مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال هشتم، شماره 2، تابستان 1392، صفحات 102-91

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و حسی پنیر تقلیدی حاوی کنسانتره‌ی پروتئینی آب‌پنیر و پنیر اصلاح شده‌ی آنزیمی لیقوان

مرضیه حسینی[1]، محمد باقر حبیبی نجفی[2]، محبت محبی[3]

1- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد پست الکترونیکی: marziehossini@yahoo.com
2- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: 91/3/23 تاریخ پذیرش: 91/7/23

چکیده

سابقه و هدف: پنیرهای تقلیدی محصولاتی مشابه پنیر هستند که از اختلاط ترکیبات منفرد نظیر چربی، پروتئین، آب و اسیدهای خوراکی به همراه مخلوطی از نمک‌های امولسیون‌کننده تهیه می‌شوند. منبع پروتئین اصلی در محصولات پنیر تقلیدی بر پایه‌ی لبنی و بخشی لبنی، کازئین رنت یا کازئینات‌های سدیم و کلسیم است. کازئین رنت به دلیل ویژگی‌های عملکردی و طعم مناسب به دیگر منابع ترجیح داده می‌شود، اما در این پژوهش به دلیل عرضه بیشتر و قیمت مناسب‌تر کازئینات سدیم در ایران، از این منبع پروتئینی استفاده شد و از کنسانتره‌ی پروتئینی آب‌پنیر (WPC) و پنیر اصلاح شده آنزیمی (EMC) لیقوان به منظور اصلاح خصوصیات عملکردی و حسی پنیر تقلیدی حاصل استفاده شد.

مواد و روش‌ها: پنیر تقلیدی با سه سطح WPC (صفر، 1/5 و 3 درصد) و سه سطح EMC (صفر، 2/5 و 5 درصد) فرموله شد. قابلیت ذوب و رنگ محصول با روش پردازش تصویر ارزیابی شد. دیگر ویژگی‌های بافتی شامل سختی، چسبندگی، پیوستگی و قابلیت ارتجاعی با استفاده از دستگاه آنالیز بافت مورد بررسی قرار گرفتند. آزمون‌های شیمیایی با روش‌های متداول و ارزیابی حسی با روش هدونیک 5 امتیازی انجام شد.

یافته‌ها: همه‌ی ویژگی‌های بافتی تحت تأثیر سطوح متفاوت WPC و EMC قرار گرفتند ($p<0/05$). آزمون‌های شیمیایی نشان دادند که افزایش هر دو شاخص، مقدار پروتئین، pH و خاکستر را در پنیر تقلیدی تولید شده تحت تأثیر قرار می‌دهد ($p<0/05$) اما اختلاف معنی‌داری در میزان چربی، نمک و رطوبت نمونه‌ها مشاهده نشد. تأثیر هر دو فاکتور مورد بررسی بر شاخص‌های رنگی معنی‌دار تشخیص داده شد ($p<0/05$). در آزمون حسی انجام شده ارزیاب‌ها تفاوت معنی‌داری را برای پذیرش‌کلی نمونه‌های حاوی سطوح 2/5 و 5 درصد از EMC گزارش نکردند.

نتیجه‌گیری: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی پنیر تقلیدی به طور معنی‌داری ($p< 0/05$) تحت تأثیر فاکتورهای WPC و EMC قرار گرفته و میزان این تأثیرپذیری وابسته به سطوح فاکتورهای مورد استفاده بود.

واژگان کلیدی: پنیر اصلاح شده‌ی آنزیمی لیقوان، پنیر تقلیدی، خواص فیزیکی و شیمیایی، خواص حسی، کنسانتره‌ی پروتئینی آب‌پنیر

• مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش آگاهی عمومی از خطرات ناشی از کلسترول و مقدار بالای اسید چرب اشباع در چربی‌های حیوانی، محبوبیت انواع پنیر تقلیدی که در آن‌ها چربی شیر با یک چربی گیاهی جایگزین شده، افزایش پیدا کرده است. چنین محصولاتی در کاهش ابتلا به بیماری‌های قلبی و شریانی مناسب هستند (1). پنیرهای تقلیدی محصولاتی مشابه پنیر هستند که حاوی روغن یا چربی‌های امولسیون شده در فاز آبی هستند و ترکیبات پروتئینی به عنوان پرکننده و تثبیت‌کننده امولسیون در ساختار آن‌ها حضور دارند. این ترکیبات از طریق کاهش کشش بین سطحی میان فاز آبی و قطرات روغن و افزایش ویسکوزیته‌ی فاز آبی و در نتیجه، کاهش برخورد میان قطرات روغن،

امولسیون روغن در آب را تثبیت می‌کنند. ترکیبات دیگری نظیر اسیدی‌کننده‌ها، نگهدارنده‌ها، رنگ‌دهنده‌ها و طعم‌دهنده‌ها نیز ممکن است به فرمولاسیون این محصولات اضافه شوند (2). کاربرد اصلی این محصولات در غذاهای آماده و فرموله شده‌ای است که توسط مؤسسات صنعتی و خدماتی تولید می‌شوند. به عنوان مثال، این محصولات در تهیه‌ی روکش پیتزا، به صورت برش‌هایی نازک در چیزبرگرها، در تهیه‌ی سالادها، ساندویچ‌ها و سس‌های پنیر به کار می‌روند (3). قابلیت برش‌پذیری، رنده‌پذیری و ذوب‌پذیری از ویژگی‌های عملکردی مهم این محصولات است.

کازئین رنت (کازئین تولید شده به شیوه‌ی آنزیمی) اصلی‌ترین و مناسب‌ترین منبع پروتئینی در این محصولات به شمار می‌آید. این منبع پروتئینی نسبت بالایی از کلسیم به کازئین دارد (36 میلی‌گرم کلسیم در هر گرم کازئین). به همین دلیل با استفاده از مخلوط صحیحی از نمک‌های امولسیون‌کننده، درجه‌ی تفکیک کلسیم از کازئین و تجمع پاراکازئین به آسانی قابل کنترل است. به این ترتیب، درجه‌ی مطلوبی از جریان‌پذیری و استحکام در هنگام پخت پنیر تقلیدی ایجاد می‌شود. هیدراته شدن بیش از حد کازئین رنت (ایجاد مقدار زیادی پاراکازئینات سدیم و حالتی مشابه با استفاده از کازئینات سدیم در فرمولاسیون) موجب امولسیفیکاسیون بیش از حد چربی می‌شود. این پدیده، خامه‌ای شدن (creaming) بافت پنیر را به دنبال خواهد داشت. در واقع به هر دو خاصیت عملکردی مطرح در پنیرهای تقلیدی یعنی استحکام و ذوب‌پذیری در اثر حرارت لطمه وارد می‌شود. بنابراین، چنین محصولی برای استفاده در روکش پیتزا و بسیاری کاربردهای دیگر مناسب نخواهد بود (4). به عبارتی در مقایسه با کازئین رنت، کازئینات سدیم تمایل بیشتری به هیدراته شدن دارد و درجه‌ای از تجمع کازئین را ایجاد می‌کند که قابلیت جریان‌پذیری قابل قبول (و نه مطلوب) بوده، اما استحکام رضایت‌بخش نخواهد بود (3). به علاوه، کازئینات سدیم حاوی کلسیم کمی است و به سختی می‌تواند شبکه‌ی مستحکمی را تشکیل دهد (4).

در کشور ما کازئینات سدیم نسبت به کازئین رنت فراوان‌تر است و قیمت مناسبتری دارد. از این رو، یکی از اهداف این تحقیق بهبود استحکام پنیر تقلیدی بر پایه‌ی کازئینات سدیم با استفاده از کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر WPC (Whey Protein Concentrate) بود. پروتئین‌های آب‌پنیر توانایی امولسیون‌کنندگی ضعیف‌تری نسبت به کازئین و کازئینات‌ها دارند، ولی به تغییرات pH حساسیت کمتری نشان می‌دهند (4). هنگامی که پروتئین‌های آب‌پنیر در دمایی بیش از دمای دناتوراسیون حرارت داده می‌شوند، ساختار بازشده‌ای از ملکول پروتئین ایجاد می‌شود. این تغییر آرایش فضایی قسمت‌های هیدروفوبیک را در سطح ملکول قرار می‌دهد و به فعل و انفعالات سولفیدریل- دی‌سولفید منجر خواهد شد که در نهایت ایجاد تجمع می‌کند. پروتئین‌های آب‌پنیر که در دمای بالا حرارت دیده‌اند، می‌توانند در دماهای پایین در حضور نمک‌های کلریدسدیم یا کلرید کلسیم و به ویژه با کاهش pH ژل محکم تشکیل دهند (5). *Solowiej* و همکاران در پژوهشی در سال 2007 از 1درصد WPC به عنوان جایگزینی برای کازئین اسیدی در تولید پنیر پروسس آنالوگ استفاده کردند. وی دلیل افزایش سختی و کاهش قابلیت ذوب محصول در حضور پروتئین‌های آب‌پنیر را به تشکیل پیوندهای دی‌سولفید میان کاپاکازئین و بتالاکتاگلبولین نسبت داد و بیان کرد که آلفالاکتالبومین نیز می‌تواند وارد واکنش با کازئین شود. این پژوهشگر اظهار داشت که با جایگزینی 1% از WPC با 1% کازئین اسیدی، می‌توان پنیر پروسس آنالوگی با مواد جامد بیشتر تولید کرد. این موضوع می‌تواند مقدار کازئین مورد نیاز در ساختار پنیر آنالوگ را کاهش دهد و در نتیجه بهای تولید محصول کاهش خواهد یافت (6). *Mleko* و همکاران در سال 2001 پروتئین‌های آب پنیر اتصال عرضی یافته را از طریق حرارت دادن دیسپرسیون‌های پروتئینی آب پنیر برای برقراری اتصالات عرضی دی‌سولفیدی تولید و به سیستم پنیر پروسس تقلیدی اضافه کردند. با افزایش سطح پروتئین‌های آب پنیر اتصال عرضی یافته، افزایش چشمگیری در سفتی و کاهش قابل ملاحظه‌ای در قابلیت ذوب پنیر پروسس ایجاد شد. آن‌ها بیان نمودند که جایگزینی 4% کازئین رنت با 2% از پلیمرهای پروتئینی آب پنیر می‌تواند شبه پنیر پروسسی با بافت و قابلیت ذوب یکسان تولید کند (7).

فقدان طعم مناسب یکی از معایب پنیرهای تقلیدی است. برای حل این مشکل، سیستم‌های ارائه‌دهنده‌ی طعم جهت کمک به افزایش شباهت پنیرهای تقلیدی به انواع طبیعی به کار برده می‌شوند که می‌توانند منشأ طبیعی یا مصنوعی داشته باشند. پنیرهای اصلاح شده‌ی آنزیمی EMC (Enzyme Modified Cheese) به عنوان محصولاتی با طعم چندین برابر پنیر معمولی مطرح هستند که منشأ طبیعی

دارند و به روش آنزیمی از پنیرهایی با دوره رسیدن متفاوت حاصل می‌شوند (8). تولید EMC شامل افزودن آنزیم یا میکروارگانیسم به پنیر نیمه رسیده یا نارس، گرمخانه‌گذاری تا رسیدن به طعم مطلوب و ختم عمل با حرارت‌دهی است که در نهایت شدت طعم پنیر حاصل به بیش از 30 برابر شدت طعم پنیرهای طبیعی می‌رسد (9). *Noronha* و همکاران در سال 2008 از EMC چدار با سطوح مختلف لیپولیز برای برطرف کردن عیوب مربوط به طعم پنیر تقلیدی کم‌چرب و با چربی متوسط استفاده کردند. صرف نظر از ساختار EMC (درجه‌ی لیپولیز)، ارزیاب‌ها همه پنیرهای تقلیدی با چربی متوسط را مشابه رتبه‌بندی کردند و پنیرهایی با چربی کم که با EMC در سطح لیپولیز کم و متوسط طعم داده شده بودند، تحت عنوان ملایم و پنیری توصیف شدند و نسبت به پنیرهای تقلیدی کم‌چرب حاوی EMC با سطح لیپولیز بالا به طور قابل ملاحظه‌ای ترجیح داده شدند. به طور کلی پنیرهای طعم یافته با EMC در سطح لیپولیز بالا (بدون در نظر گرفتن مقدار چربی نمونه‌ها) کمترین امتیاز را کسب کردند و داوران طعم این پنیرها را بیش از حد رسیده توصیف کردند (10). طعم‌های در دسترس از EMC شامل طعم پنیرهای چدار، موزارلا، رومانو، پرولون، فتا، پارمیزان، بلو، گودا، سوئیسی، و امنتال می‌باشد (8).

از آنجا که تاکنون گزارشی مبنی بر تولید پنیر تقلیدی با در نظر گرفتن ذائقه‌ی مصرف‌کنندگان ایرانی در دسترس نبوده است، تصمیم بر آن شد که از پنیر لیقوان که یک نوع پنیر سنتی و محبوب ایرانی با عطر و طعم مطلوب است، برای تهیه EMC استفاده شود. بنابراین، هدف دیگر پژوهش حاضر، بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و حسی پنیر تقلیدی بر پایه‌ی کازئینات سدیم با حضور سطوح متفاوتی از EMC لیقوان بود.

• مواد و روش‌ها

مواد اولیه: کازئینات سدیم (حاوی 89/4% پروتئین، 3/8% رطوبت، 1/1% چربی، 3/6% خاکستر، 1/2% نمک، 0/1% لاکتوز و pH= 6/2) از شرکت *کازئینات ایران* تهیه شد. روغن سویای هیدروژنه (تولید شرکت *روغن نباتی غنچه*) و روغن کانولای مایع (شرکت *صنایع غذایی عالیا گلستان*) از بازار خریداری شدند. پنیر لیقوان نارس از یک کارگاه لبنی در روستای لیقوان استان آذربایجان شرقی تهیه شد. آنزیم‌های نوتراز (0/8L(Neutraseو فلیورزایم (Flavourzyme) L 500 اهدایی شرکت *NovoNordisk* کشور دانمارک بود. مواد شیمیایی شامل اسید سیتریک و سوربات پتاسیم از شرکت *Merck* آلمان و تری‌سدیم‌سیترات از شرکت Dalian Chem Imp. & Exp. Group چین تهیه شدند. نمک طعام تصفیه شده از شرکت *سپیدانه* خریداری شد. WPC فراپالایش شده (حاوی 36/2 % پروتئین، 4/1 % رطوبت، 2/1% چربی، 5/6 % خاکستر، 46/5 % لاکتوز و pH= 6/8) از طریق نمایندگی شرکت *NZMP* نیوزلند در تهران تهیه شد.

تولید پنیر اصلاح شده‌ی آنزیمی لیقوان: EMC به روش حبیبی و میری (مکاتبه شخصی) تهیه شد. به این ترتیب که پنیر لیقوان رنده شده (600 گرم) با 2/5% Na_2HPo_4 و 195میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط شد. به منظور امولسیون شدن مخلوط و غیر فعال شدن آنزیم‌ها در دمای 90°C به مدت 3 دقیقه حرارت داده شد. سپس تا دمای 50°C خنک شد. آنزیم‌های نوتراز L 0/8 و فلیورزایم 500L هر کدام در سطح 0/1% به مخلوط اضافه شدند. سپس مخلوط در ظروف پلاستیکی بسته‌بندی و در دمای بهینه‌ی فعالیت آنزیم (47°C) به مدت 72 ساعت گرمخانه‌گذاری شد. بعد از طی این مرحله آنزیم‌ها در دمای 90°C به مدت 3 دقیقه غیرفعال شدند و EMC حاصل در دمای 20°C- تا یک ساعت قبل از تولید پنیرهای تقلیدی نگهداری شد. ترکیب شیمیایی EMC تولید شده به این صورت بود: 58% رطوبت، 10% پروتئین، 18% چربی، 7/8% خاکستر، 4/1% نمک و 5/2 pH= .

تولید پنیر تقلیدی: ابتدا آب (52%) و روغن (14% روغن سویای هیدروژنه و 7% روغن کانولای مایع) در دمای 50°C به مدت 2 دقیقه هم زده شد. سپس این ترکیبات وارد دیگ پخت پنیر با مشخصات زیر شدند: ظرفیت: 2 kg، ابعاد: cm 15×25×10، قدرت الکتروموتور: 180 ولت. تنظیم دما: توسط سیرکولاتور و سرعت دور تیغه: 50 rpm.

سدیم کلراید (1/3%)، سوربات پتاسیم (0/2%) و تری‌سدیم سیترات (0/5%) به مخلوط آب و روغن افزوده شد. عمل اختلاط در سرعت 50 rpm همزن و دمای 85°C به مدت 1 دقیقه انجام شد (دمای مخلوط و سرعت همزن تا انتهای فرایند تولید ثابت باقی ماند). در ادامه کازئینات سدیم (24/5%) به همراه مقادیر مورد نیاز WPC افزوده شدند. فرایند تا زمان حصول یک توده‌ی همگن ادامه یافت (تقریباً 15 دقیقه). سپس اسید سیتریک (0/5%) و سطوح مورد نظر

از EMC در انتهای فرایند تولید اضافه شدند. مخلوط کردن نهایی به مدت 2 دقیقه انجام شد. محصول در ظروف دردار از جنس پلی‌پروپیلن لفاف‌گذاری شد و بعد از 24 ساعت سردخانه‌گذاری در 4°C به صورت مکعب‌های 200 گرمی برش داده شد و در کیسه‌های پلاستیکی 5 لایه (دو لایه پلی‌اتیلن، دو لایه پلی‌آمید و یک لایه چسب) با ضخامت 80 میکرون قرار داده شد که از شرکت *تحول کالای نوین* تهیه شده بود. در نهایت، بسته‌بندی تحت خلأ به وسیله‌ی دستگاه بسته‌بند Henkelman (مدل 200A، آلمان) انجام شد. نمونه‌ها تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای 4°C نگهداری شدند.

لازم به ذکر است که WPC جایگزین کازئینات سدیم در محصول شد. مقادیر چربی، نمک و رطوبت EMC از میزان همین ترکیبات در فرمولاسیون پنیر تقلیدی کسر شدند. خاکستر و املاح به همراه مقدار پروتئین موجود در EMC جایگزین کازئینات سدیم در ترکیب محصول شدند.

آزمون‌های شیمیایی: چربی به روش ژربر(11)، پروتئین خام به روش میکروکلدال (12)، نمک به روش تیتراسیون پتانسیومتریک (13)، ماده خشک به روش خشک کردن در آون (14)، خاکستر به روش سوزاندن در کوره الکتریکی (15) و pH با استفاده از pH متر دیجیتال مدل H18314 (16) اندازه‌گیری شدند. آزمون‌های شیمیایی در سه تکرار برای هر نمونه انجام شدند.

آزمون آنالیز پروفایل بافت: اندازه‌گیری ویژگی‌های بافتی بر اساس آزمون آنالیز پروفایل بافت انجام گرفت. برای این آزمون از دستگاه سنجش بافت (QTS25, CNS FARANEL، انگلستان) و پروب استوانه‌ای با قطر 35 میلی‌متر استفاده شد. نمونه‌های پنیر یک ساعت قبل از آزمایش از یخچال خارج شده، در قطعات 15x15x15 میلی‌متری برش داده شدند و در دمای محیط قرار گرفتند. سرعت نفوذ پروب 100 میلی‌متر در دقیقه تنظیم شد. نمونه‌ها تا 80% ارتفاع اولیه فشرده شدند. ویژگی‌های مورد بررسی عبارت بودند از سختی (hardness)، چسبندگی (adhesiveness) ، پیوستگی (cohesiveness) و قابلیت ارتجاعی (Springiness). آزمون با پنج تکرار برای هر نمونه انجام گرفت.

آزمون ذوب: برای تعیین قابلیت ذوب از روش اصلاح شده آزمون شریبر (Schreiber test) به کمک فناوری پردازش تصویر استفاده شد (18، 17). در ابتدا ورقه‌ای از پنیر با ضخامت 5 میلی‌متر و قطر 22 میلی‌متر برش داده شد و در مرکز پلیت شیشه‌ای قرار گرفت. سپس در آون به مدت 15 دقیقه در 90°C حرارت دید. عکس‌برداری از نمونه‌ها با کمک سیستم کامپیوتر بینایی و نرم‌افزار Zoom Browser EX 5.0 قبل و بعد از حرارت‌دهی در آون انجام شد.

سیستم پردازش تصویر: این سیستم شامل یک اتاقک نورپردازی به رنگ مشکی با ابعاد 100x50 x50 سانتی‌متر، مجهز به دو عدد لامپ فلورسنت و یک دوربین دیجیتال Canon (مدل Powershot EOS 1000D) بود. دوربین در فاصله 20 سانتی‌متری از نمونه‌ها تنظیم شد. تصاویر گرفته شده جهت آنالیز بعدی به شکل JPEG ذخیره شد. تصویر نمونه‌ی پنیر از زمینه‌ی عکس با کمک نرم‌افزار Adobe Photoshop CS ME نسخه‌ی 9.0 جدا شد. سپس عملیات آستانه‌یابی و تعیین مساحت نمونه با استفاده از نرم‌افزار Clemex نسخه‌ی 4.0.021 انجام شد. آزمون با سه تکرار برای هر نمونه انجام گرفت.

تعیین درجه‌ی ذوب: ویژگی ذوبی پنیر با درجه‌ی ذوب تعیین شد. درجه‌ی ذوب به صورت نسبت سطح قبل و بعد از پخت محاسبه شد:

$$MD_f=(A_f/A_0) \times 100$$

که MD_f عبارت است از درجه‌ی ذوب (درصد)، A_f و A_0 به ترتیب سطح پنیر در انتهای آزمون ذوب و سطح اولیه‌ی نمونه هستند هر دو بر حسب میلی‌متر مربع بیان می‌شوند.

آزمون سنجش رنگ: ارزیابی رنگ با استفاده از تکنیک پردازش تصویر انجام شد. به این صورت که تصویربرداری از نمونه‌های پنیر تقلیدی با اندازه‌ی قطعات 2x2 سانتی‌متر انجام گرفت. شرایط سیستم پردازش تصویر همانند شرایط بیان شده برای آزمون ذوب بود. از نرم افزار Image J برای پردازش تصاویر پنیر تقلیدی در فضای رنگی L*a*b استفاده شد. آزمون با سه تکرار برای هر نمونه انجام گرفت.

آزمون حسی: ارزیابی حسی با استفاده از آزمون چشایی به روش هدونیک 5 امتیازی (1: خیلی بد، 5: خیلی خوب) انجام شد. نمونه‌های پنیر تقلیدی تولید شده توسط 12 نفر از دانشجویان تحصیلات تکمیلی رشته‌ی علوم و صنایع غذایی دانشکده‌ی کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد ارزیابی شد. قبل از ارزیابی توضیحاتی در خصوص نحوه‌ی ارزیابی و مفهوم ویژگی‌های مورد بررسی داده شد و از ارزیاب‌ها خواسته شد اگر نظر خاصی در مورد هر کدام از نمونه‌ها دارند، در برگه‌ی ارزیابی بنویسند. نمونه‌های پنیر تولیدی به

روش تصادفی کدبندی شدند. شرایط سنجش برای داوران حسی کاملاً یکسان بود و برای افزایش دقت، از ارزیاب‌ها خواسته شد بین هر دو نمونه آب معدنی بنوشند. نمونه‌های مکعبی 15 گرمی در اختیار ارزیاب‌ها قرار گرفت و آن‌ها در هر جلسه 8 نمونه پنیر تقلیدی را از لحاظ طعم، رنگ، رایحه، استحکام بافت و پذیرش کلی ارزیابی کردند.

تجزیه و تحلیل آماری: در این پژوهش EMC در 3 سطح (صفر، 2/5 و5% وزن کل فرمول) و WPC در 3 سطح (صفر، 1/5 و3% وزن کل فرمول) در فرمول‌ها به کار رفتند. هر نمونه 2 بار تولید و نتایج بر اساس طرح پایه کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل مورد آزمون آماری قرار گرفتند. آنالیز واریانس یک‌طرفه به کمک نرم‌افزار Minitab 16.1 انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح اطمینان 95% و به کمک نرم‌افزار MSTAT-C1.42 انجام گرفت. با استفاده از نرم‌افزار Sigma stat 3.5 و آزمون اسپیرمن، آنالیز همبستگی بین شاخص‌های حسی و دستگاهی (رنگ و استحکام بافت) انجام شد.

• یافته‌ها

اثر متغیرها بر ویژگی‌های شیمیایی: نتایج حاصل از آنالیز واریانس و مقایسه‌ی میانگین‌ها برای داده‌های آزمون‌های شیمیایی در جدول 1 ارائه شده است. طبق این جدول، افزایش میزان EMC و WPC سبب کاهش معنی‌دار مقدار پروتئین پنیر تقلیدی شد ($p<0/05$). بررسی روند تغییرات pH نشان می‌دهد که با افزایش نسبت EMC در ساختار پنیر تقلیدی از مقدار pH کاسته شد، اما افزایش سطح WPC، pH محصول را افزایش داده است ($p<0/05$). هر دو فاکتور مورد بررسی سبب افزایش معنی‌دار میزان خاکستر محصول شدند ($p<0/05$)، به طوری که بیشترین مقدار خاکستر مربوط به نمونه‌ای بود که هر دو فاکتور را در حداکثر سطوح داشت. مقادیر رطوبت، چربی و نمک محصول تحت تأثیر هیچ کدام از فاکتورها قرار نگرفتند.

اثر متغیرها بر ویژگی‌های پروفایل بافت: بر طبق نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس اثر EMC و همین طور WPC بر مقادیر شاخص‌های بافتی محصول معنی‌دار تشخیص داده شد ($p<0/05$). همان طور که در جدول 2 ملاحظه می‌شود EMC سبب کاهش و WPC سبب افزایش سختی محصول شدند. اگرچه EMC مقدار چسبندگی محصول را به طور قابل توجهی افزایش داد، اما مقایسه‌ی میانگین‌ها فقط اختلاف میان نمونه‌های حاوی سطوح حداقل و حداکثر این فاکتور را معنی‌دار اعلام کرد ($p<0/05$). از نتایج مندرج در جدول مشخص است که WPC بر مقدار چسبندگی محصول اثر کاهشی داشته است. EMC کاهشی معنی‌دار در مقدار پیوستگی محصول ایجاد کرد، در حالی که WPC به طور معنی‌داری مقدار پیوستگی را افزایش داد ($p<0/05$). مقدار قابلیت ارتجاعی محصول با جایگزین شدن هر دو فاکتور، روندی رو به کاهش داشت ($p<0/05$).

جدول1. تأثیر سطوح مختلف EMC و WPC بر ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های پنیر تقلیدی (انحراف معیار± میانگین)

فرمول	EMC	WPC	پروتئین (درصد)	چربی (درصد)	pH	رطوبت (درصد)	نمک (درصد)	خاکستر (درصد)
1	0	0	22/24 ±0/01^{a}	21/61 ±0/38^{a}	5/91 ±0/01^{b}	51/92 ±0/07^{a}	1/42 ±0/04^{a}	4/22 ±0/01^{e}
2	0	1/5	21/43 ±0/01^{d}	21/39 ±0/38^{a}	5/92±0/01^{b}	51/46 ±0/01^{a}	1/21 ±0/08^{a}	4/31 ±0/01^{d}
3	0	3	20/68 ±0/02^{g}	21/75 ±0/29^{a}	5/95±0/01^{a}	51/86±0/14^{a}	1/32 ±0/07^{a}	4/41 ±0/01^{b}
4	2/5	0	21/90 ±0/01^{b}	21/40 ±0/48^{a}	5/80 ±0/03^{d}	51/78 ±0/14^{a}	1/32 ±0/12^{a}	4/24 ±0/01^{e}
5	2/5	1/5	21/12 ±0/02^{e}	22/34 ±0/36^{a}	5/82 ±0/02^{d}	51/66 ±0/07^{a}	1/37 ±0/01^{a}	4/37 ±0/02^{c}
6	2/5	3	20/34 ±0/01^{h}	20/91 ±1/07^{a}	5/85 ±0/02^{c}	51/89 ±0/15^{a}	1/40 ±0/14^{a}	4/47 ±0/03^{a}
7	5	0	21/64 ±0/01^{c}	21/18 ±0/41^{a}	5/67±0/01^{f}	51/41 ±0/02^{a}	1/32 ±0/14^{a}	4/30 ±0/01^{d}
8	5	1/5	20/80±0/01^{f}	21/47 ±0/51^{a}	5/70 ±0/01^{e}	51/88 ±0/07^{a}	1/29 ±0/09^{a}	4/41 ±0/01^{b}
9	5	3	20/06±0/01^{i}	21/64 ±0/30^{a}	5/71 ±0/02^{e}	51/71 ±0/10^{a}	1/30 ±0/09^{a}	4/50 ±0/01^{a}

کمیت‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن در سطح α=0/05)

اثر متغیرها بر ذوب‌پذیری: میزان ذوب‌پذیری نمونه‌های پنیر تقلیدی مورد آزمایش با افزایش سطح WPC و کاهش سطح EMC بطور معنی‌داری کاهش یافت ($p<0/05$)(جدول 2).

اثر متغیرها بر ویژگی‌های حسی: نتایج حاصل از آنالیز واریانس مربوط به داده‌های آزمون حسی در جدول3 آمده است. بر طبق نتایج، امتیاز طعم پنیرهای تقلیدی با حضور EMC افزایش یافت ($p<0/05$)، اگرچه تفاوت معنی‌داری میان سطوح 2/5 و 5% این ویژگی گزارش نشد. WPC بر میزان پذیرش طعم بی‌تأثیر بود. امتیاز رنگ با افزایش سطح EMC افزایش و با افزایش سطح WPC کاهش نشان داد ($p<0/05$). مقدار WPC تأثیر معنی‌داری بر رایحه‌ی محصول نداشت، اما EMC رایحه‌ی محصول را بهبود داد ($p<0/05$) به طوری که نمونه‌های حاوی 2/5% EMC بالاترین امتیاز رایحه را کسب کردند. استحکام بافت پنیر تقلیدی با افزایش سطح EMC کاهش یافت، اما WPC سبب افزایش سختی محصول شد ($p<0/05$). این افزایش در بین سطوح 1/5% و 3% و به ویژه در حضور سطوح بالایی از EMC معنی‌دار نبود. پذیرش کلی محصول نیز با حضور EMC افزایش یافت ($p<0/05$) اما تحت تأثیر میزان WPC قرار نگرفت.

جدول2. تأثیر سطوح مختلف EMC و WPC بر مقادیر ویژگی‌های بافتی نمونه‌های پنیر تقلیدی (انحراف معیار± میانگین)

فرمول	EMC	WPC	سختی (نیوتن)	چسبندگی (نیوتن ثانیه)	پیوستگی (-)	قابلیت ارتجاعی (میلی‌متر)	ذوب‌پذیری (درصد)
1	0	0	18/52 ±0/13^{e}	0/33 ±0/03^{bc}	0/55 ±0/01de	4/41 ±0/07^{a}	111 ±0/8^{d}
2	0	1/5	28/04 ±0/21^{b}	0/32 ±0/01^{cd}	0/58 ±0/02^{ab}	4/37 ±0/04^{b}	106 ±1/1^{f}
3	0	3	32/96 ±0/14^{a}	0/31 ±0/04^{d}	0/60 ±0/01^{a}	4/33 ±0/02^{e}	102 ±1/5^{g}
4	2/5	0	17/71 ±0/19^{e}	0/35 ±0/01^{ab}	0/54 ±0/01^{e}	4/37 ±0/05^{bc}	117 ±0/9^{b}
5	2/5	1/5	26/08 ±0/19^{c}	0/34 ±0/03^{abc}	0/57 ±0/01^{bc}	4/35 ±0/03^{cd}	109 ± 1/3de
6	2/5	3	28/02 ±0/15^{b}	0/32 ±0/02^{cd}	0/59 ±0/01^{a}	4/31 ±0/03^{f}	107 ±1/4^{ef}
7	5	0	16/39 ±0/23^{f}	0/36 ±0/01^{a}	0/52 ±0/02^{f}	4/34 ±0/03de	124 ±1/2^{a}
8	5	1/5	23/39±0/09^{d}	0/35 ±0/00^{ab}	0/55 ±0/00de	4/33 ±0/07^{e}	117 ±0/9^{bc}
9	5	3	23/78 ±0/21^{d}	0/34 ±0/01^{abc}	0/56 ±0/01^{cd}	4/29 ±0/04^{f}	114 ±1/3^{c}

کمیت‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن در سطح α=0/05)

جدول3. تأثیر سطوح مختلف EMC و WPC بر ویژگی‌های حسی نمونه‌های پنیر تقلیدی (انحراف معیار± میانگین)

فرمول	EMC	WPC	طعم	رنگ	رایحه	استحکام بافت	پذیرش کلی
1	0	0	3/05 ±0/12^{c}	3/54 ±0/07^{ab}	3/48 ±0/14^{c}	4/05 ±0/12^{bc}	3/11 ±0/14^{b}
2	0	1/5	2/71 ±0/09^{c}	3/20±0/16^{cde}	3/44 ±0/07^{c}	4/84 ±0/07^{a}	3/22 ±0/16^{b}
3	0	3	2/59 ±0/12^{c}	2/95 ± 0/10^{e}	3/45 ±0/09^{c}	4/66 ±0/08^{a}	3/14 ±0/21^{b}
4	2/5	0	4/21 ±0/14^{ab}	3/71 ±0/12^{a}	3/96 ±0/07^{ab}	3/65 ±0/19^{cd}	4/21 ±0/28^{a}
5	2/5	1/5	4/04 ±0/21^{ab}	3/35 ±0/07^{bcd}	4/05 ±0/07^{a}	4/44 ±0/07^{ab}	4/29 ±0/28^{a}
6	2/5	3	3/96 ±0/18^{b}	3/12 ±0/14de	3/97 ±0/08^{ab}	4/73 ±0/09^{a}	4/34 ±0/15^{a}
7	5	0	4/53 ±0/10^{a}	3/78 ± 0/09^{a}	3/79 ±0/14^{b}	4/39± 0/26^{d}	4/30 ±0/11^{a}
8	5	1/5	4/44 ±0/21^{ab}	3/61 ±0/15^{ab}	3/75 ±0/07^{b}	3/96 ±0/18^{c}	4/31 ±0/14^{a}
9	5	3	4/ 40±0/19^{ab}	3/40 ±0/17^{bc}	3/80 ±0/11^{b}	4/11 ±0/14^{bc}	4/30 ±0/14^{a}

کمیت‌های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن در سطح α=0/05)

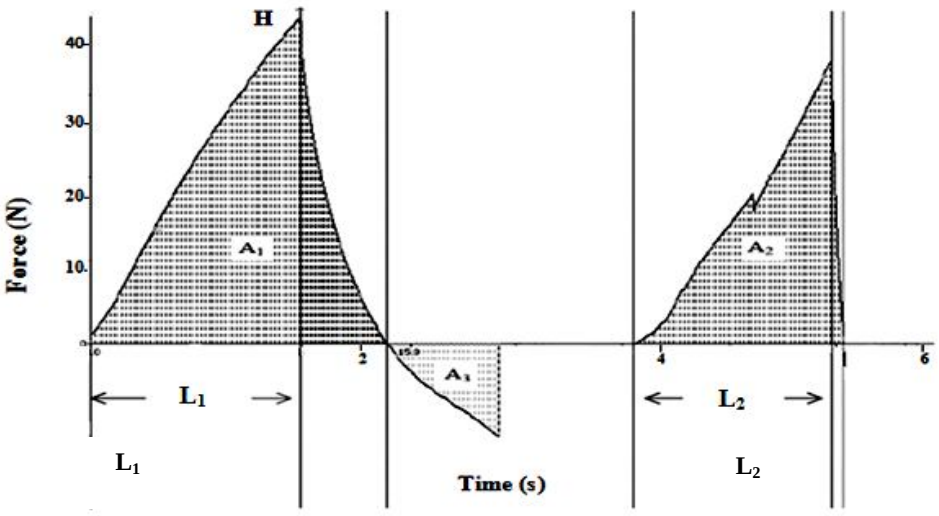
اثر متغیرها بر شاخص‌های رنگی: نتایج ارائه شده در جدول 4 نشان می‌دهد EMC سبب افزایش و WPC سبب کاهش میزان پارامتر*L شد ($p<0/05$). EMC مقدار *b را کاهش، اما WPC میزان این شاخصه را افزایش داد ($p<0/05$). EMC سبب افزایش و WPC باعث کاهش *a پنیر تقلیدی حاصل شد ($p<0/05$).

آزمون همبستگی اسپیرمن: نتایج این آزمون نشانگر معنی‌دار بودن همبستگی بین داده‌های حسی و دستگاهی (رنگ و استحکام بافت) بود ($p<0/05$).

جدول4. تأثیر سطوح مختلف EMC و WPC بر مقادیر شاخص‌های رنگ در نمونه‌های پنیر تقلیدی (انحراف معیار± میانگین)

فرمول	EMC	WPC	L*	b*	a*
1	0	0	81/25±0/51^{bc}	27/30±0/26^{bc}	-7/34±0/11^{bc}
2	0	1/5	79/76±0/43^{cd}	28/15 ±0/31^{ab}	-7/10±0/19^{d}
3	0	3	78/96±0/40^{d}	28/49±0/36^{a}	-6/80±0/21^{e}
4	2/5	0	81/97±0/38^{ab}	26/64±0/12^{cd}	-7/44±0/17^{ab}
5	2/5	1/5	80/62±0/47^{bc}	27/60±0/18^{abc}	-7/21±0/18^{cd}
6	2/5	3	79/87±0/22^{cd}	28/16±0/34^{ab}	-6/91±0/23^{e}
7	5	0	83/18±0/67^{a}	25/81±0/29^{d}	-7/59±0/18^{a}
8	5	1/5	81/67±0/21^{b}	27/09±0/35^{bc}	-7/37±0/34^{bc}
9	5	3	80/82±0/33^{bc}	27/91±0/24^{ab}	-7/07±0/16^{d}

کمیت های دارای حروف مشترک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند (آزمون دانکن در سطح $\alpha=0/05$)



شکل1. الگوی تغییرات نیرو-زمان آزمون TPA برای پنیر تقلیدی (سفتی: H، چسبندگی: A_3، پیوستگی: A_2/A_1 و قابلیت ارتجاعی: L_2/L_1)

• بحث

در رابطه با کاهش مقدار پروتئین محصول با افزایش سطح EMC و WPC می‌توان گفت با توجه به اینکه خاکستر EMC به همراه مقدار پروتئین موجود در آن جایگزین کازئینات سدیم در ساختار پنیر تقلیدی شده و همین طور مقدار پروتئین کمتر موجود در WPC (35%) در مقایسه با میزان پروتئین موجود در کازئینات (90%)، نتایج کسب شده قابل پیش‌بینی بود. در تحقیق *Kaminaredes* در سال 2000 عکس این نتیجه حاصل شد. زیرا در آن تحقیق WPC با 66% پروتئین در ماده خشک، جایگزین صفر تا 50% پنیر کاسار با محتوای پروتئینی کمتر در فرمولاسیون پنیر پروسس شد (19).

با توجه به pH پایین EMC (حدود 5/2) کاملاً طبیعی است که افزایش سطح این عامل مقدار pH نهایی محصول را کاهش دهد. در تحقیق *صبوری* (1388)، استفاده از EMC امنتال تغییری در میزان pH پنیر پروسس ایجاد نکرد. دلیل این موضوع ظرفیت بافری نمک‌های ذوب و میزان کم به کار رفته EMC در فرمولاسیون محصول عنوان شد (20). در مورد WPC، pH حدود 6/8 بود و سبب افزایش کمی در مقدار pH محصول شد. با وجود تفاوت بین pH کازئینات (6/2) و WPC (6/8)، میزان افزایش pH در محصول نهایی زیاد نبوده است. دلیل این نتیجه را می توان به انجام واکنش میلارد و این مسئله نسبت داد که حرارت زیاد منجر به آزاد شدن اسیدهای آلی از لاکتوز در دمای بالای فرایند شده است. این پدیده در نهایت باعث کاهش pH محصول شده که تا حدودی افزایش pH ناشی از حضور WPC را جبران می‌کند. به طور مشابهی، *عبدالسلام* و همکاران (1996) نیز در پژوهش خود مشاهده کردند که افزودن40% WPCبه فرمولاسیون پنیر پروسس مالش‌پذیر تنها به میزان 0/3، pH محصول نهایی را افزایش داد (21).

در ساختار EMC 5/6% خاکستر وجود داشت که جایگزین کازئینات در فرمولاسیون محصول شد. بنابراین، دور از انتظار نیست که مقدار خاکستر محصول با حضور EMC افزایش یابد. حضور WPC نیز به دلیل محتوای خاکستر بالاتر نسبت به کازئینات (7/8% در مقابل 3/6 %) مقدار خاکستر محصول را افزایش داد. در پژوهش *Kaminaredes* (2000) پنیر کاسار خاکستر بیشتری نسبت به WPC داشت. در نتیجه، خاکستر محصول به هنگام جایگزین شدن پنیر کاسار با کنسانتره پروتئینی کاهش یافت (19).

با توجه به اینکه مقدار رطوبت، چربی و نمک موجود در EMC در نظر گرفته شد و متناسب با آن از میزان این ترکیبات در فرمولاسیون محصول کاسته شد. طبیعی به نظر می‌رسد که حضور EMC تأثیری بر مقادیر شاخص‌های ذکر شده نداشته باشد. در ارتباط با WPC به دلیل که تفاوت چندانی میان مقدار رطوبت، چربی و نمک موجود در کازئینات به عنوان ماده‌ی پرکننده و WPC به عنوان جایگزین وجود نداشت، نوسان چشمگیری در مقادیر این شاخص‌ها مشاهده نشد.

سختی عبارت است از نیروی لازم برای فشردن یک نمونه بین دندان‌های آسیاب یا به عبارت دیگر نیروی لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص (22). در توصیف کاهش سختی محصول با حضور EMC دو تفسیر را می توان ذکر کرد. دلیل اول اینکه با حضور EMC مقدار pH کاهش می‌یابد و به نقطه‌ی ایزوالکتریک پروتئین نزدیک می‌شود و بار خالص به حداقل می‌رسد. در نتیجه، دافعه‌ی میان گلبول‌های چربی که توسط پروتئین‌ها به حالت امولسیون در آمده بودند، کاهش می‌یابد و پایداری امولسیون تضعیف می‌شود (23). دلیل دوم، کاهش میزان کازئینات با افزایش سطح EMC است. مطابق انتظار WPC سبب افزایش استحکام و سختی پنیر تقلیدی شد. زیرا پروتئین‌های آب‌پنیر درحرارت 60-70°C دناتوره می‌شوند. این دناتوراسیون ناشی از حرارت، گروه سولفیدریل آزاد موجود در ساختار اولیه‌ی بتالاکتاگلبولین را بی‌حفاظ می‌کند. این ساختار توانایی برقراری اتصال عرضی با دیگر بتالاکتاگلبولین‌ها و نیز ملکول‌های کاپاکازئین را دارد (24). به این ترتیب، چون پروتئین‌های آب پنیر می‌توانند در دمای بالا با یکدیگر و با کازئین‌ها اتصال عرضی برقرار کنند، استحکام پنیر تقلیدی افزایش می‌یابد. اما در این تحقیق همان طور که از داده‌های ارائه شده در جدول 2 مشخص است، سطح 3% WPC نسبت به سطح 1/5% اثر کمتری در افزایش سختی بافت محصول نشان داده است. *Dees* در سال 2002 نتیجه‌ی مشابهی را گزارش کرد. این محقق اظهار داشت افزایش میزان WPC از حد 2% سبب افزایش چندانی در میزان سختی نخواهد شد. زیرا در سطوح بالای WPC میزان لاکتوز محصول افزایش می‌یابد. این لاکتوز اضافی می‌تواند از ترکیب و تجمع پروتئین‌ها جلوگیری کند که در این صورت فرایند حرارتی 80°C اثری بر دناتوره شدن پروتئین‌ها نخواهد گذاشت (25).

چسبندگی عبارت است از نیروی لازم برای جدا کردن غذا از سقف دهان در حین خوردن و به عبارت دیگر کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین سطح غذا و سطح سایر موادی که غذا با آن‌ها در تماس هستند (22). از آنجا

که طبق نظر *Bachman* (2001) عامل اصلی تأثیرگذار بر میزان چسبندگی و پیوستگی پنیر تقلیدی مقدار و نوع چربی است (1)، شاید بتوان گفت که چربی موجود در EMC که در واقع همان چربی شیر است، عامل اصلی افزایش‌دهنده‌ی چسبندگی پنیر تقلیدی بوده است. *میری و حبیبی نجفی* (2010) نیز به کاهش چسبندگی پنیر خامه‌ای در اثر افزودن EMC اشاره کردند و علت آن را مقدار پروتئین بالای EMC در مقایسه با پنیر خامه‌ای دانسته‌اند (26). درباره‌ی نقش WPC چون این ترکیب موجب متراکم کردن شبکه‌ی پروتئینی و افزایش سختی پنیر تقلیدی شده است، طبیعی خواهد بود که چسبندگی بافت پنیر تقلیدی را کاهش دهد.

پیوستگی نمایانگر قدرت پیوندهای داخلی است که پیکره‌ی محصول را می‌سازند. به عبارت دیگر، مقدار نیروی لازم برای تغییر شکل نمونه قبل از شکستن است (22). کاهش پیوستگی محصول با افزایش سطح EMC به تضعیف پیوندهای داخلی در اثر کاهش مقدار کازئینات و هم‌چنین شکست شبکه کازئینی با حضور EMC در ساختار شبه پنیر مربوط می‌شود. حضور WPC سبب افزایش میزان پیوستگی نمونه‌های مختلف پنیر تقلیدی شده است. مسلماً به این علت که WPC از طریق برقراری اتصالات دی‌سولفیدی با کازئین قدرت پیوندهای داخلی را افزایش می‌دهد.

قابلیت ارتجاعی میزانی از ارتفاع اولیه است که ماده غذایی در طی زمان آن را بازیابی می‌کند (22). پروتئین و اسیدهای چرب اشباع عوامل اصلی ارتجاعی بودن بافت هستند. میزان زیاد اسیدهای چرب اشباع، جذب سطحی گروه‌های چربی‌دوست پروتئین‌ها را در اطراف قطرات چربی هم‌جوار افزایش می‌دهد. در نتیجه، ساختار مشبکی تشکیل می‌شود که قابلیت ارتجاعی به محصول می‌دهد (1). بنابراین می‌توان گفت جایگزینی کازئینات با EMC و WPC سبب کاهش قابلیت ارتجاعی محصول شده است. در تحقیق *Kaminaredes* (2000) نیز با افزایش سطح WPC از صفر تا 39/25% در جایگزینی پنیر کاسار، الاستیسیته کاهش یافت. محققان این اثر را به کاهش میزان کازئین نسبت دادند و بیان کردند که نقش کازئین در ایجاد الاستیسیته چشمگیرتر از WPC است (19).

قابلیت ذوب به توانایی ذرات پنیر در تشکیل توده‌ی مذاب پیوسته و یکنواخت در اثر حرارت اشاره دارد (17). طبق گفته *Cavalier* قابلیت ذوب‌پذیری پنیرهای تقلیدی وابسته به pH بالا، بافت نرم، میزان بالای تفکیک کازئین و میزان کم امولسیون‌سازی چربی است (27). با افزایش سطح EMC از میزان کازئینات در فرمول کاسته شد و امولسیون ضعیفی به وجود آمد که منجر به افزایش ذوب‌پذیری محصول شد. اما نکته‌ی منفی این بود که توده‌ی ذوب شده به ویژه در سطح 5% EMC، حالت یکنواخت و مطلوبی نداشت و بیشتر به حالت دو فازی درآمده بود که در برخی قسمت‌ها به خوبی ذوب شده، اما در قسمت‌های دیگر فقط توده‌ای کف مانند به چشم می‌خورد. درباره‌ی تأثیر WPC می‌توان گفت چون پروتئین‌های آب‌پنیر از طریق برقراری اتصالات دی‌سولفیدی با یکدیگر و با کازئین‌ها و با افزایش برهم‌کنش‌های پروتئین- پروتئین سختی محصول را افزایش می‌دهند. منطقی است که قابلیت ذوب را کاهش دهند. *Solowiej* در سال 2007 گزارش کرد اگرچه ذوب‌پذیری پنیر پروسس آنالوگ بر پایه‌ی کازئین اسیدی با حضور WPC کاهش پیدا کرده، اما هنوز هم قابل قبول است (6). علت قابل قبول اعلام شدن ذوب‌پذیری در تحقیق مذکور این بود که WPC فقط به مقدار 1% کل فرمولاسیون محصول به کار رفته بود.

L* معادل روشنایی و شفافیت تصویر است که مقدار آن بین صفر تا 100 متغیر است. صفر معادل مشکی و 100 نمایانگر انعکاس کامل نور است. با توجه به رنگ ترکیبات مورد بررسی صحت نتایج کسب شده تأیید می‌شود (کازئینات سدیم کرم مات تا زرد، EMC سفید مایل به کرم روشن و WPC که تیره‌تر از کازئینات است). کاهش مقدار شاخص L* در پنیر تقلیدی حاوی WPC را می‌توان به لاکتوز موجود در WPC و انجام واکنش میلارد در دمای بالای فرایند نیز مربوط دانست (واکنش بین قندهای احیاکننده مثل لاکتوز و گروه آمینی پروتئین‌ها که منجر به قهوه‌ای شدن رنگ محصول می‌شود).

مقادیر مثبت b* معادل رنگ زرد و مقادیر منفی این کمیت معادل رنگ آبی است. شاخص b* برای همه‌ی فرمول‌ها با مقادیر مثبت مشاهده شد که نشانه‌ی تمایل به ته رنگ زرد در همه‌ی نمونه‌هاست. زیرا رنگ زرد، مربوط به ماده‌ی پرکننده‌ی موجود در محصول یعنی کازئیات می‌باشد. به همین دلیل نمونه‌های پنیر تقلیدی شاهد و بدون حضور عوامل مورد بررسی، رنگی متمایل به زرد و کدر دارند و برخلاف اغلب پنیرهای طبیعی سفید و روشن نیستند. در واقع EMC با کاهش جزئی ته رنگ زرد در محصول به افزایش شباهت پنیر تقلیدی به انواع طبیعی کمک کرده است. اما WPC زردی نمونه‌های شبه‌پنیر را افزایش داده است.

مقادیر مؤلفه a* مانند مقادیر b* نامحدود است. این شاخص نشان‌دهنده‌ی تغییرات رنگ از قرمز تا سبز است به طوری که مقادیر مثبت نمایانگر رنگ قرمز و مقادیر منفی

بیانگر رنگ سبز است. بنابراین EMC سبب افزایش تـه‌رنـگ سبز در پنیر تقلیدی شـده، امـا بـا افـزایش میـزان WPC در ساختار پنیر تقلیدی میزان ته رنگ سبز کاهش یافته است.

داوران حسی طعم پنیرهای تقلیدی حـاوی EMC را بـه طـور قابـل ملاحظـه‌ای تـرجیح دادنـد، امـا تفـاوتی را میـان نمونـه‌هـای حـاوی سـطوح 2/5% و 5% ایـن عامـل گـزارش نکردنـد. ایـن نتیجـه در تطـابق بـا یافتـه‌هـای *Noronha* و همکـاران (2008) در اسـتفاده از EMC چـدار جهـت طعـم دادن به پنیر آنالوگ است. البته در تحقیق مذکور از EMC با سطوح مختلف هیدرولیز استفاده شد و محققان بیـان کردنـد اگرچه EMC توانسته امتیاز طعم را به طور قابل ملاحظـه‌ای افزایش دهد، اما ارزیاب‌ها قادر نبودند میان نمونه‌هـای پنیـر حاوی EMC با سطوح مختلف هیدرولیز، تمایزی قائل شـوند (8). WPC بر میزان پذیرش طعم بی‌تـأثیر بـود. امـا ارزیـابی طعـم پنیـر پروسـس مـالش‌پـذیر در مطالعـه *عبدالسـلام* و همکاران (1996) نشـان داد کـه افـزودن WPC بـه مخلـوط موجب بهبـود طعـم و دیگـر خـواص حسـی محصـول شـده است(21). این نتیجه‌ی متناقض می‌تواند به دلیل تفـاوت در میزان WPC یا ساختار متفاوت پروتئین‌های آب پنیر به کـار رفته در این دو پژوهش باشد.

نتایج امتیاز رنگ کسب شده در ارزیابی حسی نمونه‌هـای حاوی دو متغیر مورد بررسی با نتایج سنجش رنـگ از طریـق پردازش تصویر همخوانی دارد. ضریب همبستگی بـالای بـین مطلوبیـت رنـگ در ارزیـابی حسـی و شـاخص L* (0/96) تأکیدی بر این موضوع است. هم‌چنین، ضریب همبستگی بالا و معکوسی بین رنگ در ارزیابی حسی و شـاخص a*(0/90-) و هم‌چنین b*(0/88-) وجود داشت.

رایحه پنیرهای حاوی سطوح بالای EMC (5 %) چنـدان مورد پسند داوران حسی واقـع نشـد و ارزیـاب‌هـا بـوی ایـن نمونه‌ها را تحت عنـوان شـدیداً اسـیدی توصـیف کردنـد. در مطالعه‌ی *میری* و حبیبی در سال2010 آرومای پنیر خامه‌ای به طور منفـی تحـت تـأثیر مقـدار EMC قـرار گرفـت. ایـن محققـان علـت تنـزل آرومـای محصـول را سـطوح بـالای اسیدهای چرب زنجیره کوتاهِ ناشـی از لیپـولیز بـالای EMC دانستند (26). در این تحقیق، ارزیاب‌ها متوجه تفـاوت قابـل ملاحظه‌ای در رایحه نمونـه‌هـای حـاوی مقـادیر مختلـف WPC نشدند.

دلیل کاهش استحکام بافت پنیر تقلیدی با افزایش سطح EMC تضعیف امولسیون در محصول است که قبلاً بحث شد. بنابراین، نتایج کسب شده از آزمون حسـی بـا نتـایج آزمـون بافتی که با دستگاه بافت‌سنج اندازه‌گیری شد، مطابقـت دارد. ضریب همبستگی برآورد شده در ایـن خصـوص (0/88) هـم نشان‌دهنده‌ی شدت وابستگی این دو متغیر است. قبلاً گفتـه شد که افزایش سطح WPC از 1/5% به 3% اختلاف چنـدانی در مقدار استحکام بافت ایجاد نکـرد. در توجیـه ایـن مطلـب می‌توان گفت اگرچه حضور مقادیر بالای WPC باید از طریق برقراری اتصالات دی‌سولفیدی با کاپاکازئین سختی محصـول را افزایش دهـد، امـا ایـن افـزایش میـزان WPC بـه مـوازات کـاهش میـزان کازئینـات اسـت کـه نقـش اصـلی امولسیون‌کنندگی و بافت‌دهنـدگی را در محصـول بـر عهـده دارد. بنـابراین، در مقـادیر بـالای WPC سـختی بـه نسـبت کمتری افزایش یافته است. علاوه بر این قبلاً گفتـه شـد کـه حساسیت پروتئین‌های آب‌پنیر به دناتوره شـدن حرارتـی در حضور مقادیر بالای لاکتوز تمایل به کاهش دارد (25).

پذیرش‌کلی بیانگر احساس کلی داوران نسبت به نمونه‌ی مـورد بررسـی اسـت. بـا توجـه بـه جدیـد بـودن محصـول، پذیرش‌کلی آن در نزد داوران موضوع مهم و در خور تـوجهی است. بررسی نتایج نشان می‌دهد کـه رونـد تغییـر امتیـازات پذیرش‌کلی در نمونه‌های حاوی سطوح متفاوت EMC شـبیه به روند تغییر امتیازات طعم و تا حدودی رنگ نمونه‌ها اسـت. به همین دلیل، به نظر می‌رسد آنچه بیشتر توسط ارزیـاب‌هـا در اعطای امتیاز به صفت پذیرش‌کلی در نظـر گرفتـه شـده، طعم و رنگ محصول بوده است. از آنجا که WPC امتیاز رنگ و به طور جزئی امتیاز طعـم محصـول را کـاهش داد، انتظـار می‌رفت پذیرش‌کلی محصول را نیز کاهش دهد، اما این روند مشاهده نشد. تنها توجیه ممکن، تـأثیر چشـمگیر WPC بـر استحکام بافت است که مانع تنزل امتیاز پـذیرش‌کلـی شـده است.

در مجموع، تفـاوت معنـی‌داری میـان سـطوح 2/5% و 5% EMC در ارزیابی ویژگی‌های حسی وجود نداشت، امـا سـطح 5% آن سـبب افـت اسـتحکام بافـت پنیـر تقلیـدی شـد و ذوب‌پذیری را به شکل غیر یکنواخت و نامطلوبی افزایش داد. در مورد WPC نیز تفاوت معنی‌داری بین سطوح 1/5% و 3% در ارزیابی ویژگی‌های بافتی مشـاهده نشـد. امـا بـا افـزایش سطح آن از 1/5% به 3% از مطلوبیت رنگ و تا حدودی دیگـر خواص حسی محصول کاسته شد. سختی بافت و ذوب‌پذیری مناسب این گونـه پنیرهـا بـرای اسـتفاده در غـذاهای آمـاده همچون پیتزا و چیز برگرها مورد نیـاز اسـت و رنـگ و دیگـر صفات حسی محصول در پذیرش نهایی آن بسیار تـأثیرگـذار اسـت. بنـابراین، پیشـنهاد مـی‌شـود کـه بـرای اطمینـان از دستیابی به محصولی با ویژگی‌های حسی، بافتی و شـیمیایی مطلوب، بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر تقلیدی بـا ترکیبـی از عوامل مورد بررسی انجام شود.

References

1. Bachmann HP. Cheese analogues: a review. Int Dairy J 2001; 11: 505–15.
2. Ennis MP, Mulvihill DM. Compositional characteristics of rennet caseins and hydration characteristics of the caseins in a model system as indicators performance in Mozzarella cheese analogue manufacture. Food Hydrocoll 1999; 13: 325–37.
3. Guinee TP, Caric A, Kalab M. Pasteurized processe cheese and substitute/imitation cheese products. In: Fox PF, editor. Cheese chemistry, physics and microbiology. 3th ed. vol 2. Massachusetts: Elsevier Academic Press; 2004: p. 379-85.
4. O'Riordan ED, Duggan E, O'Sullivan M, Noronha N. Production of analogue cheeses. In: Tamime AY, editor. Process cheese and analogues. West Sussex: Wily-Blackwell; 2011: p. 219–39.
5. Meza BE, Verdini RA, Rubiolo AC. Effect of freezing on the viscoelastic behaviour of whey protein concentrate suspensions. Food Hydrocoll 2010; 24: 414–23.
6. Solowiej B. effect of pH on rheological properties and meltability of processed cheese analogs with whey products. Pol J Food Nutr Sci 2007; 57: 125-8.
7. Mleko S, Foegeding EA. Incorporation of polymerized whey proteins into processed cheese. Milchwissenschaft 2001; 56: 612–15.
8. Noronha N, Cronin DA, O'Riordan ED, O'Sullivan M. Flavouring of imitation cheese with enzyme modified cheeses (EMCs): Sensory impact and measurement of aroma active short chain fatty acids (SCFAs). Food Chem 2008a; 106: 905–13.
9. Kilcawley KN, Wilkinson MG, Fox PF. A novel two stage process for the production of enzyme modified cheese. Food Res Int 2006; 39: 619-27.
10. Noronha N, Cronin DA, O'Riordan ED, O'Sullivan M. Flavouring reduced fat high fibre cheese products with enzyme modified cheeses (EMCs). Food Chemistry 2008b; 110: 973-8.
11. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. determination of the fat content of cheese and processed cheese. ISIRI no 760. 1rd revision. Karaj: ISIRI; 1968 [in Persian].
12. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Determination of the protein content of processed cheese. ISIRI no 1811. 0rd revision. Karaj: ISIRI; 1998 [in Persian].
13. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Cheese and processed cheese products-determination of chloride content - potentiometric titration method. ISIRI no 3692. 1rd revision, Karaj: ISIRI; 2007 [in Persian].
14. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Cheese and processed cheese– determination of total solids content (Reference method) Test method. ISIRI no 1753. 1rd revision. Karaj: ISIRI; 2002 [in Persian].
15. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Determination of the ash content of processed cheese. ISIRI no 1755. 0rd revision, Karaj: ISIRI; 1977 [in Persian].
16. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Milk and milk products-determination of titrable acidity and value pH–Test method. ISIRI no 2852. 1rd revision, Karaj: ISIRI; 2006 [in Persian].
17. Hajimohamadi Farimani R. Pizza processed cheese formulation[dissertation]. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, M.C. Faculty of Food Science and Technology; 2008 [in Persian].
18. Wang HH, Sun DW. Melting characteristics of cheese: analysis of effects of cooking conditions using computer vision technology. J Food Engin 2002; 51: 305-10.
19. Kaminarides S, Stachtiaris S. Production of processed cheese using; kasseri cheese and processed cheese analogues incorporating whey protein concentrate and soybean oil. Int J Dairy Tech 2000; 53: 69-74.
20. Sabouri S. Optimization of processed cheese formulation using enzyme modified cheese [dissertation]. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, M.C. Faculty of Food Science and Technology; 2009 [in Persian].
21. Abd-El-Salam MH, Al-Khamy AF, El-Garawany GA, Hamed A, Khader A. Composition and rheological properties of processed cheese spread as affected by the level of added whey protein concentrates and emulsifying salt. Egypt Dairy Sci 1996; 24: 309-22.
22. Gunasekaran S, Mehmet AkM, editors. Cheese rheology and texture. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 2003. p. 299-329.
23. Fachin L, Viotto WH. Effect of pH and heat treatment of cheese whey on solubility and emulsifying properties of whey protein concentrate produced by ultrafiltration. Int Dairy J 2004; 15: 325-32.
24. Wong DWS, Camirand WM, Pavlath AE. Structures and functionalities of milk proteins. Crit Rev Food Sci Nutrit 1996; 36: 807- 44.
25. Dees AL. Effect of various ingredients on a model process cheese system [dissertation]. Raleigh: North Carolina State University, M.C. Faculty of Food Science; 2002.
26. Miri MA, Habibi Najafi MB. The effect of adding enzyme-modified cheese on sensory and texture properties of low- and high-fat cream cheeses. Int J Dairy Tech 2010; 64: 92-8.
27. Cavalier-Salou C, Cheftel JC. Emulsifying salts influence on characteristics of cheese analogs from calcium caseinate. J Food Sci 1991; 56: 1542-7

Assessment of physico-chemical and sensory properties of imitation cheese containing whey protein concentrate and enzyme-modified Lighvan cheese

Hosseini M[*1], Habibi Najafi MB, Mohebbi M*[3]

*1-*Corresponding author:M.Sc. in Food Science & Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, Email: marziehossini@yahoo.com*

2- Prof, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

3- Associate professor, Dept. of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Received 12 Jun, 2012 **Accepted 14 Oct, 2012**

Background and objective: Imitation cheeses are cheese-like products produced by blending individual ingredients, such as fat, protein, water and edible acids, with a mixture of emulsifying salts. The main protein sources in dairy-based imitation cheeses are rennet casein or sodium and calcium caseinates. Rennet casein is usually preferred to the other protein sources due to its functional properties and desirable flavor. However, in the present study sodium caseinate was employed as the protein source because of its higher availability and lower price in Iran. Also, whey protein concentrate (WPC) and enzyme-modified Lighvan cheese (EMC) were used to improve functional and sensory characteristics of the imitation cheese produced.

Materials and methods: Imitation cheeses were formulated with three levels of WPC (0, 1.5 and 3%) and of EMC (0, 2.5 and 5%). Meltability and color parameters were assessed using the image processing technique. Other textural specifications, including hardness, adhesiveness, cohesiveness and springiness, were measured using a texture analyzer. Chemical analyses and sensory evaluation were done using the comon methods and the 5-point hedonic scale, respectively.

Results: The data showed that all the textural specifications were influenced by WPC and EMC ($p<0.05$). In addition, based on the results of chemical analyses, increases in both variables affected significantly the protein and ash contents, as well as the pH of all the immitation cheese samples ($p<0.05$); however, no significant difference was observed as regards fat, salt and moisture contents. Also, the effect of both variables on the color parameters were found to be statistically significant ($p<0.05$). Finally, no statistical difference was observed between the overall acceptability of samples containing 2.5% or 5% EMC as judged by the sensory evaluation panel members**.**

Conclusions: On the whole, results of the present study indicate that the physico-chemical and sensory characteristics of immitation cheese can be changed significantly by whey protein concentrate and enzyme-modified Lighvan cheese, the magnitudes of changes being a function of the amounts used.

Keywords: Enzyme-modified Lighvan Cheese, Immitation Cheese, Physico-chemical Properties, Sensory Properties, Whey Protein Concentrate