات سدیم، L: نمونه کم‌چرب + اسید + کازئینات سدیم+ کنسانتره پروتئینی آب پنیر

A: High fat sample [Control], B: High fat sample +Acid, C: Low fat sample [Control], D: Low fat sample +Acid, E: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate, G: Low fat sample +Acid+ WPC, J: Low fat sample +WPC, K: Low fat sample +WPC+ Sodium Caseinate, L: Low fat sample +Acid+ Sodium Caseinate +WPC

حروف بزرگ نشان‌دهنده مقایسه بین ردیف‌ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون‌هاست

Capital letters are concerned to comparison between rows and small letters indicate the comparison in columns

حروف یکسان نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است ($p<0.05$)

The similar letters indicate that there is no significant difference ($P<0.05$)

روغن آزاد: با افزایش مدت‌زمان کشسانی از ۲ به ۸ دقیقه، میانگین تشکیل روغن آزاد در تمام نمونه‌ها تفاوت چندانی نشان نداد. این نتایج با یافته‌های فنگ و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت نداشت (۹). زیرا آن‌ها نتیجه گرفتند که اندازه گلبول چربی عامل تعیین‌کننده‌ای برای خروج روغن آزاد از پنیر نیست.

بااین‌وجود، بین نمونه‌های پرچرب و کم‌چرب ازلحاظ تشکیل روغن آزاد اختلاف قابل‌توجه معنی‌داری وجود داشت (P <۰/۰۵). زیرا کمترین مقدار خروج روغن آزاد مربوط به نمونه شاهد کم‌چرب بود. همچنین افزودن WPC و کازئینات سدیم سبب افزایش اندک روغن آزاد شدند که با یافته‌های اسماعیل و همکاران (۲۰۱۱)، همچنین با یافته‌های دارایا و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت داشت (۲۶، ۳۹). تقریباً در تمام نمونه‌ها (به‌جز یک مورد) نگهداری در حالت انجماد سبب افزایش تشکیل روغن آزاد شد؛ اما این اختلاف در تمام نمونه‌ها معنی‌دار نبود. این یافته با نتایج مطالعه پکس و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت داشت (۲۰). زیرا آن‌ها اذعان داشتند که قرار گرفتن دسته‌های گلبول‌های چربی در کنار هم در پنیر موزارلای نگهداری شده در دمای ^{C} ۱۸°- در بررسی ساختار میکروسکپی کاملاً مشهود بود.

نتیجه‌گیری کلی

تأثیر شرایط مختلف تولید شامل مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری، همچنین تغییر در فرمولاسیون نمونه‌ها با افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، کازئینات و اسیدسیتریک بر ویژگی‌ها بافتی و عملکردی پنیر موزارلای کم‌چرب با ثابت نگه‌داشتن دمای کشسانی و سرعت مارپیچ پخت، نشان داد رطوبت، چربی و تمام ویژگی‌های بافتی و عملکردی به طور معنی‌داری تحت تأثیر این عوامل قرار گرفتند، به‌طوری‌که با افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ ^{C} ۸۲°، از ۲ دقیقه به ۸ دقیقه، ذوب پذیری به سبب کم شدن رطوبت پنیر، کاهش پیدا کرد. همچنین سختی، فنریت، حالت صمغی و قابلیت جویدن و انسجام افزایش یافت، در حالیکه چسبندگی کاهش پیدا کرد؛ اما در تشکیل روغن آزاد تفاوت چندانی بروز نداد. کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و اسیدسیتریک به سبب بالا بردن رطوبت، سبب بهبود قابلیت ذوب شدند. کازئینات سدیم به سبب تأثیر روان کننده یا امولسیفایری خود سبب کاهش سختی و چسبندگی شد و پنیر نرتری ایجاد نمود. درعین‌حال نگهداری در حالت انجماد به سبب آسیب ساختاری در پنیر باعث کاهش رطوبت، افزایش سختی، انسجام، فنریت و تشکیل روغن آزاد گردید. نتایج این تحقیق به‌طورکلی ثابت کرد که با کاهش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ و ثابت نگه‌داشتن دما و دور مارپیچ کشسانی، می‌توان پنیر کم‌چرب با ویژگی‌های بافتی و عملکردی بهتری تهیه نمود و نگهداری در دمای ^{C} ۴° نسبت به دمای ^{C} ۱۸°- باعث بهبود این ویژگی‌ها خواهد شد. با توجه نتایج تحقیق، عوامل فرایند علاوه بر تأثیر بر محتوای رطوبت و چربی، به سبب تأثیر بر ساختار پروتئین و چربی ، نقش تعیین‌کننده‌ای در ویژگی‌های بافتی و عملکردی پنیر موزارلای کم‌چرب داشتند.

References

1. McMahon, D. J., Alleyne, M. C., Fife, R. L., & Oberg, C. J. 1996. Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 79(11), 1911-1921.
2. Wang, H. H., & Sun, D. W. 2002. Melting characteristics of cheese: analysis of effects of cooking conditions using computer vision technology. Journal of Food Engineering, 51(4), 305-310.
3. 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, 125-134.
4. Solorza, F. J., & Bell, A. E. 1995. Effect of calcium, fat and total solids on the rheology of a model soft cheese system. International Journal of Dairy Technology, 48(4), 133-139.
5. Gonçalves, M. C., & Cardarelli, H. R. 2021. Mozzarella Cheese Stretching: A Minireview. Food Technology and Biotechnology, 59(1), 82-91.

6. Yu, C., & Gunasekaran, S. 2005. Modeling of melt conveying and heat transfer in a twin-screw cheese stretcher. Journal of food engineering, 70(2), 245-252.
7. Mulvaney, S., Barbano, D. M., & Yun, J. J. 1997. Systems analysis of the plasticization and extrusion processing of Mozzarella cheese. Journal of dairy science, 80(11), 3030-3039.
8. Banville, V., Chabot, D., Power, N., Pouliot, Y., & Britten, M. 2016. Impact of thermo-mechanical treatments on composition, solids loss, microstructure, and rheological properties of pasta filata–type cheese. International Dairy Journal, 61, 155-165.
9. Feng, R., Barjon, S., van den Berg, F. W., Lillevang, S. K., & Ahrné, L. 2021. Effect of residence time in the cooker-stretcher on mozzarella cheese composition, structure and functionality. Journal of Food Engineering, 309, 110690.
10. Merrill, R. K., Oberg, C. J., & McMahon, D. J. 1994. A method for manufacturing reduced fat Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 77(7), 1783-1789.
11. To, C. M., Kerkaert, B., Bossier, S., Van Gaver, D., Van der Meeren, P., & Guinee, T. P. 2022. Effects of reducing milk pH to 6.2 by CO2 injection or by addition of lactic acid on the biochemical and functional properties of commercial low-moisture part-skim mozzarella. International Dairy Journal, 129, 105341.
12. Ah, J., & Tagalpallewar, G. P. 2017. Functional properties of Mozzarella cheese for its end use application. Journal of food science and technology, 54(12), 3766-3778.
13. Jahani, T. & Azar, M. 2016. Effect of cream homogenization on the chemical composition and sensory characteristics of low-fat mozzarella. Food Processing and Preservation Journal, 8(2).
14. Childs, J. L., Daubert, C. R., Stefanski, L., & Foegeding, E. A. 2007. Factors regulating cheese shreddability. Journal of dairy science, 90(5), 2163-2174.
15. Kindstedt, P. S., Kiely, L. J., & Gilmore, J. A. 1992. Variation in composition and functional properties within brine-salted Mozzarella cheese. Journal of Dairy Science, 75(11), 2913-2921.
16. Basiony, M. M., & El-Nimer, A. M. 2017. Effect of fat replacers on the quality of low-fat Munster-like cheese. Journal of Food and Dairy Sciences, 8(2), 93-98.
17. Zhang, D., Lillevang, S. K., & Shah, N. P. 2021. Influence of pre-acidification, and addition of KGM and whey protein-based fat replacers CH-4560, and YO-8075 on texture characteristics and pizza bake properties of low-fat Mozzarella cheese. LWT, 137, 110384.
18. Zhao, Y., Khalesi, H., He, J., & Fang, Y. 2023. Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese. Food Hydrocolloids, 108493.
19. Metzger, L. E., Barbano, D. M., & Kindstedt, P. S. 2001. Effect of milk preacidification on low fat Mozzarella cheese: III. Post-melt chewiness and whiteness. Journal of dairy science, 84(6), 1357-1366.
20. Pax, A. P., Ong, L., Pax, R. A., Vongsvivut, J., Tobin, M. J., Kentish, S. E., & Gras, S. L. 2023. Industrial freezing and tempering for optimal functional properties in thawed Mozzarella cheese. Food Chemistry, 405, 134933.
21. Kindstedt, P. S., & Fox, P. F. 1991. Modified Gerber test for free oil in melted Mozzarella cheese. Journal of food science, 56(4), 1115-1116.
22. Bradley Jr, R. L., & Vanderwarn, M. A. 2001. Determination of moisture in cheese and cheese products. Journal of AOAC International, 84(2), 570-592.
23. Giménez, P., Peralta, G. H., Batistela, M. E., George, G. A., Ale, E. C., Quintero, J. P., & Bergamini, C. V. 2023. Impact of the use of skim milk powder and adjunct cultures on the composition, yield, proteolysis, texture and melting properties of Cremoso cheese. International Dairy Journal, 140, 105595.
24. Baviskar, S. N. (2011). A quick & automated method for measuring cell area using ImageJ. The american biology Teacher, 73(9), 554-556.
25. McMahon, D. J., Fife, R. L., & Oberg, C. J. 1999. Water partitioning in Mozzarella cheese and its relationship to cheese meltability. Journal of Dairy Science, 82(7), 1361-1369.

26. Ismail, M., AMMAR, E. T., & El- Metwally, R. A. I. D. 2011. Improvement of low fat mozzarella cheese properties using denatured whey protein. International Journal of Dairy Technology, 64(2), 207-217.
27. Abd Elkader, R. S., Awaad, R. A., Rizk Hassan, Z. M., & Salama, W. M. 2019. Production of low-fat white soft cheese using sodium caseinate and/or butter milk powder as a fat replacer. Arab Universities Journal of Agricultural Sciences, 27(2), 1503-1511.
28. Luo, J., Gillies, G., Lad, M., & Golding, M. 2018. The Influence of Emulsion Droplet Interactions on the Structural, Material and Functional Properties of a Model Mozzarella Cheese. Food Biophysics, 13(4), 333-342.
29. Zisu, B., & Shah, N. P. 2005. Low-fat mozzarella as influenced by microbial exopolysaccharides, preacidification, and whey protein concentrate. Journal of dairy science, 88(6), 1973-1985.
30. Topcu, A., Bulat, T., & Özer, B. 2020. Process design for processed Kashar cheese (a pasta-filata cheese) by means of microbial transglutaminase: Effect on physical properties, yield and proteolysis. LWT, 125, 109226.
31. Renda, A., Barbano, D. M., Yun, J. J., Kindstedt, P. S., & Mulvaney, S. J. 1997. Influence of screw speeds of the mixer at low temperature on characteristics of Mozzarella cheese. Journal of dairy science, 80(9), 1901-1907.
32. Alinovi, M., Wiking, L., Corredig, M., & Mucchetti, G. 2020. Effect of frozen and refrigerated storage on proteolysis and physicochemical properties of high-moisture citric mozzarella cheese. Journal of dairy science, 103(9), 7775-7790.
33. Esen, M. K., & Güzeler, N. 2023. The effects of the use of whey protein as a fat replacer on the composition, proteolysis, textural, meltability, microstructural, and sensory properties of reduced-fat Boru-type Künefe cheese during storage. International Dairy Journal, 137, 105519.
34. Nateghi, L., Roohinejad, S., Totosaus, A., Rahmani, A., Tajabadi, N., Meimandipour, A., & Manap, M. Y. A. 2012. Physicochemical and textural properties of reduced fat Cheddar cheese formulated with xanthan gum and/or sodium caseinate as fat replacers. J. Food Agr. Environ, 10, 59-63.
35. Tunick, M. H., Mackey, K. L., Smith, P. W., & Holsinger, V. H. 1991. Effects of composition and storage on the texture of Mozzarella cheese. Nederlands melk en Zuiveltijdschrift, 45(2), 117-125.
36. Rowney, M. K., Roupas, P., Hickey, M. W., & Everett, D. W. 2003. The effect of compression, stretching, and cooking temperature on free oil formation in Mozzarella curd. Journal of dairy science, 86(2), 449-456.
37. CaiS-SokolińSka, D., & Pikul, J. 2009. Cheese meltability as assessed by the Tube Test and Schreiber Test depending on fat contents and storage time, based on curd-ripened fried cheese. Czech Journal of Food Sciences, 27(5), 301-308.
38. Mizuno, R., Matsuda, T., Lucey, J. A., & Ichihashi, N. 2009. Effects of changes in the distribution of soluble and insoluble calcium on Mozzarella cheese. Milchwissenschaft, 64(2), 169-172.
39. Dharaiya, C. N., Jana, A. H., & Aparnathi, K. D. 2019. Functionality of Mozzarella cheese analogues prepared using varying protein sources as influenced by refrigerated storage. Journal of food science and technology, 56(12), 5243-5252.