مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رنگ فرمولاسیون پنیر فرآپالودهٔ وی‌لس کم‌چرب و بهینه‌یابی فرمولاسیون تولید

حسین جوینده[۱]، حیدر رفیعی[۲]، میترا قدسی شیخ‌جان[۳]

[۱]استاد گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز

[۲]دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز

[۳] مدیر آزمایشگاه، گروه مهندسی علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۹

کلمات کلیدی:

جایگزین چربی،

خامه،

پودر کنسانتره پروتئینی آب پنیر،

پودر کنسانتره پروتئینی شیر.

DOI: 10.48311/fsct.2026.83868.0

* مسئول مکاتبات:

hosjooy@asnrukh.ac.ir

چکیده

آب پنیر محصول جانبی تولید پنیر است که منجر به کاهش بهره‌وری تولید، مشکلات زیست محیطی و همچنین از دست رفتن پروتئین‌های ارزشمند پنیر می‌شود. درواقع نوآوری در صنایع پنیرسازی و به‌کارگیری روش‌های نوین جهت حفظ آب پنیر در محصول نهایی و تولید پنیر وی‌لس با ارزش پروتئینی بالا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا تحقیق حاضر با هدف تولید پنیر وی‌لس کم‌چرب، ارزیابی ویژگی‌های آن و بهینه‌یابی فرمولاسیون تولید این محصول ارزشمند انجام شد. تیمارهای پنیر وی‌لس با استفاده از طرح آماری مخلوط تعیین شدند. متغیرهای مستقل شامل خامه در محدوده ۳۰-۲۰ درصد، پودر کنسانتره پروتئینی شیر (MPC) در محدوده ۱۵-۵ درصد و پودر کنسانتره پروتئینی آب پنیر (WPC) در محدوده ۲۰-۱۰ درصد بودند. متغیرهای پاسخ مورد بررسی نیز شامل pH، آب اندازی و فاکتورهای رنگی (L*، a* و b*) بودند. نتایج نشان داد که با افزایش میزان خامه، pH روند کاهشی داشته ولی با افزایش میزان MPC و WPC در فرمولاسیون، pH روند افزایشی نشان داد. آب اندازی محصول نیز با افزایش درصد خامه، افزایش معنی‌داری نشان داد ولی با افزایش درصد WPC کاهش معنی‌داری به همراه داشت. نمونه‌های پنیر وی‌لس تولید شده از نظر فاکتورهای رنگی (روشنایی، سبزی و زردی) در سطح مطلوبی بودند. فرمول بهینه پنیر وی‌لس با استفاده از ۲۲/۶۰ درصد خامه، ۹/۴۰ درصد MPC و ۱۳ درصد WPC با مقدار pH ۴/۶۵، آب اندازی ۳/۱۰ میلی‌لیتر، شاخص L* برابر با ۷۰/۱۷، a* برابر با ۲/۶۲ و b* برابر با ۱۸/۷۲ توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت پیش‌بینی شد.

۱-مقدمه

تولید انواع مختلف پنیر و همچنین ارزش غذایی بالای آن‌ها باعث شده است که این محصول جایگاه ویژه‌ای در سبد غذایی مردم در سراسر جهان داشته باشد [۱]. آب پنیر محصول جانبی صنایع پنیرسازی می‌باشد که ایجاد آن باعث کاهش بازدهی فرآیند تولید، از دست رفتن پروتئین‌های ارزشمند پنیر و تحمیل هزینه‌های اضافی برای تصفیه فاضلاب می‌شود [۲]. سالانه در دنیا حدود ۱۰۰ میلیون تن آب پنیر تولید می‌شود و از آنجایی که بیشتر کارخانجات تولید پنیر، سامانه‌های مناسب بازیافت آب پنیر را ندارند، بیشتر آن را به رودخانه ها، زمین‌های کشاورزی و یا فاضلاب تخلیه می‌کنند که باعث آلودگی محیط زیست می‌شود [۳]. باتوجه به تولید مقادیر قابل توجهی آب‌پنیر در هنگام تولید پنیر سنتی یا فراپالوده، امروزه توجه تولیدکنندگان به روش‌های جایگزین مانند تولید پنیر بدون آب‌پنیر یا وی‌لس[1] جلب شده است. درواقع تولید پنیر وی‌لس باعث راندمان ۱۰۰ درصدی فرآیند تولید، افزایش ظرفیت خط تولید، کاهش مصرف شیر تا ۷۰ درصد، کاهش انتشار CO_2 و همچنین تولید محصول با کیفیت بالا می‌شود [٤]. برای تولید این نوع پنیر، با استفاده از ترکیباتی مانند پودر کنسانتره پروتئینی شیر (MPC[2]) یا پودر پروتئینی آب‌پنیر (WPC[3]) ماده خشک شیر به حد لازم افزایش می‌یابد و پس از تولید لخته، همانند پنیر فراپالوده، دیگر آب‌پنیری از دلمه خارج نمی‌شود. کاربرد کنسانترهٔ پروتئینی آب پنیر از یک سو سبب بهبود خواص رئولوژیکی پنیر می‌شود [٥] و از سوی دیگر سبب ایجاد طعمی غیرمعمول در محصول می‌گردد [٦]. علاوه براین، کاربرد کنسانتره پروتئینی شیر در فرمولاسیون پنیر باعث کاهش میزان تلخی می‌شود [۷]. لذا با کاربرد همزمان آنها می‌توان محصولی با خواص رئولوژیکی بهتر و طعم مطلوب‌تر تولید کرد.

پنیر یکی از محصولات پرمصرفی است که امروزه با افزایش آگاهی مردم در مورد مضرات مصرف زیاد چربی، تقاضا برای نوع کم‌چرب و کم‌کالری آن نیز افزایش یافته است [۸ و ۹]. با این وجود، کاهش مقدار چربی در پنیر، منجر به کاهش چشمگیری در بافت و کیفیت حسی آن می‌گردد [۱۰]. بر این اساس، تولید یک پنیر کم‌چرب، بدون مشکلات ذکر شده، از اهمیت بالایی برخوردار است.

یکی از معمول‌ترین روش‌های تولید پنیرهای کم‌چرب با خواص بافتی و حسی مطلوب، استفاده از جانشین‌های چربی است. کاربرد این ترکیبات باعث بهبود بافت، افزایش ویژگی‌های عملکردی، بالا رفتن راندمان تولید و خواص ارگانولپتیک مطلوب پنیر کم‌چرب می‌گردد [۱۱].

پروتئین‌های آب پنیر دارای خواص عملکردی گوناگون بویژه افزایش ظرفیت نگهداری آب در مواد غذایی می‌باشند و از این نظر می‌توانند به عنوان جایگزین چربی در تولید محصولات لبنی به کار روند [۱۲]. در حقیقت، یکی از مهمترین رهیافت‌ها در تولید پنیرهای کم چرب برای بهبود ویژگی آن‌ها، افزایش میزان رطوبت تا حدی است که نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم چرب برابر یا بیشتر از نوع پرچرب آن باشد [۱۳]. توانایی ایجاد ژل در محلول‌های WPC و WPI، تحت تأثیر تیمار حرارتی ۷۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد یکی از مهمترین خواص عملکردی پروتئین آب‌پنیراست که این ویژگی از عوامل موثر در بهبود بافت فرآورده‌های لبنی و ظرفیت نگهداری آب می‌باشد. همچنین استفاده از پروتئین آب پنیر باعث افزایش عملکرد و ارزش غذایی پنیر می‌شود [١٤]. علاوه بر خواص عملکردی فوق‌العاده، پروتئین‌های آب پنیر دارای ارزش بیولوژیکی بالا بوده و منبعی غنی از اسیدهای آمینه متیونین و سیستئین است که باعث خنثی‌سازی سموم در بدن شده و پیش‌ساز قوی‌ترین آنتی‌اکسیدان‌ها در بدن می‌باشد [۱۵]. به همین دلیل، طی دهه‌های اخیر تلاش‌های زیادی جهت استفاده هر چه بیشتر

1-Whey-less

2-Milk protein concentrate

3-Whey protein concentrate

از آب پنیر در محصولات غذایی صورت گرفته است و با اعمال فرآیندهای مختلف جداسازی و تغلیظ، محصولاتی مثل WPC و ایزوله‌ی پروتئین آب پنیر (WPI[4]) تولید شده است [۱۶].

تاکنون برخی انواع مختلف پنیر به شیوه پنیر وی‌لس تولید شده‌اند. نظری [۱۷] در پژوهشی ویژگی‌های حسی و بافت پنیر فتای بدون آب‌پنیر را بررسی کرد. در این تحقیق، پنیر تولید شده بدون آب‌پنیر به‌عنوان جایگزین پنیر فراپالوده معرفی شده است. در این تحقیق مخلوط خامه و پودرهای MPC و WPC جایگزین ناتراوه گردید و روش تولید پنیر همانند پنیر فراپالوده انجام پذیرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که با استفاده از مخلوط کنسانتره‌های پروتئینی می‌توان محصولی با خواص حسی مطلوب تولید نمود و به این ترتیب این روش می‌تواند به‌خوبی جایگزین روش معمول تولید پنیر فراپالوده شود. لشکری و همکاران [۱۸] نیز با تلفیق خامه و پودرهای WPC و MPC از طریق طرح آزمایشی مخلوط توانستند پنیر فتایی بدون نیاز به آب‌گیری تولید کنند. این محققین پنیر را به روش صنعتی تولید و فرمولاسیون آن را به‌صورت: ٤٥/٦٪ خامه و ۲/۷٪ WPC و ۱۱/۷٪ MPC باکمک طرح آزمایشی مخلوط بهینه کردند. همچنین میرحبیبی و همکاران [۱۹] پنیر خامه‌ای وی‌لس را با استفاده از فیبر گندم، شیر پس‌چرخ و پودر کازئینات سدیم تولید کردند. نتایج این محققین نیز نشان داد که اختلافی میان نمونه پنیر وی‌لس حاوی ٤٪ کازئینات سدیم با نمونه کنترل مشاهده نگردید. در تحقیقی دیگر، گوماه و همکاران [٤] با استفاده از روش وی‌لس تولید پنیر سفید نرم را ارزیابی نمودند. در این تحقیق، جهت تهیه پنیر بدون آب‌پنیر، مقادیر مختلف پودر شیر پرچرب به شیر اضافه شد و درنهایت پنیر تهیه شده حاوی ٤٠ درصد پودر شیر پرچرب بهترین نتیجه را از نظر طعم، برش‌پذیری، بافت و پذیرش کلی محصول همراه داشت.

هرچند از پروتئین‌های آب‌پنیر به شکل کنسانتره یا ایزوله در تولید برخی انواع پنیر به‌ویژه پنیر سفید سنتی و فراپالوده استفاده شده است، اما استفاده از این ترکیبات به همراه کنسانتره پروتئینی شیر در تولید پنیر وی‌لس به برخی تحقیقات انجام شده در این زمینه، مانند پنیر فتا، محدود شده است. در تولید این نوع پنیر، برخلاف پنیر فراپالوده، به‌دلیل عدم استفاده از اولترافیلتراسیون غشایی آب‌پنیری در این روش تولید نمی‌شود و بنابراین با مشکلات حاصل از تولید این محصول جانبی روبرو نخواهیم بود. لذا با توجه به اهمیت مصرف پنیر و نقش آن در تغذیه مردم ایران، این تحقیق به منظور بررسی امکان تولید پنیر سفید وی‌لس کم-چرب، با ارزش غذایی بالاتر از پنیرهای رایج مشابه در بازار، صورت پذیرفت. علاوه بر این، با این روش از تولید آب‌پنیر حین تولید این محصول جلوگیری خواهد شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

برای تولید نمونه‌های پنیر، از شیر تازه، پودر WPC، پودر MPC، خامهٔ ۳۰ درصد چربی، و آغازگرهای مزوفیل (CHOOZIT 230، حاوی مخلوطی از *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* و *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*) و ترموفیل (Yo-Mix 532، حاوی *Streptococcus thermophilus* و *Lactobacillus delbrooki* subsp. *bulgaricus*) تولیدی توسط شرکت Danisko آلمان استفاده شد. همچنین جهت انعقاد و تولید پنیر، از رنت میکروبی (رنیلاز[5]) تولید شرکت کریستین هانسن دانمارک استفاده شد.

۲-۲- روش تولید پنیر وی‌لس

نمونه‌های پنیر وی‌لس، با کیفیت مشابه پنیر فراپالوده، مطابق روش لشکری و همکاران [۱۸] با کمی تغییرات تولید شدند.

4-Whey protein isolate

5-Rennilase

خامه و پودرهای WPC و MPC، مطابق طرح آزمایشی مخلوط (Mixture)، به شیر تازه اضافه شدند و ترکیب حاصل در دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٦٠ دقیقه، به‌منظور هیدراته شدن پروتئین‌های شیر، حرارت داده شد. پس از هموژنیزاسیون تک مرحله‌ای در فشار ٧٠ بار، مخلوط در دمای ٦٣/٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٣٠ دقیقه پاستوریزه شد. بعد از خنک کردن تا دمای ٤٥ درجه سانتی‌گراد، مخلوط به وت پنیرسازی منتقل گردید و مخلوط استارتر مزوفیل و ترموفیل (١:١) به میزان ١٠ واحد به ازای ١٠٠٠ لیتر شیر و کلرید کلسیم به میزان ٠/٢ گرم به ازای هر لیتر شیر اضافه و در دمای ٣٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٣٠ دقیقه گرمخانه‌گذاری شد. در مرحله بعد، نمک (١٥ گرم به ازای ١٠٠٠ لیتر شیر)، قبل از تشکیل لخته به شیر اضافه شد. پس از افزودن رنت به میزان ٠/٠٤ گرم به ازای هـر ١٠٠٠ لیتر شیر، ناتراوه به ظروف پلاستیکی ٢٠٠ گرمی منتقل گردید و به مدت ٢٥ دقیقه در دمای ٣٥ درجه سانتی‌گراد جهت تشکیل لخته نگهداری شدند. درنهایت، ظروف پنیر با پوشش آلومینیوم فویل دربندی شدند. پس از گرمخانه‌گذاری در دمای ٣٠ درجه سانتی‌گراد به مدت ١٢ ساعت، ظروف پنیر به یخچال با دمای ٧ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و به مدت ٤٥ روز در این دما نگهداری شدند.

٢-٣- اندازه‌گیری pH

اندازه‌گیری pH نمونه‌های پنیر وی‌لس با استفاده از pH متر مدل Metrohm-780 ساخت کشور سوئیس صورت پذیرفت [٢٠].

٢-٤- آب‌اندازی

مقدار آب‌اندازی (سینرزیس) نمونه‌های تولیدی با تخلیه آب موجود در ظروف بسته‌بندی در یک استوانه مدرج ارزیابی شد. حجم فاز آبی جدا شده برحسب میلی‌لیتر ثبت گردید [٢١].

٢-٥- ارزیابی رنگ پنیر

ویژگی‌های رنگ نمونه‌های پنیر تولیدشده با استفاده از دستگاه هانتر لب مانیتوبا (مدل CR-٤٠٠)، ساخت ژاپن، مورد ارزیابی قرار گرفت. پارامترهای L* بیانگر روشنایی رنگ (بین ٠ تا ١٠٠)، a* (a+ قرمزی، a- سبزی) و b* (b+ زردی، b- آبی رنگ) بین ١٢٠- تا ١٢٠+ اندازه‌گیری شدند [٢٢].

٢-٦- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش، تأثیر افزودن خامه (٣٠-٢٠٪) ، پودر MPC (٥٪-١٥) و پودر WPC (١٠٪-٢٠) به شیر تازه (٥٥٪) بر ویژگی‌های پنیر وی‌لس با استفاده از مدل مخلوط در نرم‌افزار Design Expert بررسی شد. با توجه به اثر سه متغیر مورد بررسی، مطابق جدول ١ تعداد ١٢ مخلوط تولید و نمونه‌ها طی مدت ٤٥ روز نگهداری، در روزهای ١، ٢٣ و ٤٥ مورد ارزیابی قرار گرفتند.

Table 1 Treatment coding

Run	Cream	MPC	**WPC**
1	20	10	**15**
2	20	5	**20**
3	20	15	**10**
4	21.67	6.67	**16.67**
5	23.33	8.33	**13.33**
6	30	5	**10**
7	21.67	11.67	**11.67**
8	20	15	**10**
9	26.67	6.67	**11.67**
10	25	5	**15**
11	30	5	**10**
12	25	10	**10**

٣- نتایج و بحث

تجزیه واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای مستقل فرآیند بر هرکدام از متغیرهای پاسخ انجام شد. مدل‌های مختلف بر اساس R^2 و R^2 پیش‌بینی شده[٦] مقایسه شدند.

6-Predicted R2

به این صورت که مدل دارای بیشترین مقدار R^2 و R^2 پیش‌بینی شده، قدرت پیش‌بینی و دقت بالایی را خواهد داشت.

۱-۳- بررسی pH محصول تولیدی

مدل‌های پیشنهادی به همراه ضرایب همبستگی برای هرکدام از متغیرهای پاسخ موردبررسی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌گردد، مدل خطی برای توصیف متغیر پاسخ pH معنی‌دار گشته ($p<۰/۰۵$) و به عنوان مناسب‌ترین مدل ($R^2=۰/۸۰$) پیشنهاد شده است. درواقع معنی‌دار بودن آمیزه خطی نشان‌دهنده معنی‌داری اثر اجزای مخلوط (خامه، MPC و WPC) است. این موضوع نشان دهنده تغییرات مورد انتظار در متغیر پاسخ Y برحسب واحد تغییر X، وقتی که سایر فاکتورهای دیگر ثابت هستند، می‌باشد. بنابراین معیاری از میزان تأثیر جزء مربوطه نسبت به سایر اجزای مدل بر متغیر پاسخ pH است و هرچه این ضریب بیشتر باشد یعنی عبارت مربوط به آن تأثیر بیشتری بر متغیر پاسخ دارد. مدل رگرسیون خطی با رابطه زیر به برآورد شاخص pH می‌پردازد:

$$pH= 0.09\ A + 0.12\ B + 0.12\ C$$

(معادله ۱)

که در آن حروف A، B و C به ترتیب مربوط به درصد خامه، MPC و WPC در فرمولاسیون هستند.

با توجه به معادله ۱، مشاهده می‌شود که فاکتورهای MPC و WPC، نسبت به فاکتور خامه، تأثیر زیادی بر افزایش متغیر پاسخ pH داشته‌اند.

Table 2. Selected models by software

Traits	R^2	Predicted R^2	P- value	STD	**Proposed model**
L*	0.86	0.77	0.0001	1.11	**Linear**
a*	0.91	0.88	<0.0001	0.25	**Linear**
b*	0.74	0.52	0.08	0.47	**Quadratic**
pH	0.80	0.64	0.0008	0.06	**Linear**
Syneresis	0.97	0.87	0.0001	0.48	**Quadratic**

اثر

همزمان متغیرهای مستقل خامه، MPC و WPC بر متغیر پاسخ pH نمونه‌های فرمولاسیون پنیر وی‌لس در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش میزان خامه، pH روند کاهشی داشته است. بیشترین میزان pH نیز در فرمولاسیون‌های با مقدار کمتر خامه و مقادیر بیشتر MPC و WPC مشاهده شد. در پژوهشی که توسط عمرانی خیابانی و همکاران [۲۳] انجام شد، جهت تولید پنیر فتای وی‌لس، مقادیر مختلفی از ایزوله پروتئین نخود جایگزین MPC شد. نتایج نشان داد که با افزایش ایزوله پروتئین نخود و کاهش میزان MPC مقدار pH نیز کاهش معنی‌داری یافت. پتریدیس و همکاران [۲٤] نیز در تحقیقی، افزایش اسیدیته ماست و درنتیجه کاهش pH آن را در نمونه‌های حاوی مقدار بیشتر شیر گاومیش گزارش کردند. همچنین، جوینده و همکاران [۲۵] گزارش کردند که با افزایش میزان شیر گاومیش، pH نمونه‌های ماست چکیده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و دلیل آن را به بالاتر بودن ماده خشک شیر گاومیش و تولید بیشتر اسید لاکتیک توسط باکتری‌های آغازگر نسبت دادند.

با توجه به اینکه pH پنیر وی‌لس تولیدی در محدوده ٤/٤-٦/٧ مطلوب است، نتایج نشان می‌دهد که با کاهش درصد خامه به ۲۵-۲۲ درصد و افزایش MPC به ۱۰-٦ درصد و WPC به ۱۵-۱۲ درصد مقدار pH مطلوب حاصل شده است.

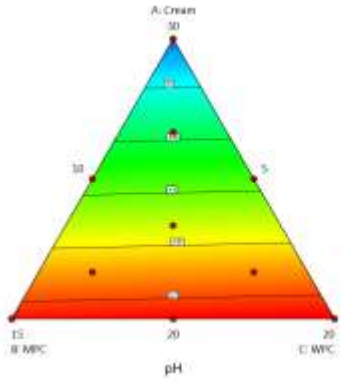


Figure 1 The pH of Whey less cheese with the addition of cream, MPC, and WPC

۲-۳- آب‌اندازی (سینرزیس) محصول تولیدی

باتوجه به نتایج بدست آمده، مدل درجه دوم (کوادراتیک) برای متغیر پاسخ آب‌اندازی معنی‌دار گشته (p<۰/۰۵) و با ضریب همبستگی ۰/۹۷ به عنوان مناسب‌ترین مدل برای توصیف این متغیر پاسخ پیشنهاد شده است (جدول ۲). همچنین، با توجه به مقدار p که در جدول ۳ گزارش شده است، مدل و اثرات هر یک از اجزای فرمولاسیون شامل خامه، MPC و WPC بر میزان آب‌اندازی پنیر وی‌لس معنی‌دار شده‌اند. همانگونه که قبلاً نیز اشاره شد، معنی‌دار بودن آمیزه خطی نشان‌دهنده معنی‌داری این سه جزء می‌باشد. در بین اثرات متقابل اثر خامه–MPC معنی‌دار شده (p<۰/۰۵) که نشان‌دهنده تغییرات مورد انتظار در متغیر پاسخ Y برحسب واحد تغییر X، وقتی که سایر فاکتورهای دیگر ثابت هستند، می‌باشد. بنابراین معیاری از میزان تأثیر جزء مربوطه نسبت به سایر اجزای مدل بر متغیر پاسخ آب‌اندازی است و هرچه این ضریب بیشتر باشد یعنی عبارت مربوط به آن اثر بیشتری بر متغیر پاسخ دارد. مدل درجه دوم با رابطه زیر میزان آب‌اندازی محصول را تخمین می‌زند:

$$\text{Syneresis} = 0.82\,A + 0.58\,B - 0.004\,C - 0.07\,AB$$ (معادله ۲)

که در آن حروف A، B و C به ترتیب مربوط به درصد خامه، MPC و WPC در فرمولاسیون هستند. ضرایب غیرمعنی‌دار نیز از معادله حذف شده‌اند.

در معادله ۲ همان‌طور که مشاهده می‌شود، فاکتور خامه بیشترین تأثیر را در افزایش متغیر پاسخ آب‌اندازی داشته و فاکتور MPC تأثیر کمتری داشته است. همچنین اثر متقابل خامه–MPC و فاکتور WPC بیشترین تأثیر را در کاهش این متغیر پاسخ نشان داده‌اند.

Table 3. Analysis of variance for effect of cream, MPC and WPC on L*, a*, b*, pH and syneresis of whey less cheese

Variable sources	Mean square					
	df	L*	a*	b*	pH	**Syneresis**
Model	2	34.79^{**}	3.03^{**}	0.74^{ns}	0.05^{**}	$\mathbf{9.55}^{**}$
Linear mixture	2	34.79^{**}	3.03^{**}	0.10^{ns}	0.05^{**}	$\mathbf{21.57}^{**}$
AB	-	-	-	0.48^{ns}	-	$\mathbf{2.94}^{*}$
AC	-	-	-	3.00^{**}	-	$\mathbf{0.78}^{ns}$
BC	-	-	-	0.32^{ns}	-	$\mathbf{0.80}^{ns}$
A2BC	-	-	-	-	-	-
AB2C	-	-	-	-	-	-
ABC2	-	-	-	-	-	-

ABC	-	-	-	-	-	-
Residual	9	1.22	0.06	0.22	0.003	**0.23**
Lack of fit	7	1.57	0.08	0.33	0.004	**0.35**
Error	2	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
CV (%)	-	1.56	10.18	2.47	1.20	**12.47**

***and ** means significant at 5 and 1% and ns means non-significant**

شکل ۲ اثر همزمان متغیرهای مستقل خامه، MPC و WPC را بر متغیر پاسخ سینرزیس نمونه‌های فرمولاسیون پنیر وی‌لس نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ مشاهده می‌شود که بیشترین میزان سینرزیس محصول (۸/۱ میلی‌لیتر) زمانی رخ داده است که میزان خامه استفاده شده در حداکثر مقدار خود بوده است (ناحیه قرمز رنگ) و با کاهش میزان خامه تا ۲۰ درصد، میزان سینرزیس نیز به ۲/۸–۱/۱۵ میلی‌لیتر کاهش یافته است. درواقع افزایش درصد خامه در فرمولاسیون، سبب افزایش معنی‌دار ($p<0/05$) میزان سینرزیس پنیر وی–لس تولیدی شده است. از آنجایی که طبق نتایج حاصل از این تحقیق، افزایش درصد خامه در فرمولاسیون سبب کاهش pH نمونه‌های تولیدی گردید، لذا این احتمال وجود دارد که کاهش pH منجر به افزایش آب‌اندازی در فرمولاسیون‌های حاوی درصدهای بالای خامه شده است [۲۵ و ۲۶]. از سوی دیگر، کمترین میزان سینرزیس زمانی رخ داده است که میزان WPC در حداکثر مقدار خود (۲۰ درصد) بوده است و درواقع با افزایش درصد WPC سینرزیس محصول کاهش معنی‌داری ($p<0/05$) یافته است. این کاهش ممکن است در نتیجه تشکیل یک شبکه پروتئینی قوی باشد که منجر به کاهش خروج آب پنیر می‌شود. سایر محققان نیز گزارش کرده‌اند که با افزایش مواد جامد شیر، میزان آب‌اندازی پنیر کاهش می‌یابد [۲۷]. عمرانی خیابانی و همکاران [۲۳] نیز گزارش کردند که افزایش میزان ایزوله پروتئین نخود و کاهش MPC موجب افزایش آب‌اندازی پنیر فتا وی‌لس گردید و دلیل آن را ایجاد شبکه پروتئینی ضعیف بین پروتئین‌های نخود و شیر گاو، و درنتیجه افزایش آب‌اندازی پنیر وی‌لس، گزارش کردند.

با توجه به اینکه سینرزیس در محدوده ۵–۴ میلی‌لیتر مطلوب است، نتایج نشان می‌دهد که با کاهش درصد خامه به ۲۶–۲۵ درصد و افزایش MPC به ۶/۵–۵ درصد و WPC به ۱۳–۱۲ درصد مقدار سینرزیس مطلوب حاصل شده است.

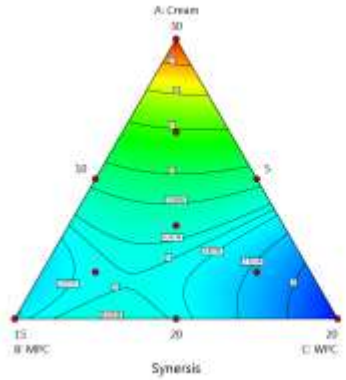


Figure 2 The Syneresis of Whey less cheese with the addition of cream, MPC, and WPC

۳–۳– فاکتورهای رنگ‌سنجی محصول تولیدی

در تولید پنیر، همانند سایر مواد غذایی، رنگ محصول نهایی فاکتوری مهم در ارزیابی آن توسط مصرف کننده است. در

پژوهش حاضر، کلیه‌ی نمونه‌های پنیر وی‌لس تولید شده از نظر فاکتورهای روشنایی، سبزی و زردی در سطح خوب و قابل قبولی بودند. طبق نتایجی که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مدل خطی برای فاکتورهای *L (روشنایی) و *a (قرمزی–سبزی) و مدل کوادراتیک برای فاکتور *b (آبی–زرد)، به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۸٦، ۰/۹۱ و ۰/۷٤، برازش شدند.

با توجه به مقدار p در جدول ۳، مدل و اثرات اجزای فرمولاسیون بر فاکتورهای *L و *a معنی‌دار (p<۰/۰۵) شده‌اند که نشان‌دهنده معنی‌داری اثر اجزای مخلوط (خامه، MPC و WPC) بر متغیر پاسخ *L و *a است. همان‌طور که در جدول ۲ و ۳ مشاهده می‌شود، مدل و اثر اجزای فرمولاسیون بر فاکتور *b معنی‌دار نشده (p>۰/۰۵) و تنها اثر متقابل خامه–WPC معنی‌دار (p<۰/۰۵) شده است. بنابراین معیاری از میزان تأثیر عبارت مربوطه نسبت به سایر عبارت‌های مدل بر متغیر پاسخ *b است. همان‌طور که در معادله ۵ نشان داده شده است، اثر متقابل خامه–WPC دارای بیشترین تأثیر در کاهش فاکتور *b می‌باشد. مدل رگرسیون خطی با رابطه زیر به برآورد شاخص‌های رنگی *L، *a و *b می‌پردازد:

$$L^* = 1.89\,A + 1.49\,B + 1.04\,C$$

(معادله ۳)

$$a^* = -0.04\,A + 0.10\,B + 0.20\,C$$

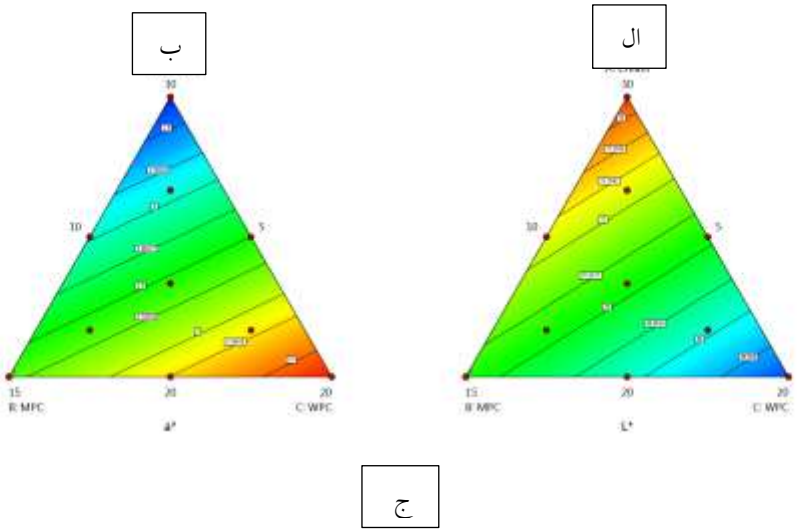
(معادله ٤)

$$b^* = -0.07\,AC$$

(معادله ۵)

که در آن حروف A، B و C به ترتیب خامه، MPC و WPC هستند. فقط ضرایب معنی‌دار در فرمول قرار داده شده‌اند.

همانطور که در شکل ۳–الف نشان داده شده است، با افزایش میزان خامه، روشنایی پنیر وی‌لس تولیدی نیز افزایش معنی‌داری (p<۰/۰۵) یافته است. این درحالی است که میزان فاکتور *a با افزایش درصد خامه، بصورت معنی‌داری (p<۰/۰۵) کاهش یافته است (شکل ۳–ب)؛ ولی با توجه به شکل ۳–ج افزایش میزان خامه، هرچند باعث افزایش میزان زردی (*b) نمونه‌ها شد ولی این تأثیر معنی‌داری نبود (p>۰/۰۵). با افزایش درصد MPC میزان زردی (*b) کاهش یافته است، هرچند که این کاهش معنی‌دار نبود. در ارتباط با تغییر درصد WPC در فرمولاسیون، مشاهده شد که با افزایش این متغیر، فاکتورهای رنگی *L و *a به ترتیب بصورت معنی‌داری (p<۰/۰۵) کاهش و افزایش یافتند (شکل ۳)؛ درحالی که این متغیر باعث افزایش غیرمعنی‌دار فاکتور *b شد (p>۰/۰۵).



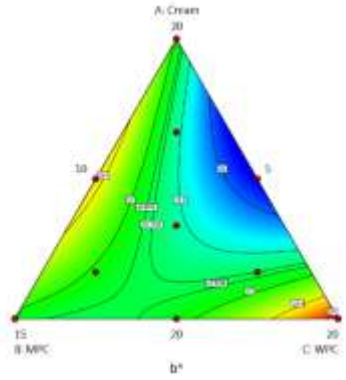


Figure 3 The L*, a*, and b* of Whey less cheese with the addition of cream, MPC, and WPC

مقادیر بدست آمده برای فاکتورهای رنگی بررسی شده مطابق نتایج بدست آمده برای پنیر توسط سایر محققان بود [۲۲، ۲۵ و ۲۸]. خوآن و همکاران [۲۹] مشاهده کردند که فاکتور روشنایی نمونه‌های پنیر تولیدی، با کاهش محتوای چربی کاهش یافت. نصرتی و همکاران [۳۰] تأثیر غلظت‌های مختلف پودر آب‌پنیر فراپالوده املاح‌گیری شده (DUWP) در سطوح صفر، ۱ و ۲ درصد (W/V) و لاکتولوز در سطوح ۰ و ۱ درصد، (W/V) را بر ویژگی‌های رنگ پنیر سین‌بیوتیک فراپالوده به‌عنوان یک غذای فراسودمند ارزیابی کردند. نتایج این محققین نشان داد که پودر DUWP سبب کاهش معنی‌دار شاخص L* نمونه‌ها شد (p<۰/۰۰۱)، اما این متغیر تأثیری بر شاخص‌های a* و b* نداشت. دانش و همکاران [۱۰] برخلاف نتایج حاضر بیان داشتند که به‌کارگیری پروتئین‌های آب‌پنیر در فرمولاسیون پنیر سفید سنتی ایرانی، سبب متخلخل‌تر شدن بافت پنیر گردیده و به‌دلیل ایجاد منافذ بیشتر، ریزساختار پنیر شبیه به ساختار کندوی عسل می‌گردد؛ شرایطی که مسلماً منجر به افزایش شکست نور و افزایش روشنایی نمونه‌ها می‌شود. درهرحال، علت عدم تأثیر پودر DUWP بر روشنایی پنیر در این تحقیق، احتمالاً میزان پایین پروتئین‌های آب‌پنیر در پودر DUWP می‌باشد. علاوه بر این دانش و همکاران [۳۱] در پژوهشی دیگر تأثیر تلفیق آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و پروتئین‌های آب‌پنیر بر پنیر فراپالودهٔ ایرانی را مورد بررسی قرار دادند. این محققین نیز علت بالاتر بودن میزان روشنایی نمونه‌ها در پنیر فراپالوده را عواملی نظیر افزایش تعداد حفره‌های سرمی و ایجاد بافت متخلخل در نمونه‌های پنیر عنوان کردند.

٤-۳- بهینه‌یابی فرمولاسیون پنیر وی‌لس

جهت دستیابی به فرمولاسیون بهینه‌ی پنیر وی‌لس با استفاده از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت و طرح مخلوط، مقدار خامه در فرمولاسیون در کمترین حالت خود، MPC در محدوده مورد بررسی و WPC در بیشترین حالت خود در نرم‌افزار تنظیم شدند. مقادیر پاسخ pH در محدوده هدف (٤/٦٥)، سینرزیس در محدوده هدف (۵) و فاکتورهای رنگ‌سنجی در محدوده حاصل از آزمایش‌های انجام شده انتخاب شدند. در نهایت، نرم‌افزار بهترین فرمولاسیون انتخاب‌شده را با میزان مطلوبیت ۰/۷۸ مطابق شکل ٤ ارائه داد. این نقطه در ناحیه قله منحنی و با رنگ زرد نشان داده شده است. فرمول بهینه پنیر وی‌لس با استفاده از ۲۲/٦۰ درصد خامه، ۹/٤۰ درصد MPC و ۱۳ درصد WPC با pH برابر با ٤/٦٥، سینرزیس ۳/۱۰، شاخص L* برابر با ۷۰/۱۷، a* برابر با ۲/٦۲ و b* برابر با ۱۸/۷۲ توسط نرم‌افزار دیزاین اکسپرت پیش‌بینی شد.

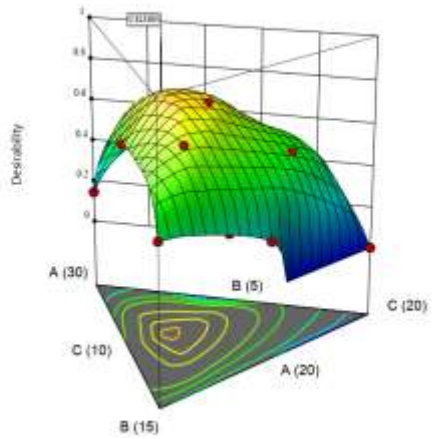


Figure 4. Contour plot of the optimization of whey less cheese formulation

٤- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، سطوح مختلف خامه، MPC و WPC برای تولید پنیر وی‌لس مورد ارزیابی قرار گرفتند. فرمول بهینه پنیر وی‌لس با استفاده از ٢٢/٦٠ درصد خامه، ٩/٤٠ درصد MPC و ١٣ درصد WPC بدست آمد و نشان می‌دهد که با به‌کارگیری کنسانتره پروتئینی شیر و همچنین کنسانتره پروتئینی آب پنیر می‌توان پنیری بدون تولید آب پنیر و با ارزش پروتئینی بالا (مناسب برای ورزشکاران و بیماران) تولید نمود، بدون آنکه ویژگی‌های محصول تولیدی دستخوش تغییرات نامطلوب قرار گیرند. علاوه‌براین، تولید این محصول موجب کاهش هزینه‌های فرآوری پساب کارخانجات پنیرسازی و همچنین کاهش آلودگی‌های زیست محیطی می‌گردد.

٥- قدردانی

مقاله حاضر بخشی از نتایج طرح پژوهشی به شماره ١٤٠١/٤١ می‌باشد و نویسندگان مراتب قدردانی خود را از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اعلام می‌دارند.

تأمین مالی

نویسنده اعلام می‌کند که هیچ بودجه‌ای دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

تمام فعالیت‌ها توسط نویسنده انجام شده است.

منافع رقابتی

نویسنده تأیید می‌کند که هیچ گونه تضاد منافع مالی یا منافع رقابتی در این مطالعه ندارد.

٦-منابع

[1] Ghoddusi, H. B., Habibi Najafi, M. B., Mazaheri Tehrani, M., and Razavi, M. A. (2004). Feta and related cheeses. Second edition. Mashhad University Press, pp. 157-155.

[2] Fadaei. V.; Poursharif, K.; Daneshi, M., Honarvar, M. (2012). Chemical characteristics of low-fat wheyless cream cheese containing inulin as fat replacer. *European Journal of Experimental Biology,* 2 (3): 690-694.

[3] Nooshkam, M., Babazadeh A., Jooyandeh, H. (2018). Lactulose: Properties, techno-functional food applications, and food grade delivery system. *Trends in Food Science & Technology*, 80: 23-34.

[4] Gomah, N. H., Mohamed, T. H., Ahmed, H. A., Ragab, W. S. (2019). Production of white soft cheese without whey separation. *Journal of Biochemical Technology*, 10 (3): 105-109.

[5] Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., and 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: 525-540.

[6] Baldwin, K. A., Baer, R. J., Parsons, J. G., Seas, S. W., Spurgeon R., and Torrey, G. S. (1985). Evaluation of yield and quality of cheddar cheese manufactured milk with added whey protein concentrate. *Journal of Dairy science*, 69: 2543-2550.

[7] Shakeel-Ur-Rehman, Farkye, N. Y., Considine, T., Schaffner, A., and Drake, M. A. (2003). Effects of standardization of whole milk with dry milk protein concentrate on the yield and ripening of reduced-fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 86: 1608–1615.

[8] Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Kondyli, E., and Alichanidis, E. (2002). Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. *Food chemistry*, 79 (2): 193-198.

[9] Kavas, G., Oysun, G., Kinik, O., and Uysal, H. (2004). Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. *Food chemistry*, 88 (3): 381-388.

[10] Danesh, E., Goudarzi, M., and Jooyandeh, H. (2018). Transglutaminase-mediated incorporation of whey protein as fat replacer into the formulation of reduced-fat Iranian white cheese: physicochemical, rheological and microstructural characterization. *Journal of Food Measurement and Characterization,* 12 (4): 2416-2425.

[11] Torabi, F., Jooyandeh, H., and Noshad, M. (2021). Evaluation of physicochemical, rheological, microstructural, and microbial characteristics of synbiotic ultrafiltrated white cheese treated with transglutaminase. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45: e15572: 1-11.

[12] 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.

[13] Broadbent, J. R., Mahon M.C., Oberg D. 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.

[14] Alimoradi, F., Hojati, E., Jooyandeh, H., Zehni-Moghadam, S. A. H., Moludi, J. (2016). Whey proteins: Health benefits and food applications. *Journal of International Research in Medical and Pharmaceutical Sciences*, 9 (2): 63-73.

[15] Smithers, G. W. (2008) Whey and Whey Proteins—From "Gutter-to-Gold". *International Dairy Journal*, 18: 695-704.

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

[17] Nazari, S. M. (2016). Free amino acid profile and textural and sensory characteristics of whey less feta cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 8 (1), 87-105. (In Persian)

[18] Lashkari, H., Varidi, M. J., Eskandari, M. H, Varidi, M. (2020). Effect of pomegranate juice on the manufacturing process and characterization of feta-type cheese during storage. *Journal of Food Quality*, 8816762.

[19] Mirhabibi, O., Bolandi, M. (2014). Production of wheyless cream cheese with wheat fiber and sodium caseinate and determination of its chemical rheological and sensory characteristics. Ph.D. Thesis. Islamic Azad University, Damghan branch, Damghan, Iran.

[20] Iranian national standardization organization. (2022). Milk and milk products- determination of titrable acidity and pH- test method. NO: 2852.

[21] Mahdavipour, M., Roufegarinejad, L., Alizadeh, A. (2018). The effect of different salt concentration on the physicochemical and sensory properties of probiotic white cheese prepared by ultrafiltration method. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 15 (83): 203-215. (In Persian)

[22] Jooyandeh, H., Ghasemi, A., Hojjati, M., and Nasehi, B. (2020). Utilization of Withania coagulants extract as rennet replacer on color and physicochemical characteristics of ultrafiltrated Iranian white cheese. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 17 (99): 1-13. (In Persian)

[23] Omrani Khiabanian, N., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raisi, Sh., Alimi, M. (2020). Chemical, textural, rheological, and sensorial properties of wheyless feta cheese as influenced by replacement of milk protein concentrate with pea protein isolate. *Journal of Texture Studies*, 51: 488-500.

[24] Petridis, D., Dimitreli, G., Vlahvei, K., Deligeorgakis, C. (2014). Effects of buffalo and cow milk mixtures enriched with sodium caseinates on the physicochemical, rheological and sensory properties of a stirred yogurt product. *Journal of Food Research*, 3 (6): 54-69.

[25] Jooyandeh, H., Alizadeh Behbahani, B., Noshad, M., Saffari Samani, E. (2022). Impact of transglutaminase enzyme on some characteristics of strained yoghurt prepared from cow and buffalo milk mixture. *Food Processing and Preservation Journal*, 14 (2): 17-34. (In Persian)

[26] Hasani Zaferani, S., Aminifar, M., Moslehi Shad, M. (2017). The study on relationship between microstructure and technological properties of yoghurt produced from different types of milk during storage. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 48 (4): 457-465.

[27] Yousseef, M., Lafarge, C., Valentin, D., Lubbers, S., Husson, F. (2016). Fermentation of cow milk and/or pea milk mixtures by different starter cultures: Physico-chemical and sensorial properties. *LWT - Food Science and Technology*, 69: 430–437.

[28] Kumar, S. S., Balasubramanian, S., Biswas, A. K., Chatli, M. K., Devatkal, S. K., Sahoo, J. (2011). Efficacy of soy protein isolate as a fat replacer on physico-chemical and sensory characteristics of low-fat paneer. *Journal of Food Science*, 48: 498–501.

[29] Juan, B., Zamora, A., Quintana, F., Guamis, B., Trujillo, A. J. (2013). Effect of inulin addition on the sensorial properties of ultrafiltered milk. *LWT-Food Science and Technology*, 42(8): 1352-1359.

[30] Nosrati, G., Jooyandeh, H., Hojjati, M., & Noshad, M. (2024). Impact of ultrafiltrated whey powder and lactulose on survival of *Bifidobacterium bifidium* and color characteristics of ultrafiltrated synbiotic cheese. *Journal of Food Science & Technology (Iran)*, *20*(141), 238-251. (In Persian)

[31] Danesh, E., Jooyandeh, H., and Goudarzi, M. 2017. Improving the rheological properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese by incorporation of whey protein concentrate and enzymatic treatment of transglutaminase. Iranian Journal Food Science & Technology. 14(67), 285-298. (In Persian)

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Investigation of physicochemical and color characteristics of low-fat whey-less ultrafiltrated cheese and optimizing of production formulation

Hossein Jooyandeh[1*], Heydar Rafiee[2], Mitra Ghodsi Sheikhjan[3]

1- Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

2- PhD student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

3- Laboratory Manager, Department of Food Science and Technology, Faculty of Animal Science and Food Technology, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 2024/08/28

Review: 2024/09/30

Accepted: 2024/10/30

Keywords:

Fat replacer,

Cream,

Whey protein concentrate powder,

Milk protein concentrate powder

DOI: **10.48311/fsct.2026.83868.0**

*Corresponding Author E-hosjooy@asnrukh.ac.ir

ABSTRACT

Whey is a precious byproduct of the cheese industry, which leads to a decrease in production yield, environmental problems, and loss of high nutritional value proteins. Innovation in the cheese industry and the use of novel methods are particularly important in retaining the whey and producing whey-less cheese with high protein value. The current research aimed to produce low-fat whey-less cheese, evaluate its characteristics, and optimize the formulation of this valuable product. Whey-less cheese treatments were determined using a mixture design. Independent variables included cream (20-30%), milk protein concentrate powder (MPC: 5-15%), and whey protein concentrate powder (WPC: 10-20%). Responses included pH, syneresis, and color factors (L*, a*, and b*). According to the results, pH decreased with increasing the amount of cream, but it represented an increasing trend with increasing MPC and WPC percentages. The syneresis of the product significantly increased by increasing the amount of cream, but this factor significantly decreased by increasing the amount of WPC. All samples were at an acceptable level in terms of color factors (lightness, greenness, yellowness). The optimal formula of whey-less cheese was predicted as 22.60% cream, 9.40% MPC, and 13% WPC through Design Expert software. The response factors consisted of pH 4.65, syneresis 10.3 ml, L* 70.17, a* 2.62 and b* 18.72.