

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

Tahereh Jahani¹, Mahdi Kashaninejad^{2*}, Aman-Mohammad Ziaifar³,
Mahmoodreza Golzarian⁴

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.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/fppj.2023.21251.1752

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تأثیر فرایند حرارتی - مکانیکی و شرایط نگهداری بر ویژگی‌های بافتی و عملکردی موزارلای کم چرب تهیه شده با جانشین‌های چربی

طاهره جهانی^۱، مهدی کاشانی‌نژاد^{۲*}، امان محمد 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 بیوسستم، دانشگاه فردوسی مشهد

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	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 کم چرب به دلیل نقصان چربی، حیاتی‌تر است. بنابراین یکی از مهم‌ترین اهداف در تولید پنیر موزارلای کم چرب 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.
واژه‌های کلیدی: پنیر موزارلا کم چرب فرایند حرارتی-مکانیکی ویژگی‌های بافتی خصوصیات عملکردی	مواد و روش‌ها: پنیر موزارلای کم چرب 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°C 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 تجزیه و تحلیل بافت و ویژگی‌های عملکردی توسط آزمون‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. از نمونه‌های تولیدی یک نمونه پرچرب و یک نمونه کم چرب بدون هیچ‌گونه افزودنی به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با روش GLM و تجزیه و تحلیل واریانس تک متغیره در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics. 26 در سطح معنی‌داری $\alpha=0/05$ انجام شد.
	یافته‌ها: با افزایش میزان چربی، اتلاف چربی در آب پخت در بخش عملیات حرارتی-مکانیکی افزایش یافت. رطوبت موزارلای کم چرب به طور معنی‌داری تحت تأثیر افزودن کنسانتره

پروتئینی آب پنیر 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 مدت زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه، افزایش یافت. درحالی که چسبندگی نمونه‌ها کاهش یافت ($P < 0.05$)؛ اما تشکیل روغن آزاد تفاوت چندانی نداشت. افزودن کازئینات سدیم سبب کاهش سختی و چسبندگی شد. درعین حال 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 به جز روغن آزاد در اثر کاهش شدت عملیات حرارتی-مکانیکی بهبود یافتند. کنسانتره پروتئینی آب پنیر قابلیت ذوب را بهبود بخشید و کازئینات سدیم پنیر نرم‌تری را تولید کرد. در حالی که انجماد به جز 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.

DOI: 10.22069/fppj.2023.21251.1752



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

موزارلا، پنیری نرم از خانواده پاستافیلاتا^۱ است که به صورت مرسوم، با کشسانی در آب داغ عمل آوری می شود. کشش یک فرایند حرارتی- مکانیکی است که اعمال انرژی مکانیکی به شکل تنش برشی را در برمی گیرد و طی آن، آگیری کازئین افزایش و نسبت کلسیم به کازئین کاهش می یابد. در نتیجه لخته حالت پلاستیکی به خود می گیرد و پنیر موزارلا به دست می آید. طی این فرایند میزان چربی در ماده خشک طی این فرایند، ۳۰-۴۵٪ وزنی افت می کند. به همین علت، به طور معمول، نسبت کازئین به چربی را با افزودن ترکیبات جامد بدون چربی افزایش می دهند و سپس تولید را آغاز می کنند. ویژگی های بافتی و عملکردی موزارلا تحت تأثیر عوامل متعدد و مهمی از قبیل چربی، رطوبت، مدت زمان ماندگاری، شرایط پخت، ترکیب اولیه شیر، میزان کلسیم پنیر روش تولید می باشد و زمانی که رطوبت و چربی در ماده خشک موزارلا بالا می رود، این ویژگی ها بهبود می یابند (۱، ۲، ۳، ۴). موزارلا تازه با قوامی سفت و الاستیک ذوب می شود 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 می شود. مطالعات، نشان داده است که سرعت بالای مارپیچ بخش پخت باعث افزایش محتوای پروتئین و سختی پنیر و کاهش محتوای چربی، رطوبت، قابلیت ذوب و تشکیل روغن آزاد می شود. با این حال شکل گیری ساختار پنیر در بخش پخت، عمدتاً توسط دمای پخت و نیروهای برشی اعمال شده در طول فرایند تعیین می شود که تحت تأثیر دمای آب و سرعت مارپیچ، مدت زمان ماندن لخته در آب داغ و شرایط اعمال نیروی برشی بر روی لخته نیز قرار می گیرد (۵). تغییر در فرایندهای

حرارتی- مکانیکی نیز بر ترکیب، از دست دادن مواد جامد و ریزساختار پنیر موزارلا تأثیر می گذارد. به طوری که افزایش سرعت مارپیچ بخش پخت پنیر و دمای مخزن در سیستم حرارتی پخت منجر به کاهش کلی رطوبت و چربی در ماده خشک موزارلا می شود. 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 می شود. در عین حال، تغییر در عوامل سیستم پخت می تواند تأثیرات پیچیده ای داشته باشد. زیرا افزایش سرعت مارپیچ پخت، مدت زمان ماندگاری لخته در بخش عملیات مکانیکی- حرارتی و در عین حال دمای لخته را کاهش می دهد. همچنین افزایش دما و ماند لخته در بخش کشسانی اگرچه سبب حفظ رطوبت در درون ماتریکس پروتئین می شود، اما باعث از دست رفتن مواد جامد و آب آزاد در پنیر شده گلبول های چربی را درشت تر و تشکیل روغن آزاد را بیشتر می نماید (۶، ۷، ۸). اما یافته های 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 مدت زمان اعمال نیروی برشی و ویژگی ها پنیر شامل اندازه گلبول های چربی، قابلیت ذوب، تشکیل روغن آزاد و قهوه ای شدن همبستگی غیرخطی وجود دارد و اندازه گلبول چربی عامل تعیین کننده ای برای خروج روغن آزاد از پنیر نیست (۹). با این وجود، مریل و همکاران (۱۹۹۴)، ادعا کردند که بهترین روش را برای حفظ رطوبت در موزارلای کم چرب، کاهش سختی و لاستیکی بودن آن، پیش اسیدی کردن شیر کاهش دمای پاستوریزاسیون و کشسانی لخته به مدت ۲ دقیقه در آب پخت است. هنگامی که چربی پنیر کاهش می یابد، ویژگی های بافتی و خصوصیات عملکردی آن در هنگام پخت بر روی پیتزا تحت تأثیر

¹ Pasta filata

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 «ستریوکوکوس ترموفیلوس»^۱ و لاکتوباسیلوس هلویتیکوس^۲ (شرکت کریستین‌هانسن دانمارک) و آنزیم رنت میکروبی کالزاکلمته ایتالیا^۳ بر پایه کپک ماکور^۴ در محل شرکت شیر پاستوریزه پگاه گلستان انجام شد (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 کسانتره 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 هموزئیزه 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 ۸-۱۰ RPM) 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

قرار می‌گیرد (۱۰). بااین‌وجود، اصلاح روش‌های تولید، افزودن جایگزین‌های چربی به لخته، افزودن کشت آغازگر اگزوپلی ساکارید به شیر و پیش‌اسیدی 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 کارایی 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). از آنجایی که 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 (ذوب‌پذیری 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.

¹ *Streptococcus thermophilus*

² *Lactobacillus helveticus*

³ Calza 2700IMCU

⁴ *Rhizomucor Miehei*

رفع انجماد توسط مشتری خرده فروش یا مصرف کننده ایجاد می شود (۲۰).

اندازه گیری چربی و رطوبت: با توجه به اینکه پنیر موزارلا به دلیل ماهیت فیبری و رشته ای، بافت یکنواخت و متوازی ندارد، هر قالب پنیر به سه قسمت تقسیم و تمامی آزمایش ها برای هر بخش به صورت جداگانه انجام پذیرفت. محتوای چربی با روش اصلاح شده کیندست و همکاران (۱۹۹۱)، به روش ژربر تعیین شد (۲۱). به منظور تعیین درصد رطوبت با کمک روش استاندارد آون خلاء 3 ± 0.5 گرم نمونه پنیر خرد شده، توزین و درون آون با دمای 102°C به مدت ۲ ساعت قرار داده شد. پس از قرارگیری در دسیکاتور به مدت 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 تحلیل گر بافت موجود در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (A TA.XT Plus (kg, Stable Microsystem, UK)، ویژگی های بافتی تعیین شدند. قبل از انجام آزمون، نمونه های منجمد به مدت یک ساعت و نمونه های نگهداری شده در یخچال به مدت نیم ساعت در دمای محیط (25°C) جهت رسیدن به هم دمایی و تعادل قرار داده شد. از بخش های مختلف قالب گرد پنیر، ۳ قطعه نمونه به اندازه های $1.5\text{cm} \times 2.2\text{cm} \times 3.4\text{cm}$ (طول، عرض، ضخامت) برداشت شد. در یک چرخه فشرده سازی با دو بار تقلید گاز زدن و مدت زمان استراحت ۵ ثانیه ای بین آن ها، 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. ویژگی های بافتی شامل سختی^۱ (بیشترین نیرو در اولین چرخه فشرده سازی)، انسجام^۲ (نسبت مساحت ناحیه گاز زدن مثبت دوم به مساحت ناحیه گاز زدن مثبت اول)، چسبندگی^۳ (ناحیه نیروی منفی در گاز زدن اول)، فنریت^۴ (ارتفاعی که نمونه به آن بازگشت می کند)، حالت صمغی^۵ (حاصل ضرب سختی و میزان انسجام) و قابلیت جویدن^۶ (حاصل ضرب حالت صمغی و فنریت) از نمودارهای مربوط به تجزیه و تحلیل بافت با استفاده از نرم افزار دستگاه (Exponent Version 6.1.4.0) به دست آمد. تجزیه و تحلیل بافت در سه تکرار انجام گردید. (۲۳).

ویژگی ها عملکردی: جهت تعیین ذوب پذیری^۷ بر اساس روش اصلاح یافته ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، سه قطعه از یک قالب پنیر با قطر $3/5$ سانتیمتر و ارتفاع ۱ سانتیمتر با قالب کاتر گرد، برش داده شد (۱۷). جهت تعیین مقیاس اندازه گیری از دوایر استاندارد روش شرایر^۸ که با نرم افزار اتوکد در مقیاس واقعی ترسیم شد، استفاده گردید (شکل ۱). نمونه ها در آون تجاری حرارتی به صورت همرفتی در دمای 140°C به مدت ۱۳ دقیقه جهت نمونه های پرچرب و به مدت ۱۰ دقیقه برای نمونه های کم چرب تا رسیدن به ذوب، بدون سوختگی یا چروکیدگی سطح نمونه، قرار گرفتند. سپس از نمونه ها 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 نمونه ها با استفاده از نرم افزار

¹ Hardness

² Cohesiveness

³ Adhesiveness

⁴ Springiness

⁵ Gumminess

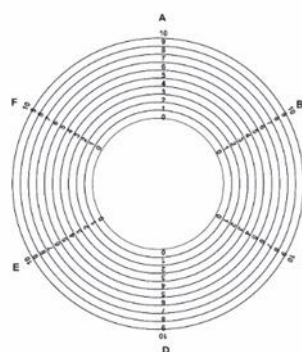
⁶ Chewiness

⁷ Meltability

⁸ Schreiber

تقسیم آن بر ۲ محاسبه شد. کلیه آزمون‌ها در ۳ تکرار انجام و جهت تحلیل بعدی ذخیره گردید (۱۷).

Image J. 2.6 محاسبه گردید (۲۴). تشکیل روغن آزاد پس از تعیین چربی نهایی با بوتیرومتر ژربر و



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)

چربی موزارلا تأثیر معنی‌دار داشته‌اند؛ اما در زمان بررسی اثر متقابل هر یک از عوامل مذکور مشخص گردید که به جز تأثیر متقابل مدت زمان کشسانی و دمای نگهداری، اثر متقابل سایر عوامل بر یکدیگر معنی‌دار بود ($P < 0.05$). در این مطالعه میانگین چربی در پنیر موزارلا کم‌چرب برابر ۵/۷۱٪ و در پنیر پرچرب برابر با ۲۲٪ به دست آمد. از آنجایی 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 ($P < 0.05$). همچنین در اثر فرایند مکانیکی-حرارتی و شرایط نگهداری، نمونه‌های

تجزیه و تحلیل آماری

تأثیر شرایط مختلف تولید شامل مدت زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری، همچنین تغییر در فرمولاسیون نمونه‌ها (افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، کازئینات و اسیدسیتریک) به عنوان 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 به عنوان متغیرهای وابسته مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل داده‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با روش GLM و تجزیه و تحلیل واریانس تک متغیره در نرم‌افزار IBM SPSS Statistics. 26 در سطح معنی‌داری $\alpha = 0.05$ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل اختلاف معنی‌داری (LSD) صورت گرفت.

نتایج و بحث

آزمون‌های شیمیایی

محتوای چربی: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس محتوای چربی پنیرهای تولیدی نشان داد مدت زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر

پرچرب و کم‌چرب نتایج یکسانی بروز ندادند. به‌نحوی که 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 ($P < 0.05$)؛ اما در نمونه‌های کم‌چرب این کاهش به صورت منظم قابل مشاهده نبود. این نتایج با یافته‌های 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 ماریچ 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 ($P < 0.05$).

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 (۸ دقیقه) Time (8min)		زمان (۲ 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 تجزیه و تحلیل واریانس تک متغیره نشان داد مدت زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر رطوبت پنیر تأثیر معنی دار داشتند؛ اما در زمان بررسی اثر متقابل هر یک از عوامل مذکور مشخص گردید که به جز تأثیر متقابل نوع فرمولاسیون و مدت زمان کشسانی، اثر متقابل سایر عوامل بر یکدیگر معنی دار بود ($P < 0.05$).

جدول ۲- مقایسه میانگین رطوبت در نمونه های پنیر موزارلا بر اساس تأثیر مدت زمان 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 کم چرب (شاهد) Low fat sample (Control)
58.93 ^{Cc}	60.18 ^{Bc}	60.79 ^{Bc}	61.45 ^{Ac}	(D)	نمونه کم چرب + اسید Low fat sample + Acid
58.44 ^{Bc}	59.82 ^{Ad}	60.29 ^{Ad}	60.41 ^{Ae}	(E)	نمونه کم چرب + اسید + کازئینات سدیم Low fat sample + Acid + Sodium caseinate
62.83 ^{Ca}	63.24 ^{BCa}	63.96 ^{Ba}	64.72 ^{Aa}	(G)	نمونه کم چرب + اسید + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample + Acid + WPC
59.31 ^{Bc}	58.63 ^{Ce}	60.47 ^{Ad}	61.02 ^{Ac}	(J)	نمونه کم چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample + WPC
58.46 ^{Bc}	58.76 ^{Be}	59.22 ^{Bd}	60.64 ^{Ae}	(K)	نمونه کم چرب + 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 کم چرب + اسید + کازئینات سدیم + کنسانتره پروتئینی آب پنیر Low fat sample + Acid + Sodium caseinate + WPC

حروف بزرگ نشان دهنده مقایسه بین ردیف ها و حروف کوچک نمایانگر مقایسه در ستون هاست

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 ($P < 0.05$)

همکاران (۱۹۹۹) نیز دریافتند که کاهش دمای پاستوریزاسیون و پیش اسیدی کردن شیر تا $pH=6$ ، کاهش دمای پخت لخته تا $37/8^{\circ}C$ و کاهش شدت عملیات مکانیکی_حرارتی و پخت و کشسانی لخته در مدت زمان ۲ دقیقه در آب داغ $82^{\circ}C$ ، بهترین

نتایج مقایسه میانگین رطوبت نمونه های مختلف در جدول شماره (۲) آورده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان کشش لخته در آب داغ، از ۲ به ۸ دقیقه رطوبت در تمام نمونه ها کاهش یافت؛ اما این کاهش در تمام نمونه ها معنی دار نبود. مریل و

به یخ ممکن است به طور فیزیکی شبکه پروتئین را تغییر دهد و ثانیاً کم آبی موضعی ممکن است ساختار پروتئین را تغییر دهد (۲۰).

ویژگی‌ها بافتی و عملکردی

سختی: نتایج تجزیه و تحلیل واریانس تک متغیره نشان داد که تأثیر مدت زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری و نوع فرمولاسیون بر تمام ویژگی‌ها بافتی و عملکردی موزارلای تولیدی معنی‌دار بود ($P < 0/05$). همچنین در بررسی تأثیر متقابل هر یک از عوامل یادشده مشخص گردید که تأثیر متقابل فرایندهای فوق بر روی تمام ویژگی‌ها به جز تشکیل روغن آزاد معنی‌دار بود ($P < 0/05$). باین وجود، میانگین سختی با کاهش مدت زمان کشسانی به ۲ دقیقه به طرز معنی‌داری در تمام نمونه‌ها به جز نمونه (D) و (E) کاهش یافت. کیندست و همکاران (۱۹۹۲)، با ثابت نگه داشتن دمای پخت، همانند نتایج تحقیق حاضر، دریافتند که در سرعت کمتر ماریج، سختی موزارلا کاهش یافت (۱۵). درحالی که مالوانی و همکاران (۱۹۹۷) بیان کردند که شدت عملیات حرارتی با افزایش سرعت ماریج، افزایش یافته، به گونه‌ای 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 ماریج، کاهش یافت. نگهداری پنیر در شرایط انجماد سبب افزایش سختی آن در تمام فرمولاسیون‌های نمونه به جز نمونه شاهد پرچرب شد ($P > 0/05$)، (۳۱). قابل توجه است که نمونه‌های منجمد رطوبت کمتری را نیز از خود نشان داده بودند. این موضوع تأثیر اهمیت رطوبت را در بروز سختی موزارلای کم چرب اثبات می‌کند. این نتایج با یافته‌های علینوی و

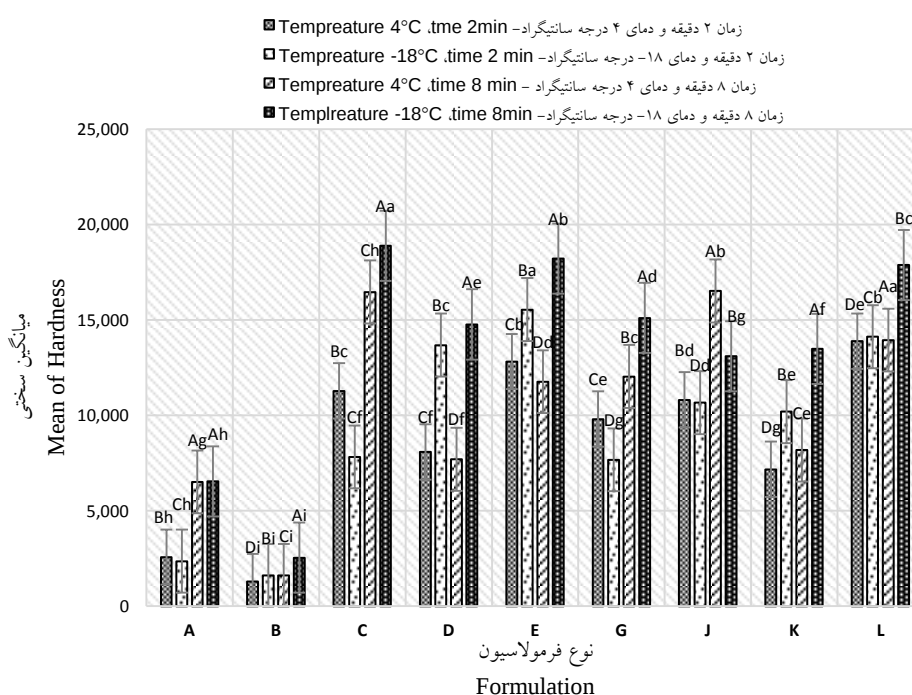
روش برای حفظ رطوبت در موزارلای کم چرب و کاهش سختی و لاستیکی بودن آن می‌باشد (۱۰). از سوی دیگر، رطوبت در میان تمام فرمولاسیون‌ها با یکدیگر تفاوت معنی‌دار داشته ($P < 0/05$) و نمونه‌های حاوی WPC بالاترین میانگین رطوبت را به خود اختصاص دادند. این نتایج با یافته‌های مطالعات مک‌ماهون و همکاران (۱۹۹۹)؛ اسماعیل 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 ليو و همکاران (۲۰۱۸)، رطوبت در نمونه‌های حاوی کازئینات در مقایسه با شاهد کم چرب، بالاتر بود ($P < 0/05$). افزودن ترکیبات همانند کازئینات سدیم به دلیل اثری که در ساختار پنیر به عنوان تشکیل ماتریکس ژلی دارند، به عنوان 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 ($P < 0/05$). 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°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

چسبندگی

افزایش مدت زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه به جز نمونه D و G سبب کاهش میانگین چسبندگی شده و این اختلافات در تمام نمونه‌ها به جز B و J معنی‌دار بود ($P < 0.05$). این موضوع، یافته‌های حاصل از سختی نمونه‌ها را تأیید می‌کند. زیرا نمونه‌ای که نرم‌تر است، چسبندگی بیشتری را نیز نشان داده است.

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 قابل توجهی کمتر از نمونه‌های پرچرب و پنیر شاهد کم‌چرب (C) سخت‌ترین پنیر در میان نمونه‌ها بود ($P < 0.05$)، (شکل ۱)، (۳۳، ۱۱).



شکل ۲- مقایسه نتایج میانگین سختی در نمونه‌های پنیر موزارلا 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 + اسید، 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 نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌داری است ($p < 0.05$)

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

کاردارلی (۲۰۲۱)، در بررسی تأثیر دمای آب کشسانی، با کاربرد دو دمای متفاوت 75°C و 85°C در زمان کشسانی، متوجه شدند که با افزایش و تغییر دمای آب

تأثیر متغیرهای فرایند در این مطالعه بر چسبندگی پنیر موزارلا به‌طور خاص در سایر تحقیقات مورد مطالعه قرار نگرفته است؛ اما گنکاوالس و

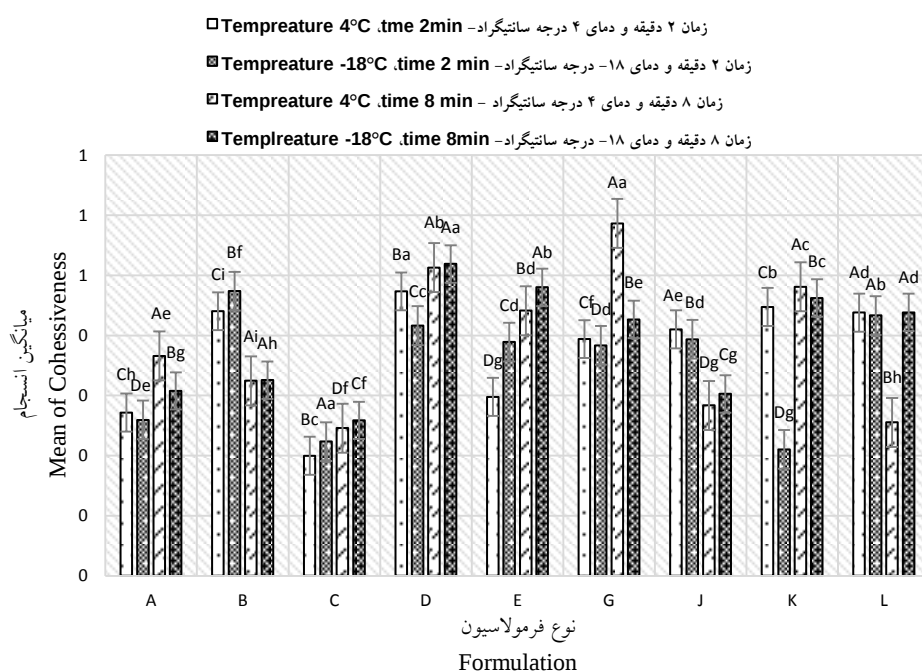
کشسانی، در ویژگی بافتی چسبندگی و سختی پنیر تغییری حاصل نشد (۵). با این وجود، میانگین چسبندگی در میان فرمولاسیون‌های مختلف نمونه با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشت ($P < 0.05$). به نحوی که نمونه شاهد کم‌چرب کمترین چسبندگی و شاهد پرچرب بیشترین چسبندگی را نشان داد. این موضوع نقش چربی را در افزایش چسبندگی تأیید 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).

فتریت: مطابق با یافته‌های تاپکو و همکاران (۲۰۲۰) و اسن و همکاران (۲۰۲۳)، همانند سختی، فتریت در تمام نمونه‌ها در اثر افزایش مدت زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه و نیز در اثر نگهداری در دمای 18°C - افزایش یافت (۳۰، ۳۳). فتریت در نمونه‌های کم‌چرب نیز به طرز قابل ملاحظه‌ای بالاتر از نمونه‌های شاهد پرچرب بود ($P < 0.05$) و افزودن اسید در نمونه‌های کم‌چرب سبب کاهش فتریت شد. به نظر می‌رسد عوامل اصلی مؤثر بر فتریت پنیر، کاهش آب آزاد و هر عاملی است که با تغییر در ساختار پروتئین سبب کاهش رطوبت قابل دسترس شود.

انسجام: انسجام تمام نمونه‌ها با افزایش مدت زمان کشسانی در آب داغ از ۲ به ۸ دقیقه به جز نمونه‌های حاوی اسید و کازئینات افزایش یافت ($P < 0.05$)؛ اما رندا و همکاران (۱۹۹۷) پس از بررسی تأثیر سرعت

ماریچ 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 امولسیون‌کنندگی کازئینات سدیم را در ایجاد بافت خامه‌ای تر 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 فتریت، حالت صمغی تحت تأثیر افزایش مدت زمان کشسانی در آب داغ در تمام نمونه‌ها به جز 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 قابل توجه سختی، فتریت و حالت صمغی را گزارش کردند. میانگین حالت صمغی در نمونه‌های کم‌چرب، اختلاف معنی‌داری با نمونه‌های پرچرب داشت ($P < 0.05$). بنابراین چربی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی حالت صمغی دارد. بعلاوه افزودن اسیدسیتریک سبب کاهش معنی‌دار میانگین حالت صمغی شد. به گونه‌ای که کمترین حالت صمغی مربوط به نمونه پرچرب حاوی اسید (B) بود؛ اما افزودن کنسانتره پروتئینی آب پنیر 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 + WPC، K: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + اسید + 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 نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی داری است ($P < 0.05$)

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

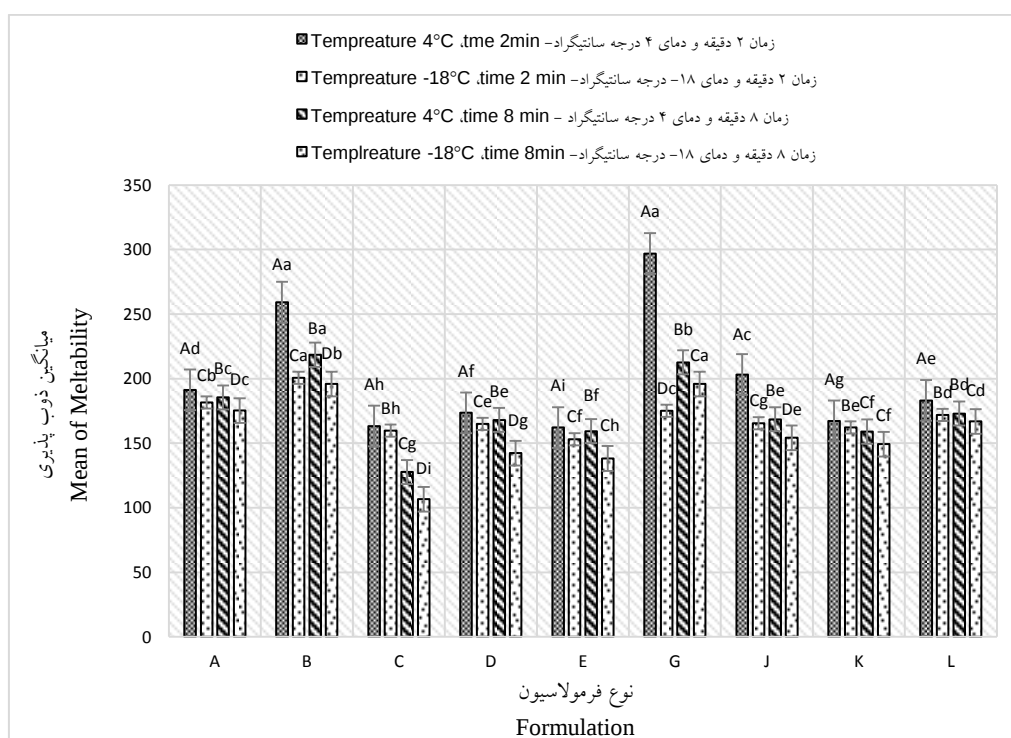
به افزایش سختی، فنریت و قابلیت جویدن شد (۲۹). همچنین همانند مطالعه متزگر و همکاران (۲۰۰۱)، افزودن اسیدسیتریک سبب کاهش معنی‌دار و افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر و کازئینات سدیم سبب افزایش معنی‌دار قابلیت جویدن شدند (۱۹).

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 ($P < 0.05$). این نتایج با یافته‌های

قابلیت جویدن: در اکثر نمونه‌ها با افزایش مدت‌زمان کشسانی در آب داغ، میانگین قابلیت جویدن به طرز معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.05$). 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 حاصل ضرب مقدار سختی در انسجام در فنریت به دست می‌آید. مشابه با یافته‌های زیسو و شاه (۲۰۰۵)، کاهش رطوبت در موزارلای کم‌چرب، منجر

بالاتر بود (۳۶، ۳۷). به طوری که 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 میزونی و همکاران (۲۰۰۶) و مک‌ماهون و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت داشت (۲۵، ۳۸).

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 راوونی و همکاران (۲۰۰۳)، همچنین کایس سوکولیسکا و پیکول (۲۰۰۹)، ذوب پذیری نمونه‌های حاوی WPC و اسید نسبت به شاهد کم‌چرب به میزان قابل توجهی



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 + WPC، K: نمونه کم‌چرب + کنسانتره پروتئینی آب پنیر + اسید + 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 ($P < 0.05$)

و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت نداشت (۹). زیرا آن‌ها نتیجه گرفتند که اندازه گلبول چربی عامل تعیین‌کننده‌ای برای خروج روغن آزاد از پنیر نیست.

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

با این وجود، بین نمونه‌های پرچرب و کم‌چرب از لحاظ تشکیل روغن آزاد اختلاف قابل توجه معنی‌داری وجود داشت ($P < 0.05$). 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 (به جز 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 گلوله‌های چربی در کنار هم در پنیر موزارلای نگهداری شده در دمای 18°C در بررسی ساختار میکروسکوپی کاملاً مشهود بود.

نتیجه‌گیری کلی

تأثیر شرایط مختلف تولید شامل مدت زمان کشسانی در آب داغ، دمای نگهداری، همچنین تغییر در فرمولاسیون نمونه‌ها با افزودن کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، کازئینات و اسیدسیتریک بر ویژگی‌های 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 مدت زمان کشسانی در آب داغ 82°C 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. در عین حال 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 به‌طور کلی ثابت کرد که با کاهش مدت زمان 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 4°C نسبت به دمای 18°C 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

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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., Vongsivut, 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., Totousaus, 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.