مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ۵۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰ (ص۱۹۵-۱۸۳) DOI: 10.22059/ijbse.2020.304298.665316
(علمی – پژوهشی)

Rheological and Microbial Properties of Cheese Analog Made from Sweet Corn Containing Whey- and Milk- Protein Concentrates

MARZIEH VEISKARAMI [1], HOSSEIN JOOYANDEH[*2], MOHAMMAD HOJJATI [2], MOHAMMAD NOSHAD [3], MOHAMMAD AMIN MEHRNIA[3]

1. Department of Food Science and Technology Department, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan

(Received: July 2, 2020- Revised: Aug. 22, 2020- Accepted: Oct. 20, 2020)

ABSTRACT

The present study was conducted to obtain the optimal formulation of a cheese analog based on corn extract resembled to the low-fat Iranian white cheese. In this study, the effects of whey protein concentrate (WPC) and milk protein concentrate (MPC) each in the powder form and at the levels of 5, 10 and 15% and corn extract prepared from sweet corn seeds with two water extraction levels of 15 and 25% (water: corn ratio; w/v) were evaluated on the texture profile and microbial quality of the cheese analog samples during 60 days storage in a refrigerator. The results showed that by increasing the percentage of the corn extract, hardness and chewability of the cheese analog samples were decreased and with increasing values of WPC and MPC, the values of hardness, gumminess and cohesiveness of cheese analog samples were increased. Based on the results of this study, a corn cheese analog sample with acceptable quality could be produced by using 15% of all the three variables, i.e. corn to water extraction ratio, WPC and MPC.

Keywords: Cheese analog, ultrafiltrated, corn extract, whey protein, milk protein concentrate

* Corresponding Author's Email: hosjooy@asnrukh.ac.ir

ویژگی‌های رئولوژیکی و میکروبی پنیر شبه‌لبنی تهیه شده از ذرت شیرین حاوی کنسانتره‌های پروتئینی آب-پنیر و شیر

مرضیه ویسکرمی[۱]، حسین جوینده*[۲]، محمد حجتی[۲]، محمد نوشاد[۳]، محمد امین مهرنیا[۳]

۱. گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۲- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۶/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۷/۲۹)

چکیده

پژوهش پیش‌رو با هدف دستیابی به فرمولاسیون بهینه پنیر آنالوگ برپایه شیرابه ذرت مشابه با پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالوده انجام گرفت. در این تحقیق، اثـر متغیرهـای پودر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (WPC) و پودر کنسانتره پروتئین شیر (MPC) هر کدام در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد و شیرابه ذرت تهیه شده از دانه‌های ذرت شیرین در دو سطح استخراج ۱۵ و ۲۵ درصد (نسبت دانه ذرت به آب؛ حجمی/وزنی) بر ویژگی‌های پروفایل بافت و کیفیت میکروبی نمونه‌های پنیر آنالوگ طی مدت ۶۰ روز نگه‌داری در یخچال مقایسه گردید. نتایج نشان داد با افزایش درصد استخراج شیرابه ذرت، سختی و قابلیت‌جوندگی نمونه‌های پنیر آنالوگ کاهش و با افزایش مقادیر WPC و MPC، مقادیر سفتی، خاصیت صمغی و پیوستگی نمونه‌ها افزایش یافت. براساس نتایج این تحقیق، نمونه‌ی پنیر آنالوگ ذرت باکیفیت قابل‌قبول می‌تواند با استفاده از سطوح ۱۵ درصد هر سه متغیر درصد استخراج شیرابه ذرت، WPC و MPC تهیه گردد.

واژه‌های کلیدی: پنیر آنالوگ، فراپالوده، شیرابه ذرت، پروتئین آب پنیر، کنسانتره پروتئین شیر

مقدمه

امروزه، تولید و تهیه مواد غذایی منحصر به فرد از نظر ویژگی‌های حسی به‌ویژه طعم و همچنین دارا بودن اثرات سلامت‌بخشی برای مصرف‌کننده، از مهمترین فاکتورهای مورد توجه در تولید مواد غذایی می‌باشد (Vijayalakshmi *et al.*, 2014). از طرفی، چاقی سلامت مردم در کشورهای در حال توسعه و صنعتی را به شدت تهدید می‌کند. چاقی منجر به بیماری‌هایی همانند دیابـت نوع دو، گرفتگی عروق و انواع خاصی از سـرطان مـی‌شـود. کـاهش میزان چربی در رژیم غذایی، روش خوبی برای مدیریت میزان مصرف چربی می‌باشد. بر همین اساس، تقاضـا بـرای محصـولات کـم-چـرب به طور مـداوم در حـال افـزایش است (Romeih *et al.*, 2002). در این میان، تولید و توسعه محصولات لبنی با چربی کاهش یافته، از جمله پنیر که منبعی از پروتئین‌های با کیفیت بالا، کلسیم و مواد تغذیه‌ای دیگر می‌باشند از اهمیـت ویـژه ای برخـوردار است (Michaelidou *et al.*, 2003). پنیر سفید، یکی از انواع رایج و معروف پنیر در منطقه خاورمیانه است. در ایران نیز، این نوع پنیر در شکل فراپالایش مصرف قابل توجهی به عنوان جزء اصلی صبحانه دارد و با توجه به این که معمولاً مقدار چربی این فرآورده بالاست، تلاش‌های زیادی برای کاهش چربی در این ماده غذایی پراهمیت صورت گرفته است (Rudan *et al.*, 1999). پنیرهای کم‌چرب اغلب به دلیل بافت سفت و لاستیکی، و همچنین طعم، ظاهر و احساس دهانی ناخوشایند، با عدم پذیرش مصرف‌کنندگان مواجه می‌شوند (Qing *et al.*, 2015). اعتقاد بر این است که با کاهش چربی، نسبت پروتئین پنیر افزایش و نسبت رطوبت به پروتئین آن کاهش می‌یابد که یکی از نتایج عمده آن، افزایش پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها و به دنبال آن، ایجاد یک بافت سخت و جویدنی برای پنیر خواهد بود. بر این اساس، گفته می‌شود افزایش میزان رطوبت تا حدی که که نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم‌چرب برابر یا بیشتر از نوع پرچرب آن بشود، می‌تواند در بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و بافت این محصولات مؤثر واقع شود (Keie *et al.*, 2013). پروتئین‌های آب-پنیر به‌دلیل برخورداری از قابلیت جذب آب قابل ملاحظه، از پتانسیل بالایی برای استفاده در پنیرهای کم‌چرب به عنوان جایگزین چربی برخوردار می‌باشند (Broadbent *et al.*, 2001). به‌علاوه، پروتئین‌های آب‌پنیر از ارزش غذایی و خواص عمل‌گرایی قابل توجهی برخوردارند (Jooyandeh & Minhas, 2009).

محصولات گیاهی با محتوای پروتئین بالا نظیر سویا و ذرت، به‌دلیل وجود ترکیبات ریزمغذی و فیتوشیمیایی فراوان (نظیر مواد کاروتنوئیدی، فیتواسترولها، ایزوفلاون‌ها و ترکیبات فنولی) و در نتیجه خواص آنتی‌اکسیدانی بالایی که دارند (Adom & Liu,

* نویسنده مسئول: hosjooy@asnrukh.ac.ir

2002; Jooyandeh 2011) می‌توانند مانع از بروز بیماری‌های مختلف به‌ویژه قلبی-عروقی گردند (Richter *et al.*, 2015). بنابراین، امروزه توجه خاصی به این محصولات به‌عنوان جایگزین مناسب پروتئین‌های حیوانی شده است. هر چند محصولات شبه-لبنی سویا نظیر پنیر سویا (توفو[1]) از مهمترین فراورده‌های آنالوگ می‌باشند، اما به‌دلیل ایجاد نفخ و طعمی نامناسب (Bachmann, 2001)، تحقیقات مختلفی به‌منظور تولید سایر محصولات پنیر آنالوگ از گیاهانی نظیر برنج (Tuntragul *et al.*, 2010)، پالپ زردآلو (Mohamed & Shalaby, 2016)، نارگیل (Balogun *et al.*, 2016; Kadbhane e*t al.*, 2019) و ذرت شیرین (Aini *et al.*, 2019a,b) انجام پذیرفته است.

ذرت شیرین (*Zea mays* L. var *saccharata*) یکی از مهمترین گیاهان مورد توجه در ایالت متحده آمریکاست و علاقه به آن در آسیا و اروپا هم در حال افزایش است (Has & Has, 2009). ذرت شیرین به دلیل وجود ژن یا ژن‌هایی که سنتز نشاسته را در آندوسپرم تغییر داده و به آن قابلیت مصرف تازه خوری می‌دهند، به وجود آمده است (Kaukis & Davis, 1986). دانه‌های ذرت شیرین و شیرابه حاصل از آن دارای ارزش غذایی بالایی می‌باشند که شامل مقدار زیادی از پروتئین‌ها و ویتامین‌ها و مواد ریز مغذی هستند. همچنین این محصول غنی از قندهاست (Zirkle, 1952). به‌علاوه، از دیگر ترکیبات مفید دانه ذرت شیرین و شیرابه آن می‌توان به ریز مغذی‌هایی مثل سلنیوم، کروم، روی، مس، نیکل و آهن اشاره کرد. نقش مهم دیگر ذرت، وجود سلولز است که باعث افزایش حرکات مارپیچی روده شده و در نتیجه عبور مواد غذایی و جذب آن در دستگاه گوارش راحت‌تر گردیده، همچنین با جذب کلسترول و گلوکز، سطح آنها در خون کاهش می‌یابد. بنابراین این محصول می‌تواند نقش جلوگیری کننده از تصلب شرایین را ایفا کند (Sujiprihati *et al.*, 2003).

با وجود تحقیقات مختلف در زمینه تولید انواع پنیر آنالوگ نظیر پنیر سفید، موزارلا و پروسس از گیاهان گوناگون، اما تاکنون تحقیقی در مورد تولید پنیر شبه‌لبنی از شیرابه ذرت شیرین و مشابه با ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالوده انجام نشده است. Lee & Son (1985) با استفاده از کازئینات سدیم، ایزوله پروتئینی سویا و نشاسته ذرت، پنیر شبه‌لبنی با کیفیت قابل قبول تولید نمودند. Gholamhosseinpour *et al.* (2018) فرمولاسیون پنیر آنالوگ بازساخته و مشابه با پنیر فتای فراپالوده را با استفاده از روش سطح پاسخ و ترکیبی از شیر سویا، MPC، WPC و مارگارین بهینه‌یابی کردند. Aini *et al.* (2019a) در پژوهشی در مورد تولید پنیر آنالوگ از شیرابه ذرت شیرین با استفاده از پاپایین (به‌عنوان ماده منعقد کننده[2]) و اسید سیتریک (به‌عنوان ماده اسیدی کننده کننده[3]) و به‌کارگیری مالتودکسترین موفق شدند محصولی با خواص حسی مطلوب و دارای بافتی نرم و مالش‌پذیر تولید نمایند. Aini *et al.* (2019b) در پژوهشی دیگر، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و میزان راندمان تولید پنیر آنالوگ تهیه شده از مخلوط شیرابه ذرت شیرین-شیر گاو را با استفاده از دو عصاره گیاهی آناناس و پاپایین (به‌عنوان مواد منعقد کننده) بررسی نمودند. این محصول نیز از خواص حسی و فیزیکوشیمیایی مطلوبی مشابه پنیر لبنی تهیه شده از شیر گاو برخوردار بود. تحقیق حاضر با هدف دستیابی به فرمولاسیون بهینه پنیر آنالوگ بر پایه شیرابه ذرت با ویژگی‌های مشابه پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالوده انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد

به منظور تهیه نمونه شاهد فراپالایش، از شیر خام با کیفیت بالای موجود در کارخانه پگاه لرستان استفاده شد. پودر MPC[4] یا کنسانتره پروتئینی شیر (دارای ۷۰ درصد پروتئین، ۱۶/۵ درصد لاکتوز، ۸ درصد خاکستر و ۰/۵ درصد چربی) از شرکت MILEI آلمان و پودر کنسانتره پروتئینی آب پنیر (دارای ۸۰ درصد پروتئین، ۹ درصد لاکتوز، ۵/۵ درصد خاکستر و ۱ درصد چربی) از شرکت پگاه لرستان خریداری شد. برای تهیه شیرابه ذرت، ذرت شیرین (واریته سینگل کراس ۷۰۴) از بازار محلی اهواز تهیه و واریته آن توسط اعضای هیات علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان مورد تائید قرار گرفت. مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق از درجه خلوص بالا برخوردار بود و از شرکت مرک آلمان خریداری گردید.

روش تولید پنیر

در این تحقیق نمونه‌های پنیر آنالوگ با استفاده از شیرابه ذرت با دو نسبت استخراج متفاوت ۱۵ و ۲۵ درصد (نسبت ذرت به آب؛ حجمی/وزنی) تهیه و با نمونه شاهد (پنیر فراپالوده تهیه‌شده از شیر گاو) مقایسه گردیدند. شیرابه ذرت، توسط استخراج آبی از دانه‌های تمیز و شسته شده ذرت شیرین تهیه گردید. برای تهیه شیرابه‌های ذرت در سطوح مذکور، به‌ترتیب مقدار ۷۵۰ و ۱۲۵۰ گرم دانه ذرت تمیز و شسته شده هر یک با مقدر ۵ لیتر آب داغ

1 Tofu
2 Coagulant
3 Acidulant
4 Milk protein concentrate

۹۰ درجه سلسیوس خرد گردید. سپس مخلوط حاصل با پارچه صاف گردید و فرایند حرارتی در همان دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه انجام پذیرفت. شیرابه‌های به‌دست آمده به‌سرعت تا دمای ۷ درجه سلسیوس خنک و در یخچال نگه‌داری شد و در روز بعد جهت تهیه پنیر آنالوگ مورد استفاده قرار گرفت. به منظور تهیه پنیر آنالوگ، ابتدا شیرابه ذرت با دو نسبت اشاره شده در یک مخلوط‌کن آزمایشگاهی با پودرهای MPC و WPC (با سطوح مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد، حجمی/وزنی) در دمای ۶۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه به همراه ۵ درصد روغن و ۰/۱۵ درصد امولسیفایر تویین ۸۰ مخلوط گردیدند. سطوح مختلف درصد استخراج شیرابه ذرت، پودرهای MPC و WPC، و مقادیر روغن گیاهی و امولسیفایر با توجه به آزمون‌های مقدماتی تعیین گردید. سپس برای ایجاد بافتی همگن و یکنواخت، مخلوط تهیه شده توسط همزن آزمایشگاهی (Electra EK-230M، ساخت ژاپن) به مدت ۹۰ ثانیه و با سرعت ۲۰۰۰۰ دور بر دقیقه هموژن شد. بعد از عملیات فرایند حرارتی (دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت یک دقیقه)، مخلوط تا دمای ۳۴ درجه سلسیوس خنک گردید. پس از کاهش دما، همانند نمونه شاهد تهیه شده از شیر گاو، ابتدا ۰/۰۲ درصد کلرید کلسیم و سپس ۳ درصد مخلوط آنزیم و آغازگر اضافه گردید. سپس بسته‌بندی و گرمخانه‌گذاری (دمای ۳۴ درجه سلسیوس به مدت ۲۵ دقیقه) صورت گرفت، و پس از نمک‌زنی (۱/۵ درصد) و درب بندی، نمونه‌ها به مدت ۱۹ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس و در ادامه به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۵ درجه سلسیوس نگه‌داری گردیدند. پنیر لبنی شاهد با استفاده از شیر تازه گاو و با استناد به روش Danesh *et al.* (2017) در کارخانه پگاه لرستان تولید گردید. نمونه‌های پنیر جهت بررسی بافت و آزمون‌های میکروبی در بازه‌های زمانی ۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روز و جهت بررسی ریزساختار در پایان ۶۰ روز نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفتند.

آزمون بافت

آزمون پروفیل بافت (TPA) غالب‌ترین آزمون تقلیدی مورد استفاده می‌باشد که نمونه به تقلید از اقدامات انسان در طی عمل جویدن دو بار فشرده می‌شود. TPA توسط دستگاه سنجش بافت (Stable Micro System مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) و با استفاده از پروپ شماره P ۰/۵ S، مطابق روش Jooyandeh (2009) انجام گرفت. سرعت پروب ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم شد و پروپ تا ۵۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه‌های پنیر (عمق ۱۰ میلی‌متر) به داخل نمونه نفوذ کرد. سرعت پروب قبل و پس از آزمون به ترتیب ۲ و ۱ میلی‌متر بر ثانیه تنظیم گردید. در این آزمون ویژگی‌های سفتی، پیوستگی، حالت ارتجاعی، صمغی بودن و قابلیت جویدن بررسی شد. نمونه‌های پنیر قبل از آزمایش از یخچال خارج و به مدت نیم ساعت در دمای محیط برای رسیدن به دمایی ثابت نگه‌داری شدند. آزمون بافت در تمامی نمونه‌های پنیر در سه قسمت مختلف پنیر انجام پذیرفت و میانگین نتایج ثبت گردید (Jooyandeh, 2009).

ریز ساختار

بررسی ریزساختار نمونه‌های پنیر به‌وسیله یک میکروسکوپ الکترونی روبشی (Tescan، مدل Vega، ساخت جمهوری چک) با پیروی از روش Jooyandeh *et al.* (2017) صورت پذیرفت. قطعه‌های پنیر با کاردی برنده به مکعب‌هایی به طور تقریبی پنج تا شش میلی‌متر بریده شده و در گلوترآلدهید (۲/۵ درصد شرکت مرک آلمان) به مدت سه ساعت غوطه‌ور شدند تا تثبیت گردند. مکعب‌ها شش بار با آب مقطر شستشو داده شده و با استفاده از سری درجه‌بندی شده‌ی اتانول (۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۹۰، ۹۶ درصد) به مدت ۳۰ دقیقه برای هر درجه، آب‌زدایی شدند. در ادامه، نمونه ها سه بار (ده دقیقه در هر بار) در کلروفرم چربی‌زدایی شده و سپس نمونه‌های چربی‌زدایی شده سرد گردیدند و تا زمانی که در ازت مایع به تکه‌های به طور تقریبی یک میلی‌متری انجماد شکنی بشوند با اتانول پوشانده و در دمای ۴ درجه نگه‌داری شدند. تکه-های پنیر، به کمک چسب نقره بر روی پایه های آلومینیومی نصب گردیده، در یک پوشش دهنده پاشنده (Blazers, type K450x, Bal Tec، ساخت انگلیس) تا نقطه‌ی بحرانی خشک شده و به مدت شش دقیقه با طلا پوشش داده شدند. ریز ساختار نمونه شاهد و نمونه‌های بهینه پنیر آنالوگ در بزرگنمایی ۱۵۰ عکس‌برداری شدند (Jooyandeh *et al.*, 2017).

آزمون‌های میکروبی

نمونه‌های پنیر طی مدت ۶۰ روز نگه‌داری از نظر کیفیت میکروبی (شمارش باکتریهای کلی‌فرم و تعداد کپک و مخمر) مورد ارزیابی قرار گرفتند. شمارش میکروبی، با استفاده از روش کشت مخلوط[1] انجام و کیفیت میکروبی پنیر مطابق با استاندارد ایران (National Standard of Iran, 2406) ارزیابی گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

با توجه به سطوح سه متغیر مختلف درصد استخراج شیرابه ذرت (۱۵ و ۲۵ درصد) و درصدهای مختلف کنسانتره پروتئین شیر و کنسانتره آب‌پنیر (هرکدام در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد)، تعداد

1 Pour plate

۱۸ نمونه‌ی پنیر شبه لبنی تولید گردید و نمونه‌های آنالوگ از نظر ویژگی‌های بافتی، میکروبی و ریز ساختار میکروبی با نمونه شاهد (پنیر لبنی فراپالوده‌ی فاقد شیرابه ذرت) در مدت دو ماه نگه‌داری (پس از گذشت ۱، ۱۵، ۳۰ و ۶۰ روز از تولید) در یخچال (دمای ۷ درجه سلسیوس) بررسی گردید. ارزیابی نمونه‌ها با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و توسط برنامه SPSS ویرایش ۲۰ انجام پذیرفت. همچنین پنیرهای آنالوگ از نظر ویژگی‌های مذکور در پایان مدت ۶۰ روز نگه‌داری با نمونه شاهد (پنیر لبنی فاقد شیرابه، WPC و MPC) از طریق مقایسه ساده میانگین‌ها (آنالیز ANOVA) ارزیابی گردیدند. میانگین کلیه نتایج با کمک آزمون دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه گردیدند. از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ برای ترسیم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های پروفایل بافت (TPA)

سختی

حداکثر نیروی مورد نیاز جهت فشرده شدن نمونه‌ها (معادل ارتفاع اوج نیرو در مرحله فشردن است) می‌باشد (Kelly, 2011). در جدول ۱، نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف بر میزان سفتی آمده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، تمامی اثرات مستقل بر میزان سفتی نمونه‌ها معنی‌دار بود ($p < ۰/۰۵$). همچنین، به غیر از اثر متقابل شیرابه ذرت-MPC و اثر متقابل MPC-WPC که در سطح احتمال یک درصد بر میزان سفتی معنی‌دار گردید، سایر اثرات متقابل بر میزان سفتی نمونه‌های پنیر آنالوگ معنی‌دار نبود ($p > ۰/۰۵$).

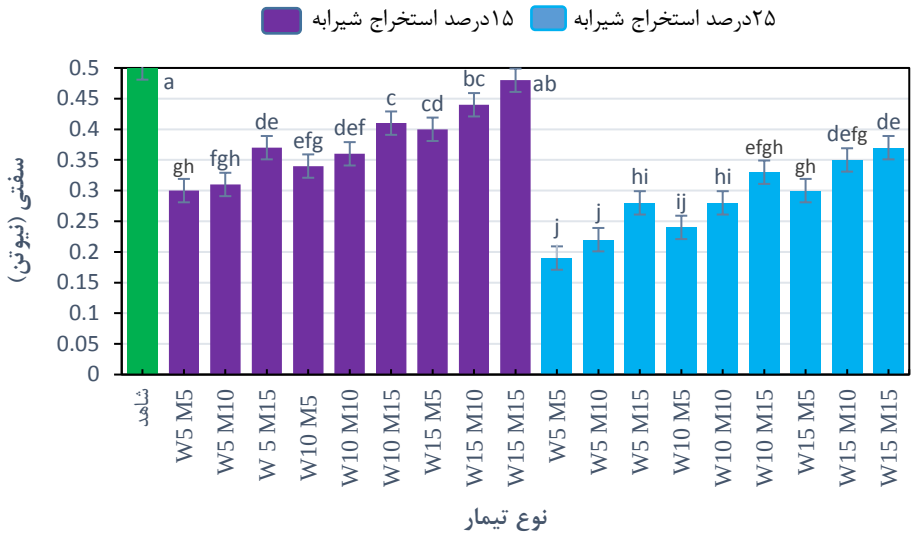
جدول ۱- تأثیر متغیرهای مورد بررسی بر ضرایب رگرسیون ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پنیر آنالوگ

منابع تغییرات	میزان معنی‌داری (p value)				
	سفتی	پیوستگی	ارتجاعی بودن	صمغی	قابلیت جویدن
شیرابه ذرت (درصد)	۰/۰۰۰***	۰/۰۶۷ns	۰/۰۶۰ns	۰/۰۵۴ns	۰/۰۴۸*
WPC (درصد)	۰/۰۰۲**	۰/۰۲۷*	۰/۱۳۴ns	۰/۰۳۹*	۰/۰۹۴ns
MPC (درصد)	۰/۰۰۰***	۰/۰۰۷**	۰/۰۷۲ns	۰/۰۴۷*	۰/۱۵۸ns
زمان نگه‌داری (روز)	۰/۰۴۹*	۰/۱۰۳ns	۰/۰۶۹ns	۰/۲۱۶ns	۰/۱۰۴ns
زمان نگه‌داری × شیرابه ذرت	۰/۱۱۶ns	۰/۰۶۳ns	۰/۰۵۳ns	۰/۱۱۹ns	۰/۰۶۶ns
زمان نگه‌داری × WPC	۰/۰۶۱ns	۰/۰۷۵ns	۰/۱۳۱ns	۰/۰۸۵ns	۰/۲۱۰ns
زمان نگه‌داری ×MPC	۰/۰۸۳ns	۰/۰۸۲ns	۰/۲۵۳ns	۰/۱۰۱ns	۰/۱۸۹ns
شیرابه ذرت × WPC	۰/۲۲۱ns	۰/۰۹۴ns	۰/۱۶۷ns	۰/۰۸۳ns	۰/۱۸۱ns
شیرابه ذرت ×MPC	۰/۰۰۴**	۰/۱۰۸ns	۰/۰۹۶ns	۰/۲۱۷ns	۰/۲۱۰ns
WPC × MPC	۰/۰۷**	۰/۲۲۰ns	۰/۳۲۱ns	۰/۰۸۸ns	۰/۲۰۹ns
WPC× شیرابه ذرت × زمان نگه‌داری	۰/۱۵۳ns	۰/۱۹۰ns	۰/۲۹۱ns	۰/۰۶۹ns	۰/۳۱۱ns
WPC× زمان نگه‌داری ×MPC	۰/۲۸۰ns	۰/۲۱۳ns	۰/۳۸۱ns	۰/۱۳۵ns	۰/۲۹۸ns
WPC× شیرابه ذرت ×MPC	۰/۱۹۴ns	۰/۰۹۶ns	۰/۲۹۴ns	۰/۲۰۱ns	۰/۳۰۱ns
MPC× شیرابه ذرت ×WPC× مدت‌زمان نگه‌داری	۰/۴۱۱ns	۰/۱۷۳ns	۰/۴۳۲ns	۰/۱۴۴ns	۰/۳۲۷ns

ns، *، **و *** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۵$، معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۱$ و معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۰۱$ می‌باشند.

مطابق شکل ۱، افزایش نسبت درصد استخراج شیرابه باعث کاهش سفتی و افزایش WPC و MPC باعث افزایش سفتی شد؛ به‌طوری که بیشترین میزان سفتی در میان پنیرهای آنالوگ مربوط به نمونه تهیه شده از ۱۵ درصد استخراج شیرابه و ۱۵ درصد MPC و WPC و کمترین آن مربوط به نمونه‌ی تهیه شده با ۲۵ درصد استخراج شیرابه و ۵ درصد MPC و WPC بود. علت کاهش سفتی هنگام افزایش درصد استخراج با وجود افزایش پروتئین و سایر ترکیباتی نظیر نشاسته و چربی در شیرابه و در نتیجه در پنیر حاصل از آن، احتمالاً تداخل این ترکیبات در تشکیل مناسب شبکه سه‌بعدی کازئین است؛ چرا که وجود هر ترکیب دیگری به‌جز کازئین سبب کاهش قدرت و انسجام ژل کازئینی دلمه شده با رنین می‌شود (Park *et al.*, 1996). به‌علاوه، پروتئین محلول موجود در شیرابه ذرت، نه تنها نمی‌تواند همانند کازئین نقش خود را به‌خوبی در ماتریکس پنیر ایفا کند، بلکه خود از قدرت ایجاد ژل بسیار پایینی برخوردار است (Myers *et al.*, 1994). Rezaiyan Attar & Hesari (2016) در نتایجی مشابه عنوان کردند که مدول ذخیره و مدول افت پنیرهای آنالوگ موزارلا با افزودن ایزوله‌ی پروتئین سویا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. Kadbhane *et al.* (2019) نیز گزارش کردند که افزایش عصاره یا شیرابه نارگیل در تولید پنیر آنالوگ سبب کاهش سفتی

پنیر گردید. در نتایجی متفاوت، Rezaiyan Attar *et al.* (2014) نشان دادند که افزودن نشاسته سیب‌زمینی اصلاح شده سبب افزایش معنی‌دار مدول ذخیره (G') و مدول افت (G'') پنیر شبه-لبنی موزارلا گردید.



شکل ۱- تأثیر مقادیر استخراج شیرابه ذرت، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (W) و کنسانتره پروتئین شیر (M) بر سفتی نمونه‌های پنیر فراپالوده پس از مدت‌زمان ۶۰ روز نگه‌داری در یخچال. پودر W و M هر یک در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (حجمی/وزنی) در فرمولاسیون پنیر استفاده گردیدند. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح ۵ درصد احتمال می‌باشد.

به‌علاوه، همان‌گونه که در بالا گفته شد، افزایش MPC سبب افزایش سفتی پنیر گردید که احتمالاً دلیل آن افزایش میزان پروتئین یا به عبارت بهتر افزایش نسبت پروتئین به رطوبت در پنیر است (Salvatore *et al.*, 2014; Akin & Kirmaci, 2015). افزایش نسبت پروتئین به رطوبت، پیوستگی شبکه پروتئین را افزایش داده و محصول را سفت‌تر می‌سازد (Fox *et al.*, 2000). Tunick *et al.* (1993) و Bryant *et al.* (1995) نیز اظهار داشتند که عامل اصلی تأثیرگذار روی صفت سفتی، میزان رطوبت پنیر است؛ به‌طوری‌که رابطه معکوسی بین میزان رطوبت و سفتی وجود دارد. همچنین دلیل افزایش سفتی پنیر همگام با افزایش درصد WPC می‌تواند به‌علت دناتوراسیون حرارتی پروتئین‌های آب‌پنیر و بی‌حفاظ شدن گروه‌های سولفیدریل آزاد موجود در ساختار بتالاکتوگلبولین و در نتیجه برقراری اتصال عرضی بتالاکتوگلبولین‌ها با یکدیگر و نیز با مولکول‌های کاپاکازئین باشد (Wong *et al.*, 1996). به این ترتیب، چون پروتئین‌های آب‌پنیر می‌توانند در دمای بالا با یکدیگر و با کازئین‌ها اتصال عرضی برقرار کنند، استحکام پنیر افزایش می‌یابد. Dees (2002) در تحقیقی متفاوت اظهار داشت افزایش WPC بیش از حد ۲ درصد سبب افزایش چندانی در میزان سختی نمی‌شود؛ زیرا در سطوح بالای WPC، میزان لاکتوز محصول افزایش می‌یابد. این لاکتوز اضافی می‌تواند از ترکیب و تجمع پروتئین‌ها جلوگیری کند.

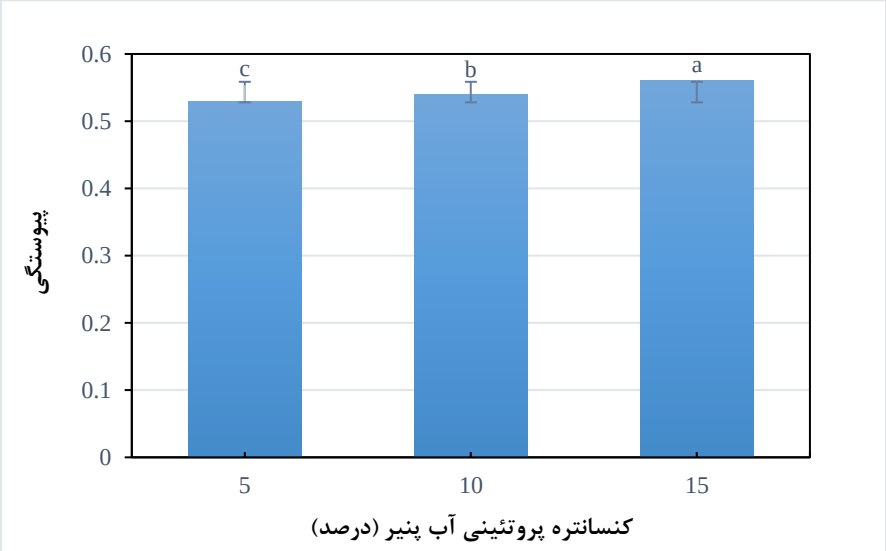
همچنین زمان نگه‌داری نیز به عنوان یک فاکتور اصلی بررسی شد و نتایج نشان داد که با افزایش زمان نگه‌داری میزان سفتی نمونه‌های پنیر کاهش معنی‌داری یافت ($p < ۰/۰۵$). مطالعات انجام‌شده روی پنیرهای مختلف حاکی از نتایج متفاوت ارتباط سفتی با زمان نگه‌داری است. برخی محققین کاهش میزان سفتی پنیر را در مدت زمان نگه‌داری نشان داده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد و دلیل آن را به هیدرولیز بالای CN-α_{S1} نسبت داده‌اند. Gunasekaran & Mehmet (2002) و Ozer *et al.* (2003) بیان نمودند عمده‌ترین تغییری که در طول زمان در اثر هیدرولیز شبکه پروتئینی روی می‌دهد کاهش سختی است. همچنین این محققین کاهش پیوستگی و سختی را در پنیر چدار در طی زمان نشان دادند. در هر حال، Fathollahi *et al.* (2010) افزایش سفتی را طی مدت نگه‌داری پنیر فراپالایش گزارش کردند و افزایش ماده خشک ناشی از سینرسیس را مهم‌ترین دلیل آن دانستند که اثر نرمی ناشی از پروتئولیز را پوشانده و باعث سختی بیشتر نمونه می‌گردد.

پیوستگی

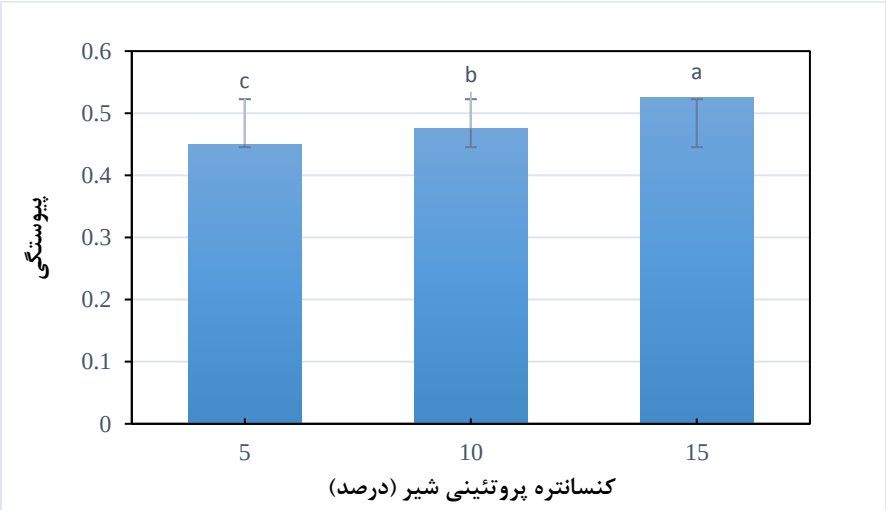
همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، تنها اثر مستقل WPC و MPC بر میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر معنی‌دار شد ($p < ۰/۰۵$) و هیچ‌یک از اثرات متقابل بر میزان پیوستگی نمونه‌ها معنی‌دار نگردید ($p > ۰/۰۵$). هرچند با افزایش نسبت درصد

استخراج شیرابه، میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر کاهش یافت، اما این تغییرات معنی‌دار نگردید ($p > ۰/۰۵$). برخلاف نتایج این تحقیق، Gholamhosseinpour *et al.* (2018) بیان نمودند که با افزایش مقدار شیر سویا از ۵ به ۱۵درصد، میزان پیوستگی به‌طور معنی‌داری در پنیر آنالوگ بازساخته فتای فراپالوده افزایش یافت.

شکل‌های ۲ و ۳، تأثیر WPC و MPC را بر مقادیر پیوستگی بافت نمونه‌های پنیر آنالوگ نشان می‌دهد. طبق این نمودارها، پیوستگی نمونه‌ها با افزایش WPC و MPC افزایش یافت و این تأثیر در هنگام افزودن MPC بیش از WPC بود. افزایش میزان پروتئین پنیر از طریق افزودن WPC یا MPC، سبب تقویت پیوندهای داخلی محصول شده و می‌تواند پیوستگی را افزایش دهد. همچنین فرایند حرارتی شیرابه ذرت (دمای ۹۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ دقیقه)، سبب افزایش پیوستگی ژل پروتئینی گشته و به این ترتیب آب بیشتری نیز در محصول به‌دام میافتد (Yada, 2018). Gholamhosseinpour *et al.* (2018) نیز مطابق با نتایج این تحقیق افزایش قابل توجه پیوستگی را در پنیر آنالوگ با افزایش سطوح WPC و MPC از ۵ به ۱۵ درصد گزارش کردند و این تأثیر را در هنگام افزودن MPC بیش از WPC عنوان نمودند. Jooyandeh (2009) در بررسی اثر افزودن کنسانتره تخمیری آب‌پنیر به دلمه پنیر سفید ایرانی عنوان کرد که پیوستگی با افزایش مقدار کنسانتره تخمیری آب‌پنیر بیشتر می‌شود. در نتایجی متفاوت، Thapa & Gupta (1992) کاهش پیوستگی در پنیر پروسس آنالوگ را در هنگام استفاده از WPC گزارش کردند.



شکل ۲- تأثیر افزودن مقادیر مختلف کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر آنالوگ. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

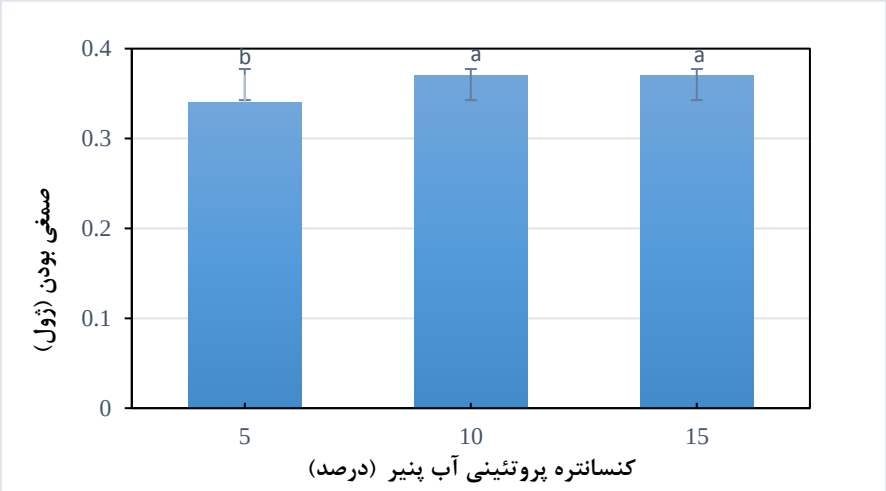


شکل ۳- تأثیر افزودن مقادیر مختلف کنسانتره پروتئین شیر بر میزان پیوستگی نمونه‌های پنیر آنالوگ. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

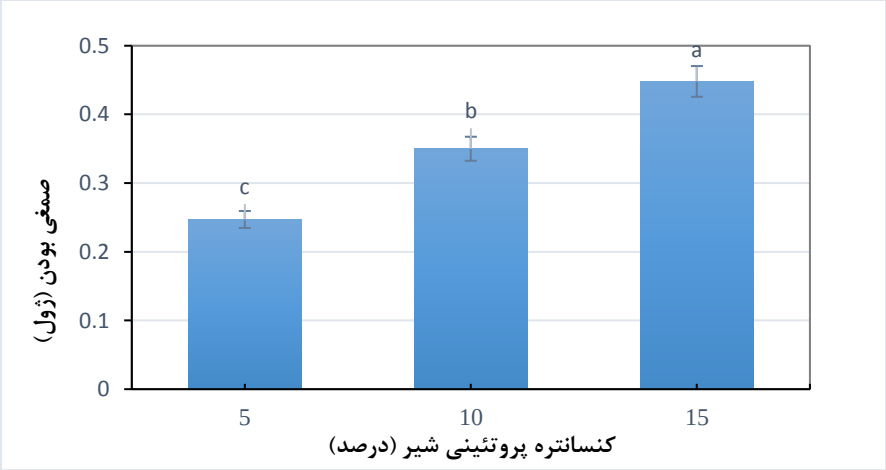
صمغی بودن

صمغی بودن مقدار نیروی مورد نیاز برای از هم پاشیدن نمونه به منظور بلعیدن هست و از حاصل‌ضرب سفتی در چسبندگی محاسبه می‌شود (Kelly, 2011). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، تنها WPC و MPC بر میزان صمغی بودن نمونه-های پنیر معنی‌دار گردید ($p < ۰/۰۵$) و اثرات مستقل درصد استخراج شیرابه و زمان نگه‌داری و همچنین تمامی اثرات متقابل متغیرها بر میزان صمغی بودن نمونه‌ها معنی‌دار نشد ($p > ۰/۰۵$). هرچند همانند پیوستگی، با افزایش نسبت درصد استخراج شیرابه، میزان صمغی بودن نمونه‌های پنیر کاهش یافت، اما همان‌طور که گفته شد، این تغییرات معنی‌دار نگردید ($p > ۰/۰۵$). برخلاف نتایج این تحقیق، Gholamhosseinpour *et al.* (2018) در تحقیقی در مورد تولید پنیر بازساخته آنالوگ فراپالوده حاوی شیر سویا، افزایش قابل توجه صمغی بودن پنیر را هنگام افزایش میزان شیر سویا گزارش نمودند. هر چند این محققین علت افزایش صمغی بودن نمونه‌های پنیر را به افزایش پروتئین پنیر نسبت دادند، اما تفاوت در نتایج مذکور می‌تواند به‌دلیل عواملی نظیر تفاوت در نوع شیرابه گیاهی و در نتیجه میزان و نوع ترکیبات مختلف شیرابه، و همچنین روش تولید پنیر آنالوگ نیز باشد.

شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب تأثیر WPC و MPC بر صمغی بودن بافت نمونه‌های پنیر آنالوگ را نشان می‌دهد. براساس این نمودارها، با افزایش WPC و MPC، میزان صمغی بودن نمونه‌ها افزایش یافت. اما همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بین نمونه ۱۰ و ۱۵ درصد WPC اختلاف معنی‌داری از این نظر وجود نداشت. علت افزایش در صمغیت پنیر، احتمالاً به دلیل افزایش مقدار پروتئین می‌باشد (Romeih *et al.*, 2002). در نتایجی مشابه، Solowiej *et al.* (2010) در تحقیقی در مورد تولید پنیر پروسس آنالوگ از کازئین اسیدی، افزایش قابل توجه صمغی بودن پنیر را همگام با افزایش میزان WPC گزارش نمودند. در هر حال، Henriques *et al.* (2013) گزارش نمودند که افزودن WPC تأثیری در میزان صمغی بودن پنیر ندارد.



شکل ۴- تأثیر افزودن مقادیر مختلف کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر میزان صمغی بودن نمونه‌های پنیر آنالوگ. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۵- تأثیر افزودن مقادیر مختلف کنسانتره پروتئین شیر بر میزان صمغی بودن نمونه‌های پنیر آنالوگ. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

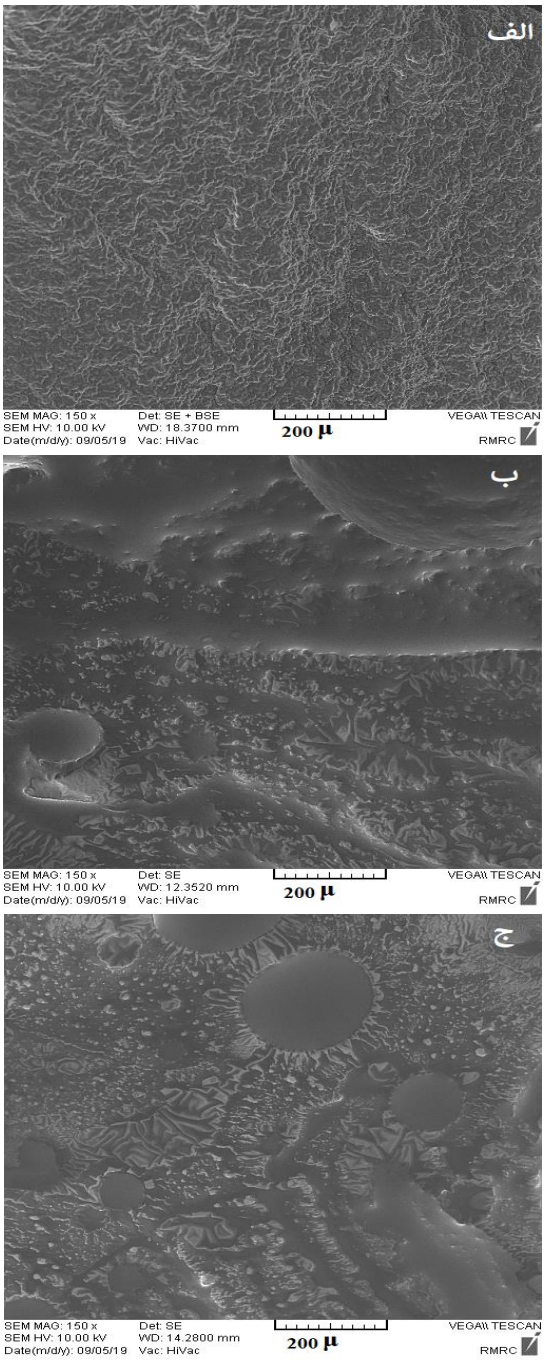
قابلیت جویدن

قابلیت جویدن، کار لازم برای جویدن و خمیر کردن نمونه برای بلع است و از حاصل‌ضرب قابلیت ارتجاعی در میزان صمغی بودن محاسبه می‌شود (Kelly, 2011). همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، قابلیت ارتجاعی پنیر تحت تأثیر متغیرهای مورد آزمایش قرار نگرفت و در مورد قابلیت جویدن نیز فقط درصد استخراج شیرابه معنی‌دار گردید ($p < ۰/۰۵$). با افزایش درصد استخراج شیرابه ذرت از ۱۵ به ۲۵ درصد، قابلیت جویدن نمونه‌ها به‌ترتیب از ۰/۴۷ به ۰/۳۵ نیوتن در میلی‌متر کاهش یافت. به‌علاوه نمونه‌های پنیر آنالوگ نسبت به نمونه شاهد (۰/۵۶ نیوتون در میلی‌متر) از قابلیت جویدن پایین‌تری برخودار بودند. مهمترین دلیل تغییرات بافتی در نمونه‌های پنیر تولیدشده با شیرابه ذرت را می‌توان به نوع پروتئین به‌کار رفته در ساختار این پنیر (نقش کمتر کازئین در شبکه پروتئین) نسبت داد. در نتایجی مشابه، Sharafi *et al.* (2019) نشان دادند که افزودن صمغ نواژل[1] و گالاکتومانان[2] سبب کاهش معنی‌دار قابلیت جویدن پنیر فراپالوده کم‌چرب شد.

بنابر نتایج این پژوهش، افزایش مقدار WPC و MPC به فرمولاسیون پنیر آنالوگ سبب تغییر معنی‌داری در قابلیت جویدن نمونه‌ها نگردید. هرچند Rashidi (2015) در نتایجی متفاوت، افزایش متمایزی در قابلیت جویدن (حالت آدامسی) پنیر سفید کم‌چرب شبه‌لبنی در هنگام به‌کارگیری MPC گزارش نمود، Othman (2008) کاهش معنی‌دار قابلیت جویدن را در هنگام به‌کارگیری WPC در پنیر نرم کم‌چرب مشاهده نمود.

ریز ساختار

تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه شاهد و دو نمونه پنیر آنالوگ با مقادیر استخراج ۱۵ و ۲۵ درصد شیرابه ذرت و سطوح مشابه ۱۵ درصد WPC و MPC پس از ۶۰ روز نگه‌داری در یخچال در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۶ می‌توان مشاهده نمود، نمونه‌های پنیر آنالوگ از ساختاری کاملاً متفاوت و به‌ویژه ساختار بازتری نسبت به نمونه شاهد (پنیر سفید فراپالوده) برخوردار بودند. همچنین در پنیرهای آنالوگ، با افزایش درصد استخراج شیرابه از ۱۵ به ۲۵ درصد، ساختار شبکه پروتئینی پنیر بازتر گردید. علت ساختار بازتر شبکه پروتئینی پنیر با وجود افزایش میزان پروتئین و مواد خشک شیرابه ذرت در نمونه پنیر آنالوگ با ۲۵ درصد استخراج شیرابه، احتمالاً به‌دلیل تداخل این ترکیبات در اتصالات عرضی میان پروتئین‌های شیر و اثر منفی آن در ساختار پنیر است (Park *et al.*, 1996). همچنین استفاده از پودرهـای کنسانتره پروتئینی WPC و MPC در پنیرهای آنالوگ می‌تواند علت دیگر غیریکنواختی بافت و ساختار ریزچه‌ای پنیر در سطح میکروسکوپی باشد (Solowiej *et al.*, 2010).



شکل ۶- تصاویر SEM نمونه‌های پنیر آنالوگ تهیه شده از شیرابه ذرت با نسبت‌های استخراج ۱۵ و ۲۵ درصد (حجمی/وزنی؛ نسبت ذرت به آب) و نمونه شاهد لبنی با درشت‌نمایی ۱۵۰ برابر و مقیاس ۲۰۰ میکرون. الف- پنیر لبنی شاهد (پنیر سفید فراپالوده لبنی)، ب- پنیر آنالوگ حاوی ۱۵ درصد استخراج شیرابه ذرت، ۱۵ درصد MPC و ۱۵ درصد WPC و ج- پنیر آنالوگ حاوی ۲۵ درصد استخراج شیرابه ذرت، ۱۵ درصد MPC و ۱۵ درصد WPC.

1 Novagel
2 Galactomannan

خصوصیات میکروبی

شمارش کلی‌فرم

با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس خصوصیات میکروبی (جدول ۲)، نتایج کلی‌فرم نمونه‌ها در تمامی موارد و در تمامی مدت زمان نگه‌داری منفی بود و معنی‌دار نشد که این امر حاکی از رعایت شرایط بهداشتی در طی تولید و نگه‌داری است. همچنین pH پایین پنیرهای تهیه شده می‌تواند دلیل جلوگیری رشد کلی‌فرم‌ها در محصول باشد. در نتایجی مشابه، Muir *et al.* (1999) شمارش کلی‌فرم را در تمامی نمونه‌های پنیر (پروسس با نمونه‌های آنالوگ) طی مدت ۶۰ روز نگه-داری منفی گزارش کردند.

شمارش کپک و مخمر

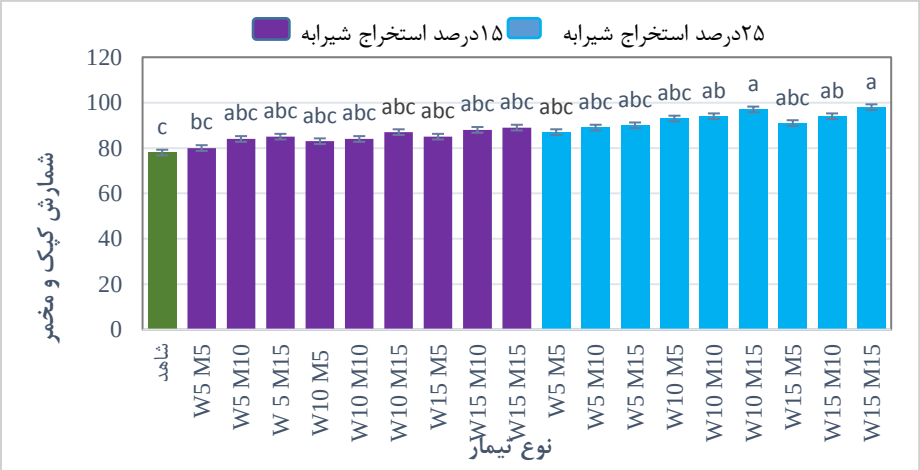
نتایج تجزیه واریانس تأثیر متغیرهای مختلف بر تعداد کپک و مخمر نمونه‌های پنیر آنالوگ نشان داد که هرچند با افزایش سطوح متغیرهای آزمایش (درصد استخراج شیرابه، MPC و WPC) و همچنین افزایش زمان نگه‌داری تعداد کپک و مخمر در نمونه‌ها افزایش یافت، اما تنها اثر MPC ($p < ۰/۰۰۱$) و زمان نگه‌داری ($p < ۰/۰۱$) بر شمارش کپک و مخمر معنی‌دار شد (جدول ۲). وجود کپک‌ها و مخمرها در پنیر باعث کاهش زمان نگه‌داری، ایجاد بو و طعم نامطبوع و تغییر رنگ در سطح آن شده و به‌علت تولید متابولیت‌های سمی (مایکوتوکسین‌ها) می‌توانند باعث بروز مسمومیت‌های قارچی در انسان شود (Mosallaie *et al.*, 2020). لذا به علت اهمیت آن‌ها در کیفیت مواد غذایی، میزان مجاز آن‌ها در استاندارد ملی ایران تعیین‌شده است.

براساس نتایج بدست آمده، هرچند با افزایش مقدار MPC و زمان نگه‌داری تعداد کپک و مخمر افزایش یافت، اما مقدار آن در تمامی نمونه‌های پنیر کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران (<۱۰۰) بود (شکل ۷). Muir *et al.* (1999) در نتایجی مشابه، تفاوت معنی-داری از نظر تعداد کپک و مخمر میان نمونه‌های پنیر پروسس آنالوگ (حاوی نشاسته اصلاح شده و پروتئین‌های آب‌پنیر) با نمونه شاهد مشاهده نکردند ($p>۰/۰۵$) و تعداد کپک و مخمر در تمامی نمونه‌های پنیر پروسس (آنالوگ و شاهد) را پایین‌تر از حد مجاز اعلام کردند. همانند نتایج تحقیق حاضر، این محققین تغییرات معنی‌داری در شمارش کپک و مخمر نمونه‌ها طی مدت ۶۰ روز نگه‌داری گزارش نمودند.

جدول ۲- ضرایب رگرسیون پاسخ‌های محتوی خصوصیات میکروبی نمونه پنیر آنالوگ طی مدت ۶۰ روز نگه‌داری در یخچال

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		کلی‌فرم	کپک و مخمر
شیرابه ذرت (درصد)	۱	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
WPC (درصد)	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۲۵^{ns}
MPC (درصد)	۲	۰/۰۰^{ns}	۱/۰۵****
مدت‌زمان نگه‌داری (روز)	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۸**
شیرابه ذرت × مدت‌زمان نگه‌داری	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۰^{ns}
مدت‌زمان نگه‌داری × **WPC**	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۸^{ns}
مدت‌زمان نگه‌داری × **MPC**	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۱۰۴*
شیرابه ذرت × **WPC**	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۴^{ns}
شیرابه ذرت ×**MPC**	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۰^{ns}
WPC × **MPC**	۲	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
WPC× شیرابه ذرت ×**MPC**	۴	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۷^{ns}
WPC× شیرابه ذرت ×**MPC** × مدت‌زمان نگه‌داری	۴	۰/۰۰^{ns}	۰/۰۱^{ns}
خطا	۴۱	۰/۰۱	۰/۰۰

ns، *، **، *** و **** به ترتیب نشان‌دهنده عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح $p<۰/۰۵$، معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۱$، معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۰۱$ و معنی‌داری در سطح $p < ۰/۰۰۰۱$ می‌باشند.



شکل ۷- تأثیر مقادیر استخراج شیرابه ذرت، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (W) و کنسانتره پروتئین شیر (M) بر شمارش کپک و مخمر نمونه‌های پنیر فرا پالوده پس از مدت‌زمان ۶۰ روز نگه‌داری در یخچال. پودر W و M هر یک در سطوح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد (حجمی/وزنی) در فرمولاسیون پنیر استفاده گردیدند. حروف کوچک انگلیسی متفاوت روی ستون‌ها نشانهٔ اختلاف معنی‌داری تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند.

براساس نتایج بدست آمده، هرچند با افزایش مقدار MPC و زمان نگه‌داری تعداد کپک و مخمر افزایش یافت، اما مقدار آن در تمامی نمونه‌های پنیر کمتر از حد مجاز تعیین شده توسط استاندارد ملی ایران (<۱۰۰) بود (شکل ۷). Muir *et al.* (1999) در نتایجی مشابه، تفاوت معنی‌داری از نظر تعداد کپک و مخمر میان نمونه‌های پنیر پروسس آنالوگ (حاوی نشاسته اصلاح شده و پروتئین‌های آب‌پنیر) با نمونه شاهد مشاهده نکردند (p>۰/۰۵) و تعداد کپک و مخمر در تمامی نمونه‌های پنیر پروسس (آنالوگ و شاهد) را پایین‌تر از حد مجاز اعلام کردند. همانند نتایج تحقیق حاضر، این محققین تغییرات معنی‌داری در شمارش کپک و مخمر نمونه‌ها طی مدت ۶۰ روز نگه‌داری گزارش نمودند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که افزایش درصد استخراج شیرابه ذرت سبب کاهش سفتی نمونه‌های پنیر کم‌چرب آنالوگ گردید، اما افزایش میزان WPC و MPC باعث افزایش سفتی نمونه‌ها شد. به‌علاوه، تعداد کلی‌فرم تحت تأثیر متغیرهای فرآیند قرار نگرفت (p > ۰/۰۵). بنابراین هرچند استفاده از شیرابه ذرت موجب نامطلوب شدن بافت و نرمی بیش از حد پنیر گردید، اما نتایج به‌دست آمده نشان داد که با استفاده از تلفیق میزان بهینه‌ای از کنسانتره‌های پروتئینی آب‌پنیر و شیر (۱۵ درصد WPC و MPC) در شیرابه ذرت (با مقدار ۱۵ درصد استخراج)، می‌توان پنیر کم‌چرب آنالوگی مشابه پنیر فراپالایش تولید نمود که با توجه به ویژگی‌های بافتی، ریزساختار، و کیفیت میکروبی مطلوب، مورد توجه و پسند عموم مصرف‌کنندگان واقع شود. بنابراین، با توجه به ساده‌تر بودن روش تولید و خواص سلامت‌بخشی بالاتر این پنیر در مقایسه با پنیر لبنی سفید فراپالوده، تولید و مصرف این محصول عمل‌گرا توصیه می‌شود.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

REFERENCES

Adom, K. K. & Liu, R. H. (2002). Antioxidant activity of grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 6182-6187.

Aini, N., Prihananto, V., Sustriawan, B., Romadhon, D. & Ramadhan, R. N. (2019a). The formulation of cheese analogue from sweet corn extract. *International Journal of Food Science* (Hindawi), Volume 2019, Article ID 8624835, 1-8.

Aini, N., Sustriawan, B., Prihananto, V. & Heryanti, T. (2019b). Characteristics of cheese analogue from corn extract added by papain and pineapple extract. *Earth and Environmental Science* (IOP Publishing), 255, 012016.

Akin, M. S., & Kirmaci, Z. (2015). Influence of fat replacers on the chemical, textural and sensory properties of low-fat Beyaz pickled cheese produced from ewe's milk. *International Journal of Dairy Technology*, 68(1), 127-134.

Bachmann, H. P. (2001). Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal*, 11, 505–515.

Balogun, M. A., Kolawole, F. L., Joseph, J. K., Adebisi, T. T. & Ogunleye, O. T. (2016). Effect of fortification of fresh cow milk with coconut milk on the proximate composition and yield of warankashi, a traditional cheese. C*roatian Journal of Food Science & Technology*, 8 (1), 10-14

Broadbent, J. R., McMahon, D. J., Oberg, C. J., & Welker, D. L. (2001). Use of exopolysaccharide-producing cultures to improve the functionality of low fat cheese. *International Dairy Journal*, 11(4), 433-439.

Bryant, A., Ustunol, Z., & Steffe, J. (1995). Texture of

Cheddar cheese as influenced by fat reduction. *Journal of Food Science*, 60(6), 1216-9.

Danesh, E., Jooyandeh, H., & Goudarzi, M. (2017). The influence of transglutaminase treatment on physicochemical, rheological and organoleptical attributes of low-fat ultrafiltrated cheese incorporated with whey proteins during shelf life. *Journal of Food Technology and Nutrition*, 14(4), 25-36 (In Farsi).

Dees A. L. (2002). Effect of various ingredients on a model process cheese system. *Dissertation*, Raleigh: North Carolina State University, M.C. Faculty of Food Science.

Fathollahi, I., Hesari, J., Azadmard, S., & Oustan, S. (2010). Influence of proteolysis and soluble calcium levels on textural changes in the interior and exterior of Iranian UF white cheese during ripening. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 66, 844-849.

Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, M. T. & McSweeney, P. L. H. (2000). *Fundamentals of Cheese Science*. Springer- Verlag, US.

Gholamhosseinpour, A., Mazaheri Tehrani, M. & Razavi, M. A. (2018). Optimization of textural characteristics of analogue UF-Feta cheese made from dairy and non-dairy ingredients. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(6), 80-91 (In Farsi).

Gunasekaran, S., & Mehmet Ak, M. (2002). Cheese rheology and texture. *International Dairy Journal*, 11, 543-551.

Has, V., & Has, I. (2009). Genetic inheritance of some important characters of sweet corn. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37 (1), 244-248.

Henriques, M., Gomes, D. Pereira, C. & Gill, M. (2013). Effects of liquid whey protein concentrate on functional and sensorial properties of set yogurts and fresh cheese. *Food Bioprocess*, 6, 952-963.

Jooyandeh, H. (2011). Soy Products as Healthy and Functional Foods. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 7(1), 71-80.

Jooyandeh, H. (2009). Effect of fermented whey protein concentrate on texture of Iranian white cheese. *Journal of Texture Studies*, 40(5), 497-510.

Jooyandeh, H. & Minhas K. S. (2009). Effect of addition of fermented whey protein concentrate on cheese yield and fat and protein recoveries of feta cheese**.** *Journal of Food Science and Technology*, 46(3), 221-224.

Jooyandeh, H., Goudarzi, M., Rostamabadi, H., & Hojjati, M. (2017). Effect of Persian and almond gums as fat replacers on the physicochemical, rheological, and microstructural attributes of low-fat Iranian White cheese. *Food Science & Nutrition.* 5, 669-677.

Kadbhane, V. S., Shelke, G. N. & Thorat, S. L. (2019). Preparation of non dairy cheese analogue enriched with coconut milk. *The Pharma Innovation Journal*, 8(10), 56-60

Kaukis, K. & Davis, D. W. (1986). Sweet corn breeding. In: Basset, M. J., (ed), *Breeding vegetable crop*, Westport, CN: AVI, 477-512

keie, S., Alseth, G. M., Østlie, H., Abrahamsen, R. K., Johansen, A. G., & Øyaas, J. (2013). Improvement of the quality of lowfat cheese using a two-step strategy. *International Dairy Journal*, 33(2), 153-162.

Kelly, P. (2011). Milk Protein Concentrate. In: Fuquay J. W., Fox, P. F. & McSweeney, P. L. H. (eds), *Encyclopedia of Dairy Sciences* (2nd ed.), Vol. 3, pp. 848-854, San Diego, Academic Press, CA, USA.

Lee, C. H. & Son, H. S. (1985). The textural properties of imitation cheese by response surface analysis. *Korean Journal of Food Science & Technology*, 17, 361-370.

Michaelidou, A., Kastsiari, M., Kondyli, E., Voutsinas, L. & Alishanidis E. (2003). Effect of a commercial adjunct culture on proteolysis in low fat Fata type cheese. *International Dairy Journal*, 13, 179-198.

Mohamed, A. G. & Shalaby, S. M. (2016). Texture, chemical properties and sensory evaluation of aspreadable processed cheese analogue made with apricot pulp (*Prunus armeniaca* L.). *International Journal of Dairy Science*, 11(2), 61–68.

Mosallaie, F., Jooyandeh, H., Hojjati, M. & Fazlara, A. (2020). Biological reduction of aflatoxin B1 in yogurt by probiotic strains of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Science and Biotechnology*, 29, 793-803.

Muir, D. D., Tamime, A. Y., Shenana, M. E., & Dawood, A. H. (1999). Processed cheese analogues incorporating fat-substitutes: 1.Composition, microbiological quality and flavor changes during storage at 5°C. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 32, 41-49.

Myers, D. J., Hojilla-Evangelista, M. P. & Johnson, L. A. (1994). Functional properties of proteins extracted from flaked, defatted, whole corn by ethanol/alkali during sequential extraction processing. *Journal of American Oil Chemists Society*, 71, 1201-1204.

National Standard of Iran. (2019). Microbiology of milk and milk products –Specifications and test methods– Amd. 1., No. 2406, *Iranian Institute of Standards and Industrial Research*, 1-7.

Othman, M. (2008). Improvement low fat soft white pickled-cheese using some exoploysaccharide-producing cultures and whey protein concentrate. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Egypt.

Ozer, B. H., Robinson, R. K., & Grandison, A. S. (2003). Textural and microstructural properties of ultrafiltrated cheese (a white-brined Turkish cheese). *International Journal of Dairy Technology*, 56, 171-176

Park, S.Y., R. Niki, & K. Nakamura. (1996). Rheological behavior of casein micelles and reconstituted skim milk gels: the effects of temperature on gelation induced by rennet. *International Food Science Technology*, 2, 103–107.

Qing, G., Zhang, C., Song, D., Li, P. & Zhu, X.(2015).

Abadi, M. (2019). Optimization and evaluation of textural properties of ultra-filtrated low-fat cheese containing galactomannan and Novagel gum. *Mljekarstvo*, 69(4), 239-250.

Solowiej, B., Mleko, S., Gustaw, W. & Udeh, K. O. (2010). Effect of whey protein concentrates on texture, meltability and microstructure of acid casein processed cheese analogs. *Milchwissenschaft*, 65(2), 169-172.

Sujiprihati, S. S., Ghizan, B. & Eltahir Siddig, A.(2003). Hertability, performance and correlation studies on single cross hybrids of tropical maize. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2(1), 51-57.

Thapa, T.B. & Gupta V.K. (1992). Rheology of processed cheese foods with added whey protein concentrates. *Indian Journal of Dairy Science*, 45, 88-92.

Tunick, M. H., Malin, E. L., Smith, P. W., Shieh, J. J., Sullivan, B. C., Mackey, K. L., (1993) Proteolysis and rheology of low fat and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. *Journal of Dairy Sciences*, 76(12), 3621-8.

Tuntragul, S. Surapat, S. & Hongsprabhas, P. (2010). Influence of rice bran oil and rice flours on physicochemical properties of a mozzarella cheese analog. *Kasetsart Journal - Natural Science*, 44(5), 924–934.

Vijayalakshmi, V. I. Stuart, C. & Smith, S. G.(2014). Consumer acceptability and antioxidant potential of probiotic-yogurt with spices. *LWT- Food Science and Technology*, 55, 255-262

Wong, D. W. S., Camirand W. M, Pavlath, A. E, Parris, N. & Feriedman, M. (1996). Structures and functionalities of milk proteins. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(8), 807- 844

Yada, R. Y. (2018). Proteins in food processing. (2nd ed.), USA, CRC press, p. 106.

Zirkle, C. (1952). Early ideas on inbreeding and crossbreeding. In: Go wen, J. W. (ed), *Heterosis*, Chap 1. Iowa State College Press, Ames, pp 1–13.

Enhancing vitamin B12 content in soy-yogurt by *Lactobacillus reuteri*. *International Journal of Food Microbiology*, 206, 56-59.

Rashidi, H. (2015). Chemical, sensory and physical characteristics of low-fat white cheese, produced by standardized milk with milk protein concentrate. *Journal of Food Research*, 25, 517-525 (In Farsi).

Rezaiyan Attar, F. & Hesari, J. (2016). The dynamic (oscillatory) rheological properties of imitation pizza cheese containing soy protein isolate as a partial caseinate substitute. *Journal of Food Science and Technology*, 13(58), 131-144 (In Farsi).

Rezaiyan Attar, F., Hesari, J. & Jodeiri, H. (2014). The dynamic (oscillatory) rheological properties of imitation pizza cheese containing modified potato starch as a partial caseinate substitute. *Journal of Food Research*, 24(2), 291-306 (In Farsi).

Richter, Ch. K., Skulas-Ray, A, C., Champagne, C. M. & Kris-Etherton P. M. (2015). Plant Protein and Animal Proteins: Do They Differentially Affect Cardiovascular Disease Risk? *Advances in Nutrition*, 6(6), 712-728

Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*, 12(6), 525-540.

Rudan, M. A., Barbano, D. M., Joseph Yun, J., & Kindstedt, P. S. (1999). Effect of fat reduction ochemical composition, proteolysis, functionality, and yield of Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science*, 82(4), 661-672.

Salvatore, E., Pes, M., Mazzarello, V., & Pirisi, A. (2014). Replacement of fat with long-chain inulin in a fresh cheese made from caprine milk. *International Dairy Journal*, 34(1), 1-5.

Sharafi, Sh., Nateghi, L., Eyvazzade, O. & Ebrahimi Taj