

بهینه‌سازی تولید پنیر فتای بدون آب‌گیری با استفاده از طرح آماری مخلوط

حنان لشکری^۱، محمد جواد وریدی^{۲*}، محمد هادی اسکندری^۳، مهدی وریدی^۴

۱- دانشجوی دکتری گروه صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد، گرایش تکنولوژی مواد غذایی

۲- دانشیار، گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار، گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۴- استادیار، گروه صنایع غذایی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۰۶)

چکیده

جهت دستیابی به شرایط بهینه تولید پنیر فتای بدون آب‌پنیر، تغلیظ شده پروتئین شیر، تغلیظ شده پروتئین آب‌پنیر و خامه بترتیب با نسبت‌های ۱۵٪-۵، ۱۰٪-۰ و ۵۵-۴۰٪ با شیر تازه به میزان ثابت ۴۰٪ مخلوط شدند. نمونه‌های پنیر به روش صنعتی تولید و مورد آزمون‌های فیزیکوشیمیایی مختلف قرار گرفتند. طراحی و آنالیز نتایج آزمایشات به کمک نرم‌افزار Design-Expert ۹.۰.۰ صورت گرفت. با استفاده از این نرم افزار معادلات رگرسیونی مناسب، نمودار سطوح و کانتور مخلوط برای هر پاسخ بدست آمد. در نهایت بهینه‌سازی فرمول بر اساس میانگین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بافتی پنیرهای UF موجود در بازار انجام و نقطه‌ی بهینه با بیشترین مطلوبیت تعیین شد. متغیرهای مستقل خامه، تغلیظ شده پروتئین شیر و تغلیظ شده پروتئین آب‌پنیر در نقطه بهینه بترتیب ۴۵/۶، ۱۱/۷ و ۲/۷٪ است.

کلید واژگان: پنیر فتای بدون آب‌پنیر، خواص فیزیکوشیمیایی، تغلیظ شده پروتئین آب‌پنیر، تغلیظ شده پروتئین شیر، بهینه‌سازی

*مسئول مکاتبات: mjvaridi@ferdowsi.um.ac.ir

۱- مقدمه

پنیر یکی از غذاهای اصلی در بسیاری از نقاط دنیا محسوب می‌شود. تنوع و گوناگونی پنیرهای تولیدی دنیای امروز و ارزش غذایی بالای آنها موجب شده است که در رژیم غذایی بسیاری از کشورها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار باشد [۱]. در حال حاضر تنوع پنیرهای موجود، بالغ بر ۲۰۰۰ نوع برآورد شده که این تعداد نیز رو به افزایش است [۲]. تقریباً یک سوم شیر تولید شده در جهان برای تولید پنیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با افزایش میزان تولید شیر در سال‌های اخیر، تولید پنیر هم روند روبه رشد قابل توجهی داشته است [۳]. طبق آمار ارائه شده از سوی FAO^۱ میزان تولید پنیر در ایران طی سال‌های اخیر افزایش یافته و از ۱۱۲ هزار تن در سال ۱۹۸۹ به حدود ۲۵۵ هزارتن در سال ۲۰۱۱ رسیده است. پنیر فتای فراپالایش پنیری است با بافت نرم و مالش پذیر و دارای ماده خشک ۳۵ درصد (چربی ۱۸ تا ۲۰٪) که با انعقاد آنزیمی به دست می‌آید. این پنیر فاقد دوره رسیدگی است، pH نهایی آن پس از ۷۲ ساعت ۴/۸ بوده و دارای ۱ تا ۳٪ نمک می‌باشد و ماندگاری آن نیز حداکثر ۲ ماه است [۴]. تولید پنیر فتا در ایران تا چند سال پیش به روش سنتی انجام می‌گرفت، اما با ورود تکنولوژی فراپالایش از سال ۱۳۷۵ و با توجه به مزایای آن از جمله راندمان بالای تولید، به تدریج جایگزین روش سنتی گردید. با وجود این، کاربرد روش فراپالایش دارای معایبی از جمله هزینه بالای سرمایه‌گذاری و در نتیجه قیمت تمام شده بالاتر، وابستگی به کشورهای سازنده غشاء و ایجاد آرومای ضعیف و طعم تلخ در پنیر است [۵]. یک جایگزین مناسب برای تولید پنیر فراپالایش، تولید این فرآورده به شکل بازساخته یا بدون آب‌گیری است [۲]. در این فرایند می‌توان با ترکیب نسبت‌های مختلف پودر تغلیظ شده پروتئین آب پنیر^۲ (WPC)، پودر تغلیظ شده پروتئین شیر^۳ (MPC)، کازئینات سدیم، شیر خشک بدون چربی، خامه و شیر تازه پنیری مشابه با پنیر حاصل از فرایند فراپالایش تولید کرد. با این روش می‌توان تا اندازه‌ای شیر تازه را به وسیله پودرها جایگزین و راندمان تولید را افزایش داد و همچنین استفاده از تجهیزات فراپالایش و فیلترهای غشایی به منظور تولید پنیر فتا را حذف کرد [۶ و ۷]. بنابراین، این روش در مقایسه با روش‌های رایج

دارای مزایای زیادی از قبیل افزایش راندمان، بهداشتی بودن، هزینه سرمایه‌گذاری کمتر، قیمت تمام شده مناسب‌تر، ارزش تغذیه‌ای بالاتر و دوست‌دار محیط زیست است. میستری و همکاران (۱۹۹۶) از MPC در تولید پنیر گودا استفاده کردند. آنها توانستند بازده تولید پنیر گودا را افزایش دهند و همچنین مشاهده کردند که افت pH سریع‌تر رخ می‌دهد و زمان تشکیل لخته کوتاه‌تر و لخته سفت‌تری حاصل می‌شود [۸]. شکیل - ارلمن و همکاران (۲۰۰۳) از MPC در تولید پنیر پیتزا استفاده کرده و مشاهده نمودند که راندمان تولید افزایش یافت (۹). از WPC نیز در تولید پنیرهای فرآوری شده و آنالوگ استفاده می‌شود [۱۰]. ال نشاوی و همکاران (۱۹۸۸) نشان دادند که افزایش WPC، موجب بهبود طعم پنیر پروسس آنالوگ می‌گردد [۱۱]. الشیخ و همکاران (۲۰۱۰) مشخص کردند که افزایش WPC باعث افزایش راندمان تولید پنیر ریکوتا گردیده و بافت و طعم آنرا نیز بهبود می‌دهد [۱۲]. فاکس و همکاران (۲۰۰۴) عنوان کرد که جایگزین نمودن کازئین با WPC در مقادیر بالاتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد بد طعمی را در پنیرهای اسیدی افزایش می‌دهد [۱۰]. استفاده از پروتئین‌های تغلیظ شده آب پنیر باعث بهبود خواص رئولوژیکی پنیر خواهد شد ولی از لحاظ حسی باعث ایجاد طعم غیر معمول در آن می‌شود. افزودن پروتئین‌های تغلیظ شده شیر جهت تولید پنیر باعث کاهش میزان تلخی می‌شود [۹]. در پژوهشی سولویه و همکاران (۲۰۰۷) از یک درصد WPC به عنوان جایگزینی برای کازئین اسیدی در تولید پنیر پروسس آنالوگ استفاده کردند و اظهار داشتند که با جایگزینی ۱٪ از کازئین اسیدی با ۱٪ WPC، می‌توان پنیر پروسس آنالوگی با مواد جامد بیشتر تولید کرد و از طرفی بدلیل ارزان تر بودن WPC قیمت نهایی پنیر را کاهش داد [۱۳]. ملیکو و همکاران (۲۰۰۱) پروتئین‌های آب پنیر دارای اتصالات عرضی سطح آن، افزایش چشمگیری در سفتی و کاهش قابل ملاحظه- ای در قابلیت ذوب پنیر پروسس ایجاد شد. در ضمن دریافتند که جایگزینی ۴٪ کازئین رتنی با ۲٪ از پلیمرهای WPC

1. Food and Agriculture Organization
2. Whey protein concentrate
3. Milk protein concentrate

Table 1 Chemical properties of principle material of cheese formula

Raw material	Ash %	DM %	TN %	Fat %	%Acidity (lactic acid)	pH
Milk	0.74	12.5	3.3	3.40	0.18	6.61
Cream	0.40	36.5	2.4	30	0.15	6.52
MPC	6.70	95.5 0	71	7.05	-	6.40
WPC	8.00	96.0 0	35	8.10	-	6.50

۲-۲- روند تولید پنیر

برای تولید پنیر، پودرهای MPC و WPC و خامه (برای تنظیم چربی) طبق درصدهای مورد نظر به شیر تازه افزوده شدند. مخلوط در دمای 50°C - 45°C حرارت داده و به مدت ۱ ساعت به آن زمان داده شد تا پودرها آگیری کرده و سپس در فشار ۷۰ بار هموژناسیون و در دمای 63°C به مدت ۳۰ دقیقه پاستوریزاسیون صورت گرفت و پس از آن تا دمای 40°C - 35°C سرد شد. مایه کشت آغازگر (۱۰ واحد به ازاء ۱۰۰۰ لیتر شیر) به شیر تلقیح و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در همین دما نگهداری شد تا آغازگرها فرصت کافی برای فعالیت و کاهش pH به 6.4 را قبل از افزودن رنت داشته باشند. بعد از گذشت این زمان، نمک (به صورت مستقیم قبل از تشکیل لخته) به میزان $1/5$ گرم، کلرید کلسیم به میزان 0.02 گرم و رنت به میزان 0.004 گرم به ازاء 100 گرم به مخلوط اضافه شد. این مخلوط در ظروف پلاستیکی 100 گرمی ریخته و ۲۰ دقیقه در دمای 35°C نگهداری شد تا لخته ایجاد گردد و در نهایت با پوشش آلومینیوم دربندی حرارتی صورت گرفت. پنیرهای تولیدی به مدت ۴ ساعت در گرمخانه 40°C نگهداری و سپس به مدت ۴۸ ساعت در سردخانه با دمای 6°C قرار گرفتند. نمونه‌ها بعد از این مدت با آزمون‌های مختلف ارزیابی شدند و در نهایت بهینه‌سازی فرمول بر اساس میانگین ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و بافتی پنیرهای UF موجود در بازار انجام و نقطه‌ی بهینه با بیشترین مطلوبیت تعیین شد.

۲-۳- آزمون‌ها

بعد از گذشت ۴۸ ساعت نگهداری در سردخانه 6°C ، نمونه‌های پنیر تازه مورد آزمون‌های زیر قرار گرفتند.

۲-۳-۱- آزمون‌های فیزیکی شیمیایی

مواد جامد کل به روش وزنی، چربی به روش ژربر، اسیدیته قابل تیتراسیون بر مبنای اسید لاکتیک (w/w)، پروتئین خام به

می تواند شبه پنیر پروسسی با بافت و قابلیت ذوب یکسان تولید کند [۱۴]. نظری و حصارى (۲۰۱۳) با استفاده از WPC (۸۰٪ پروتئین) و MPC (نسبت کازین به آب پنیر ۸۰ به ۲۰٪) پنیر فتای بدون آگیری را تولید و ویژگی‌های حسی آن را ارزیابی کردند و مشاهده نمودند که نمونه‌ی تولید شده از اختلاط WPC و MPC با نسبت پروتئین آب پنیر به کازین ۳۰ به ۷۰ درصد نسبت به نمونه‌ی با نسبت ۲۰ به ۸۰ درصد از نظر ارزیابی حسى در روز ۳۰ و ۶۰ از دوره نگهداری، مطلوبیت بیشتری دارد (۱). فاکتورهای مهمی نظیر کیفیت مواد اولیه، فرمولاسیون، روش فرایند و دانش فنی در ویژگی‌های محصول نهایی نقش دارند. هدف از انجام این تحقیق رسیدن به فرمولاسیون بهینه مواد اولیه‌ای بود که تا حد امکان پس از اختلاط و افزودن آنزیم، آغازگر و نمک، پنیری تولید شود که با خصوصیات پنیر فتای فراپالایش مطابقت نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد اولیه

شیر و خامه تازه و پاستوریزه نشده و پودر تغلیظ شده پروتئین شیر (MPC) از شرکت پگاه فارس (شیراز، ایران) و پودر تغلیظ شده پروتئین آب پنیر (WPC) از شرکت Glanbia آلمان تهیه شد. در جدول شماره ۱ ویژگی‌های شیمیایی این ترکیبات مشاهده می‌شود. انعقادگر مصرفی از نوع میکروبی با نام تجاری Microclerici-st:2040 (Sacco International) Caglifificio Clerici SpA Clerici (ایتالیا) و آغازگر از نوع مایه کشت مستقیم به وت، لیوفلیزه^۴ با نام تجاری FEM-Optiform GmbH) آلمان) حاوی گونه‌های استرپتوکوکوس ترموفیلوس^۵ و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیر گونه بولگاریکوس^۶ بود. نمک طعام تصفیه شده از شرکت دردانه شیراز تهیه شد. کلرید کلسیم مصرفی تولید شرکت مرک آلمان بود و لیوان‌های 100 گرمی از شرکت گلیزه شیراز تهیه گردید.

4. lyophilized direct-to-vat mixed culture
5. *Streptococcus thermophilus*
6. *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*

برسند و سپس توسط یک گروه ۱۰ نفره آموزش دیده ارزیابی شدند. نمونه‌ها از نظر پذیرش کلی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (حداقل و حداکثر رضایتمندی به ترتیب با امتیاز ۱ تا ۵) بررسی شدند [۲].

۲-۳-۴- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به منظور بررسی اثر متغیرها بر پاسخ‌ها از طرح مخلوط به شیوه شبکه سادک^{۱۳} استفاده شد. دامنه تغییرات ۳ متغیر عبارت بودند از: MPC ۱۵٪-۵ ، WPC ۱۰٪-۰ و خامه تازه با ۳۰٪ چربی ۵۵-۴۵٪. در همه تیمارها میزان شیر ۴۰٪ و مجموع ۳ متغیر ۶۰٪ در نظر گرفته شد. این طرح آزمایش، در قالب ۱۴ تیمار انجام شد (جدول ۲)، که جایگاه تیمارها بر روی سادک را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد. از نرم افزار ۹،۰،۰ Design-Expert جهت آنالیز داده‌ها استفاده شد. معادلات رگرسیونی مناسب برای نشان دادن رابطه هر یک از متغیرهای وابسته با متغیرهای مستقل، نمودار سطوح مخلوط^{۱۴} (MSP) و کانتور مخلوط^{۱۵} (MCP) برای هر پاسخ به وسیله این نرم افزار بدست آمد. برای ارزیابی صحت مدل-های برازش داده شده، مقادیر ضریب تبیین^{۱۶} (R^2)، تصحیح شده مدل و عدم برازش^{۱۷} تعیین شدند.

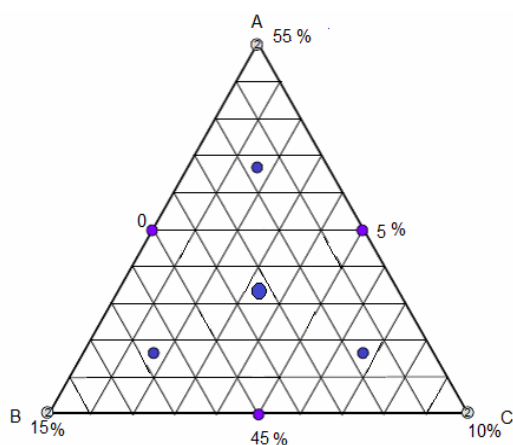


Fig1 Ternary Plot of the Mixture variables (A: cream%, B: MPC%, C: WPC)

روش میکروکلدال، خاکستر به روش سوزاندن در کوره الکتریکی، نمک به روش مور و pH نمونه‌ها بعد از گذشت ۴ ساعت نگهداری در گرمخانه^{۱۸} ۴۰°C با استفاده از pH متر دیجیتال (AZ ، TES-1380K ، تایوان) اندازه‌گیری شدند (۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۱۶). اندازه‌گیری آب‌اندازی از طریق تعیین نسبت وزنی آب پنیر به دلمه بعد از خروج آب دلمه انجام شد [۲۱]. برای ارزیابی رنگ از سیستم عکس برداری با دوربین دیجیتال (canon power shot A540، ژاپن) استفاده و رنگ سنجی در فضای رنگی هانتر لب انجام شد. در این روش نمونه‌های استوانه شکل بترتیب با قطر و ارتفاع ۲۷ و ۲۰ میلی متر در یک جعبه بسته با دیوارهای سفید رنگ (جهت بازتابش نور لامپ از تمام جهات به سمت نمونه) دارای دو لامپ فلورسنت و تنگستن قرار داده شد، سپس از نمونه‌ها عکس گرفته و پس از آن، عکس‌ها با استفاده از نرم افزار فتوشاپ نسخه ۹ بررسی شدند و پارامترهای L^* ، a^* و b^* نمونه‌ها به دست آمد. پارامترهای نمونه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شدند. آزمون با سه تکرار برای هر نمونه انجام گرفت [۲۲].

۲-۳-۲- ارزیابی بافت

ارزیابی بافت توسط دستگاه بافت سنج (CT3 Brookfield ساخت آمریکا) انجام شد. برای اینکار نمونه‌های پنیر ابتدا از یخچال خارج شده و برای هم‌دمایی با محیط ۱۰ دقیقه زمان داده شد. سپس از هر کدام نمونه‌ای به شکل استوانه بترتیب با قطر و ارتفاع ۲۷ و ۲۰ میلی متر تهیه و در دستگاه قرار گرفت و توسط پروب فشارنده با قطر ۳۵ میلی متر تا ۲۰٪ ارتفاع اولیه فشرده شد. سرعت حرکت پیشانی ۶۰ میلی‌متر در دقیقه بود. هر آزمون حداقل در سه تکرار انجام شد. شاخص‌هایی مانند سختی^۷، پیوستگی^۸، چسبندگی^۹، حالت صمغی^{۱۰}، آدامسی^{۱۱} و فنری^{۱۲} از روی منحنی به دست آمده از دستگاه تعیین شدند.

۲-۳-۳- ارزیابی حسی

در خصوص آزمون حسی، نمونه‌ها بطور تصادفی رمزگذاری و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند تا به تعادل دمایی

13. Simplex Lattice
14. Mixture surface plote
15. Mixture contour plote
16. Coefficient of determination
17. Lack of fit

7. hardness
8. cohesiveness
9. adhesiveness
10. gumminess
11. chewiness
12. springiness

صورت تابعی از متغیرهای مستقل مدل‌سازی شدند. با استفاده از جدول آنالیز واریانس، (ANOVA) معنی دار بودن اثرات خطی و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ بررسی گردید. برای ارزیابی صحت مدل‌های برازش داده شده از مقادیر R^2 ، R^2 تصحیح شده مدل و تست عدم برازش استفاده شد. همانطور که در جدول ۳ دیده می‌شود، معادلات پیشگو بدست آمده، از ضرایب تبیین بالایی برخوردار هستند ($R^2 > 0.8$)، بنابراین به خوبی برای پیش‌بینی تغییرات این پاسخ‌ها قابل استفاده خواهند بود. نتایج نشان داد که عدم برازش برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند.

Table 2 Experimental design

Run	WPC(%)	MPC(%)	cream(%)
1	3.33	8.33	48.3
2	6.67	6.67	46.7
3	0.00	10.0	50.0
4	0.00	5.00	55.0
5	5.00	5.00	50.0
6	5.00	10.0	45.0
7	0.00	15.0	45.0
8	10.0	5.00	45.0
9	1.67	11.67	46.7
10	0.00	15.0	45.0
11	10.0	5.00	45.0
12	0.00	10.0	50.0
13	0.00	5.00	55.0
14	1.67	6.67	51.7

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مدل سازی

با کمک آنالیز رگرسیون داده‌ها توسط نرم افزار ۹.۰.۰ Design Expert، همه پاسخ‌ها در قالب یک معادله چند جمله‌ای به

فرم زیر درج شده است.

Table 3 Predictive models for properties of whey less Feta cheese^{a,b}

Responses	Predictive models	R ²	R ² (adj)
Syneresis (%)	0.574 A ^{***} -2.550B ^{***} +17.48 C ^{***} +0.030 AB ^{ns} -0.416 AC ^{***} - 0.148BC ^{**}	0.998	0.988
DM (%)	0.680A ^{***} -0.545B ^{***} +8.836C ^{***} +0.025AB ^{ns} -0.183AC ^{***} - 0.054BC ^{ns}	0.939	0.900
Fat (%)	0.474A ^{***} -0.046B ^{***} +4.950C ^{***} -0.0054AB ^{ns} -0.116 AC ^{***} - 0.026BC ^{ns}	0.991	0.985
Acidity (% lactic acid)	0.025A ^{***} +0.142B ^{***} +0.022 C ^{***} -0.0033 AB [*] -0.000028AC ^{ns} + 0.00026BC ^{ns}	0.946	0.913
Salt (%)	0.018A ^{***} +0.096B ^{***} -0.124C ^{***} - 0.001AB ^{ns} +0.0037AC ^{ns} +0.0017BC ^{ns}	0.939	0.900
TP (%)	0.07A ^{***} -0.068B ^{***} +1.7C ^{***} +0.018 AB ^{ns} -0.031AC [*] -0.018BC ^{ns}	0.984	0.975
pH	0.075A ^{***} +0.424B ^{***} +0.455C ^{***} -0.0065 AB ^{ns} -0.0067AC ^{ns} - 0.0044BC ^{ns}	0.945	0.911
Ash (%)	0.031A ^{***} -0.083B ^{***} -0.148C ^{***} +0.0046AB ^{ns} +0.0064 AC ^{ns} - 0.0075 BC [*]	0.920	0.869
Hardness (g)	13.4A ^{***} +676.8B ^{***} +181. C ^{***} -14. AB ^{***} -5.57AC ^{ns} +0.28BC ^{ns}	0.979	0.966
Cohesiveness	0.0094 A ^{***} +0.0036B ^{***} -0.025 C ^{***}	0.867	0.846
Gumminess (g)	6.47A ^{***} +304.9B ^{***} -80. C ^{***} -6.27AB [*] +1.21 AC ^{ns} -2.35BC ^{ns}	0.942	0.906
Chewiness (mj)	0.125 A ^{***} +1.24B ^{***} +0.446C ^{***}	0.869	0.846
Springiness (mm)	0.026A ^{***} +0.270B ^{***} -1.28C ^{***} - 0.00034AB ^{ns} +0.026AC ^{ns} +0.013BC ^{ns}	0.923	0.875
Adhesiveness (mj)	0.084A ^{***} +0.41B ^{***} -0.055C ^{***} -0.014AB ^{**} - 0.0031AC ^{ns} +0.014BC ^{**}	0.988	0.981
Color-L	1.035A ^{***} +2.89B ^{***} +0.718C ^{***} -0.039AB ^{***} +0.00075 AC ^{ns} +0.040BC ^{***}	0.983	0.972
Color-a	0.072A ^{***} +0.18B ^{***} -0.214C ^{***} - 0.0066AB [*] +0.0042AC ^{ns} +0.006BC ^{ns}	0.984	0.975
Color-b	0.39A ^{***} +0.51B ^{***} +0.13C ^{***} - 0.012AB ^{ns} - 0.00033AC ^{ns} +0.017BC ^{ns}	0.979	0.967
Acceptance	0.08A ^{***} +1.58B ^{***} +1.64C ^{***} -0.034AB [*] -0.040AC [*] -0.02BC ^{ns}	0.909	0.852

a: A: cream%, B: MPC%, C:WPC

b:*** (p<0.001), ** (p<0.01), * (p<0.05), ns:(non significant)

۲-۳- آب‌اندازی

یکی از اهداف مهم این پژوهش کاهش آب‌اندازی بود. در شکل ۲- a برهمکنش سه متغیر بر این پاسخ را می‌توان دید، درصد آب‌اندازی نمونه‌ها بین ۰ الی ۳۰٪ است. بترتیب کمترین و بیشترین مقدار متعلق به نمونه‌هایی با مختصات ABC^{18} (۴۵،۵،۱۰) و (۵۵،۵،۰) است. هر چه میزان آب‌اندازی بیشتر باشد در واقع ضایعات و هدر رفت شیر بیشتر می‌شود و راندمان کاهش یافته. WPC از ظرفیت نگهداری آب بالایی برخوردار است و با افزایش آن، آب‌اندازی روند کاهشی را نشان می‌دهد تا جاییکه در سطح ۱۰٪ آن، تمام آب شیر و خامه فرمولاسیون در لخته محبوس و میزان آب‌اندازی ۰٪ می‌شود. الشیخ و همکاران (۲۰۱۰) نیز توانستند با استفاده از WPC پنیر ریکوتایی با رطوبت بیشتر و راندمان بالاتر تولید کنند [۱۲]. افزایش خامه و MPC هر دو در مقادیر ثابت WPC باعث افزایش آب‌اندازی می‌شوند ولی اثر خامه بر این روند بیشتر است زیرا که خامه دارای ۶۴٪ رطوبت است و افزایش آن باعث افزایش آب‌اندازی بیشتری نسبت به MPC می‌شود.

۳-۳- مواد جامد کل

طبق استاندارد ملی ایران، شماره ۱۳۴۱۸، پنیر تازه حداقل باید دارای ۳۵٪ ماده جامد کل باشد (۲۳). همانطور که شکل ۲- b دیده می‌شود، ماده جامد نمونه‌های تولیدی در دامنه ۴۲٪-۳۴٪ متغیر است. بیشترین مقدار متعلق به نقطه (۵۵،۵،۰) است. عوامل متعددی بر میزان ماده جامد پنیر تاثیر دارند. هنگام انعقاد آنزیمی، گلبول‌های درشت چربی در ماتریکس کازئینی محبوس می‌شوند و بخش کوچکی از چربی وارد آب پنیر می‌گردد (۲۴)، بنابراین با افزایش میزان خامه و در پی آن افزایش مقدار چربی در لخته، ماده جامد کل افزایش می‌یابد. از سوی دیگر هر چند خامه دارای سهم رطوبتی بیشتری نسبت به MPC و WPC است اما این رطوبت، بدلیل کم بودن نسبت WPC از شبکه خارج می‌شود و تنها چربی در ماتریکس باقی می‌ماند. افزایش WPC میزان ماده جامد را کاهش داد، نتیجه

مشاهده شده در آب‌اندازی هم بر صحت این نکته تاکید می‌کند که WPC آب بیشتری را درون بافت نگه داشته و موجب کاهش نسبت ماده جامد در پنیر شده است. با افزایش مقدار WPC به بیش از ۵٪، ماده جامد به کمتر از ۳۶٪ می‌رسد. MPC بدلیل محتوای پروتئین کازئینی بالاتر نسبت به WPC و شرکت در شبکه کازئین، ماده جامد را افزایش داد.

۴-۳- چربی

همانطور که در شکل ۲- c دیده می‌شود، با افزایش خامه در فرمولاسیون، درصد چربی پنیر افزایش یافت. چربی از جمله ترکیباتی است که در انعقاد آنزیمی عمدتاً وارد لخته می‌شود. یافته‌های سسیباهیوگلو و همکاران (۱۹۹۹) و اردم (۲۰۰۵) تاییدی بر این مطلب است [۲۵ و ۲۶]. با افزایش WPC و MPC بدلیل کاهش سهم خامه که چند برابر بیشتر چربی دارد، میزان چربی پنیر کاهش می‌یابد ولی میزان این کاهش در نمونه‌های حاوی WPC بدلیل ظرفیت نگهداری بالاتر آب، بیشتر محسوس است. کمترین میزان چربی همانطور که انتظار می‌رود متعلق به نقطه (۴۵،۵،۱۰) است.

۵-۳- اسیدیته

مطابق استاندارد ۶۶۲۹، میزان اسیدیته پنیر تازه باید در محدوده ۰/۸ تا ۱/۴ درصد باشد (۴)، اسیدیته پنیرهای تولیدی نیز در این محدوده قرار دارند. مطابق شکل ۲- d، بترتیب با افزایش WPC و MPC افزایش و کاهش اسیدیته مشاهده شد. تغییرات چربی بر میزان اسیدیته پنیر تازه تاثیر چندانی ندارد. با افزایش مقدار WPC میزان اسیدیته به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد که دلیل این امر مقدار بیشتر لاکتوز در آن نسبت به MPC است که به عنوان سوبسترای کشت‌های آغازگر عملکرده و اسیدیته را افزایش می‌دهد [۱۰]. طبق معادله پیشگو (جدول ۳) WPC با خامه و MPC برهمکنش معنی‌داری ندارد.

18. A:cream, B: MPC, C:WPC

کاهش درصد WPC و MPC، کاهش در pH مشاهده شد. مقدار چربی از طریق اثر بر روی فعالیت استارترها باعث افت pH پنیر می‌شود. محققین مشاهده کردند که استارترها در محیط با چربی بیشتر، رشد و تکثیر بیشتری داشته و pH پنیر پرچرب کمتر از نوع کم چرب است [۲۷]. رشیدی و همکاران نیز در تولید پنیر فتا فرآپالایش به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند [۳].

۳-۷- نمک

در این پژوهش نمک به صورت مستقیم قبل از تشکیل لخته به مخلوط فرمولاسیون افزوده شد. این روش نیازی به کاغذ گذاری و ماشین آلات مربوط به آن نیست و بر اساس مطالعات انجام شده توسط اردم و همکاران (۲۰۰۵) و فاکس و همکاران (۲۰۰۰) افزودن نمک، تاثیری بر فعالیت استارترها ندارد و بر طبق یافته‌های آنها استارترهای پنیر تا ۳ درصد نمک طعام را به خوبی تحمل کرده و از فعالیت باز نمی‌مانند (۲۵ و ۲۸). در این پژوهش نمک به میزان ۱/۵٪ افزوده شد. طبق نتایج بدست آمده (شکل ۳-ب) WPC پنیر را افزایش و MPC و خامه آن را کاهش دادند. هر چه میزان WPC در فرمولاسیون بیشتر باشد، آب بیشتری در لخته محبوس می‌شود و در پی آن نمک محلول بیشتری در بافت باقی می‌ماند. خامه و MPC با توجه به آب‌اندازی بیشتر، میزان نمک موجود در لخته را کاهش می‌دهند.

۳-۸- پروتئین

مطابق استاندارد ۶۶۲۹، میزان پروتئین پنیرتازه باید حداقل ۱۲٪ باشد [۴]. میزان پروتئین نمونه‌های تولیدی بین ۶ الی ۱۴٪ است. نتایج در شکل (۳-ج) قابل مشاهده است. MPC بدلیل محتوای پروتئین بالا (۷۰٪) انتظار می‌رود بیشترین تاثیر را بر میزان پروتئین داشته باشد. در اینجا نیز MPC باعث افزایش قابل توجهی در پروتئین شد بطوریکه نقطه (۴۵،۱۵،۰) دارای بیشترین میزان پروتئین است. مطالعات غلام حسین پور و همکاران (۱۳۹۳) این مسئله را تایید می‌کند [۲]. با افزایش خامه و WPC و کاهش درصد MPC، ازت کل و پروتئین کاهش یافتند. البته کاهش ازت توسط خامه بیشتر است زیرا که ازت آن در مقایسه با دو متغیر دیگر پایین تر است. WPC با اینکه دارای پروتئین بالایی است ولی بدلیل ظرفیت نگهداری آب بالا تاثیر قابل توجهی بر میزان پروتئین نداشت.

۳-۹- خاکستر

درصد خاکستر نمونه‌ها بین ۲/۵ الی ۳/۳٪ است. بترتیب کمترین و بیشترین مقدار متعلق به نمونه‌هایی (۰،۵،۵۵) و

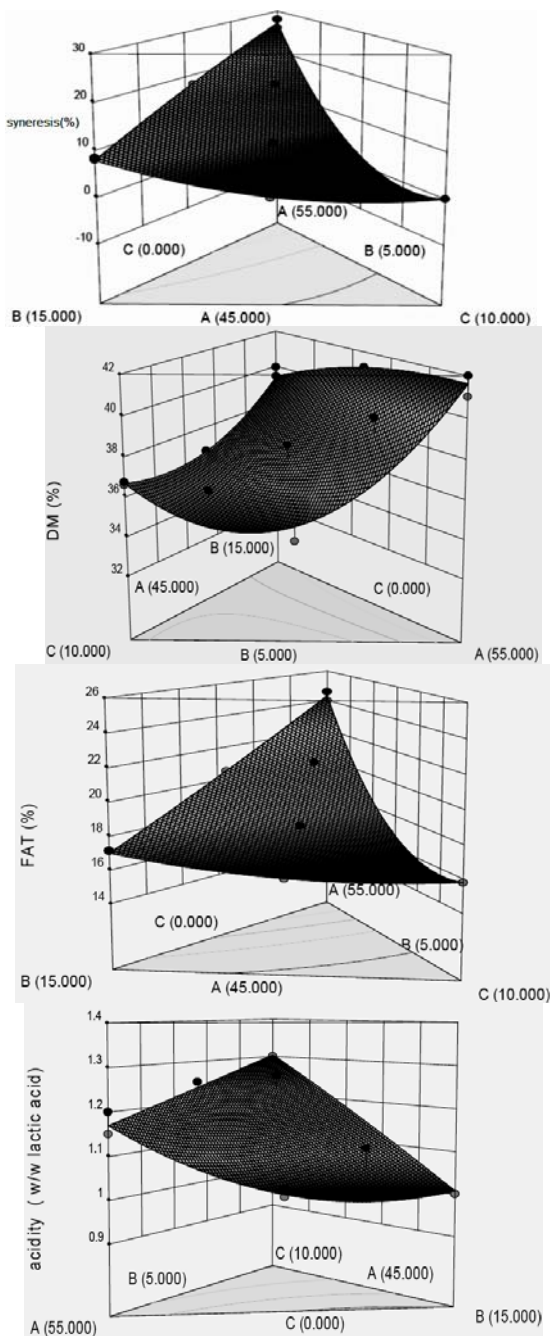


Fig 2 mixture surface plots of syneresis(a), Dry matter(b), Fat(c), Acidity(d) of cheese samples (A: cream%, B: MPC%, C: WPC).

۳-۶- pH

مطابق استاندارد ۶۶۲۹، میزان pH پنیر تازه باید حداکثر ۵/۲ باشد (۴). افزودن استارتر و گرمخانه‌گذاری سبب کاهش pH در تمامی نمونه‌ها گردید. همانگونه که در شکل ۳-ا مشاهده می‌شود، با افزایش WPC و MPC نمونه‌های پنیر pH بالاتری را نشان می‌دهند، که می‌تواند به دلیل سیستم بافری این پروتئین‌ها باشد که مانع افت pH می‌شوند. با افزایش خامه و

۳-۱۰-بافت

نتایج مربوط به آنالیز پروفیل بافت به صورت نمودارهای کانتور در شکل ۴ ارائه شده است.

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 (۲۹). با توجه به نتایج (شکل ۴- a) خامه و WPC به نسبت سختی را کاهش و MPC سختی را افزایش می‌دهد. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به MPC است (جدول ۳). رطوبت خاصیت پلاستیسیته ماتریکس پروتئین را زیاد و خاصیت الاستیسیته آن را کم می‌کند. در نتیجه شبکه پروتئینی برای پاره شدن در هنگام فشردگی مستعدتر می‌شود. مولکول‌های آب در بین شبکه سه بعدی پروتئین قرار گرفته و ساختمان شبکه را تضعیف می‌کنند. بنابر این افزایش رطوبت سختی و سایر فاکتور ها را کاهش داده و محصول را نرم‌تر می‌سازد [۲۲].

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 [۲۴]. در واقع بیانگر مقدار تغییر شکلی است که در یک نمونه هنگام فشردن شدن توسط دندان‌های آسیاب، قبل از پارگی روی می‌دهد و وابسته به شدت پیوندهای داخلی سازنده بدنه محصول است [۲۴ و ۲۹]. با توجه به معادله پیشگو آن (جدول ۳) می‌توان دید که اجزاء فرمول به صورت معادله درجه اول ($p < 0.001$) بر این پاسخ موثر هستند. خامه و MPC با پیوستگی رابطه مستقیم داشته و آن را افزایش و WPC آن را کاهش داد (شکل ۴- b). زیسو و همکاران (۲۰۰۵) علت کاهش پیوستگی را ضعف پیوندهای داخلی در ساختار پنیرهایی با رطوبت بالاتر و بافت نرم‌تر می‌دانند که در نتیجه فشار وارده در دستگاه پنیر به راحتی و غیر قابل برگشت تغییر شکل می‌دهد که این مسئله تاییدی بر کاهش پیوستگی مشاهده شده در اثر افزودن WPC است [۳۱].

حالت صمغی عبارت است از انرژی لازم برای خرد کردن یک ماده غذایی نیمه جامد تا هنگامی که آماده بلع شود. مقدار آن از حاصل ضرب مقادیر سفتی در پیوستگی به دست آمده و با واحد گرم یا نیوتن نشان داده می‌شود. با توجه به معادله پیشگو (جدول ۳) می‌توان دید که اجزاء فرمول به صورت معادله درجه اول و به تنهایی در سطح ($p < 0.001$) بر این پاسخ موثر

است (شکل (۳-d)). خاکستر نشان‌دهنده املاح معدنی است. با افزایش خامه خاکستر کاهش یافت، با افزایش MPC و WPC بدلیل کاهش سهم خامه و بالاتر بودن خاکستر این پودرها، خاکستر کل افزایش می‌یابد.

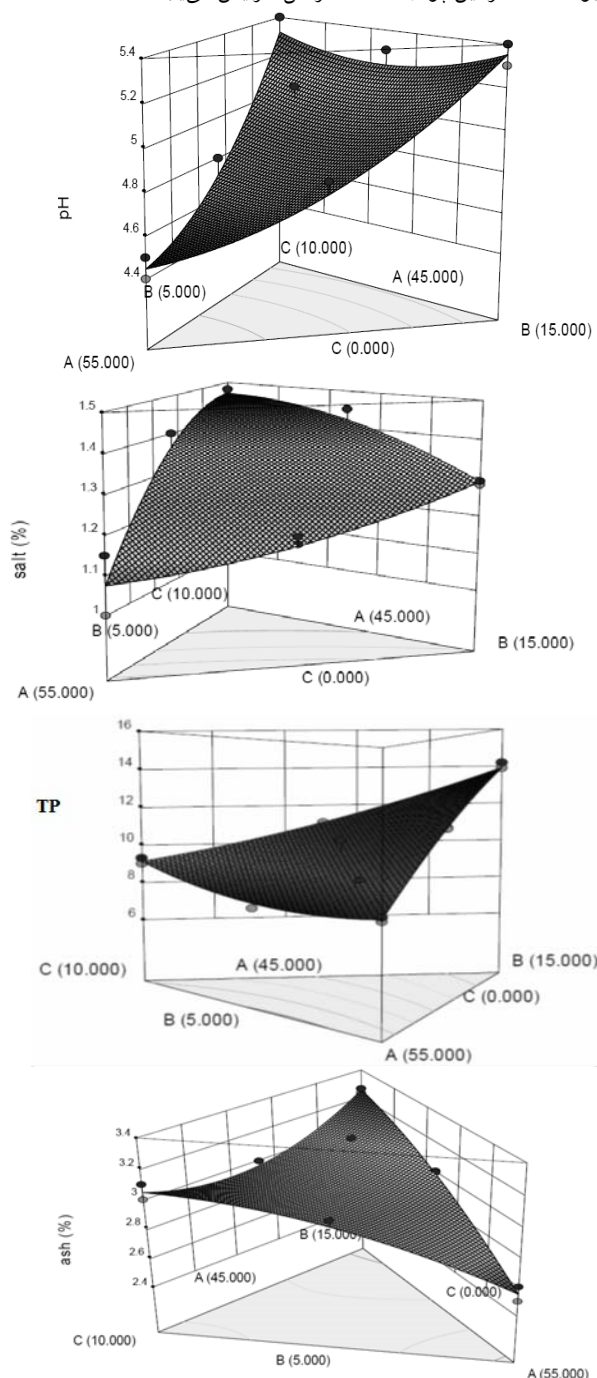


Fig3 Mixture surface plots of pH(a), salt(b), protein(c), ash(d) of cheese samples. (A: cream%, B: MPC%, C: WPC)

کردند که نقش کازئین در ایجاد الاستیسیته چشمگیرتر از WPC است [۳۴].

چسبندگی از دیدگاه حسی عبارت از نیروی لازم برای جداکردن غذا از سقف دهان در حین خوردن و از دیدگاه مکانیکی کار لازم برای غلبه بر نیروهای چسبندگی بین سطح غذا و سطح سایر موادی که غذا با آن ها در تماس است، می باشد [۲۴ و ۲۹]. همانطور که در شکل ۴-f دیده می شود، خامه باعث افزایش چسبندگی می شود و جایگزینی آن با WPC و MPC چسبندگی را کاهش داد. کوکا و همکاران (۲۰۰۴) تاکید کردند که نمونه های چرب تر مقدار چسبندگی بیشتر دارند [۳۲]. طبق نظر بکمن عامل اصلی تأثیرگذار بر میزان چسبندگی و پیوستگی پنیر تقلیدی مقدار و نوع چربی است. میری و حبیبی نجفی (۲۰۱۰) نیز به کاهش چسبندگی پنیر خامه ای در اثر افزودن EMC اشاره کردند و علت آن را مقدار پروتئین بالای EMC در مقایسه با پنیر خامه ای دانسته اند [۳۳].

۳-۱۱- رنگ

نتایج ارزیابی رنگ را در قالب نمودارهای کاتور L، a و b در شکل ۵ می توان دید. شاخص L معادل روشنایی تصویر است که مقدار آن بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است. صفر معادل مشکی و ۱۰۰ نمایانگر سفید است. شاخص b معادل زردی است و مقادیر مثبت آن معادل رنگ زرد و مقادیر منفی این کمیت معادل رنگ آبی است که در این پژوهش برای همه فرمول ها مقادیر آن مثبت مشاهده شد که نشانه ای تمایل به ته رنگ زرد در همه نمونه هاست زیرا رنگ زرد، مربوط به ماده ی پرکننده ی موجود در پنیر (چربی و WPC) می باشد. مؤلفه a مانند b نامحدود است و نشان دهنده ی تغییرات رنگ از قرمز تا سبز است به طوری که هرچه عدد ما به سمت منفی پیش برود نشان دهنده ی این مطلب است که رنگ ماده غذایی به سمت رنگ سبز تمایل پیدا می کند و هرچه به سمت مثبت پیشروی کند حاکی از این مطلب است که رنگ ماده غذایی به سمت رنگ قرمز متمایل می شود.

هستند. MPC بیشترین ضریب تغییرات را دارد و نتایج نشان داد (شکل ۴-c) افزایش MPC باعث افزایش صمغیت می شود، و جایگزینی دو متغیر دیگر باعث کاهش آن می شود. کوکا و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که نمونه پنیر کشار با چربی بیشتر دارای صمغی کمتر است که تاییدکننده نتایج این پژوهش است. حضور تمام پروتئین های آب پنیر در ساختار دلمه و افزایش WPC باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب لخته می شود و این امر سفتی و پیوستگی و در پی آن صمغیت را کاهش می دهد [۳۲]. همانطور که انتظار می رود WPC در معادله دارای بیشترین ضریب منفی است و برهمکنش آن با دو متغیر دیگر معنی دار نیست.

حالت آدامسی عبارت است از انرژی لازم برای جویدن یک ماده غذایی جامد تا هنگامی که آماده بلع شود و یا تعداد جویدن های لازم برای بلعیدن مقدار مشخصی از ماده غذایی می باشد [۲۴ و ۲۹]. با توجه به معادله پیشگو آن (جدول ۳) می توان دید که اجزاء فرمول به صورت معادله درجه اول ($p < 0.001$) بر این پاسخ موثر هستند. بیشترین ضریب تغییرات مربوط به MPC است. افزایش MPC باعث افزایش آدامسی بودن می شود (شکل ۴-d). با جایگزین کردن MPC در فرمول بوسیله خامه و WPC از میزان این پاسخ کاسته می شود. معمولاً تیمار دارای بالاترین صمغیت و فنریت دارای بیشترین حالت آدامسی بودن هم هستند [۳۳].

قابلیت ارتجاع یا فنری بودن میزانی از ارتفاع اولیه است که ماده غذایی در طی زمان آن را بازیابی می کند [۲۹]. با توجه به معادله پیشگو (جدول ۳) اجزاء فرمول به صورت معادله درجه اول ($p < 0.001$) بر این پاسخ موثر هستند و برهمکنش متغیرها دو به دو معنی دار نیستند. پودر MPC باعث افزایش ارتجاعیت می شود، اما افزایش خامه و در پی آن افزایش چربی باعث کاهش این مشخصه می شود. پودر WPC نیز باعث کاهش فنریت می شود (شکل ۴-e). حسینی و همکاران (۱۳۹۲) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند، آنها مشاهده کردند که جایگزینی کازئینات با WPC و EMC^{19} سبب کاهش قابلیت ارتجاعی پنیر تقلیدی شده است [۳۳]. در تحقیق دیگری کمین اردز (۲۰۰۰) نشان داد که در جایگزینی پنیر کاسار افزایش سطح WPC، موجب کاهش الاستیسیته آن شد. محققان این اثر را به کاهش میزان کازئین نسبت دادند و بیان

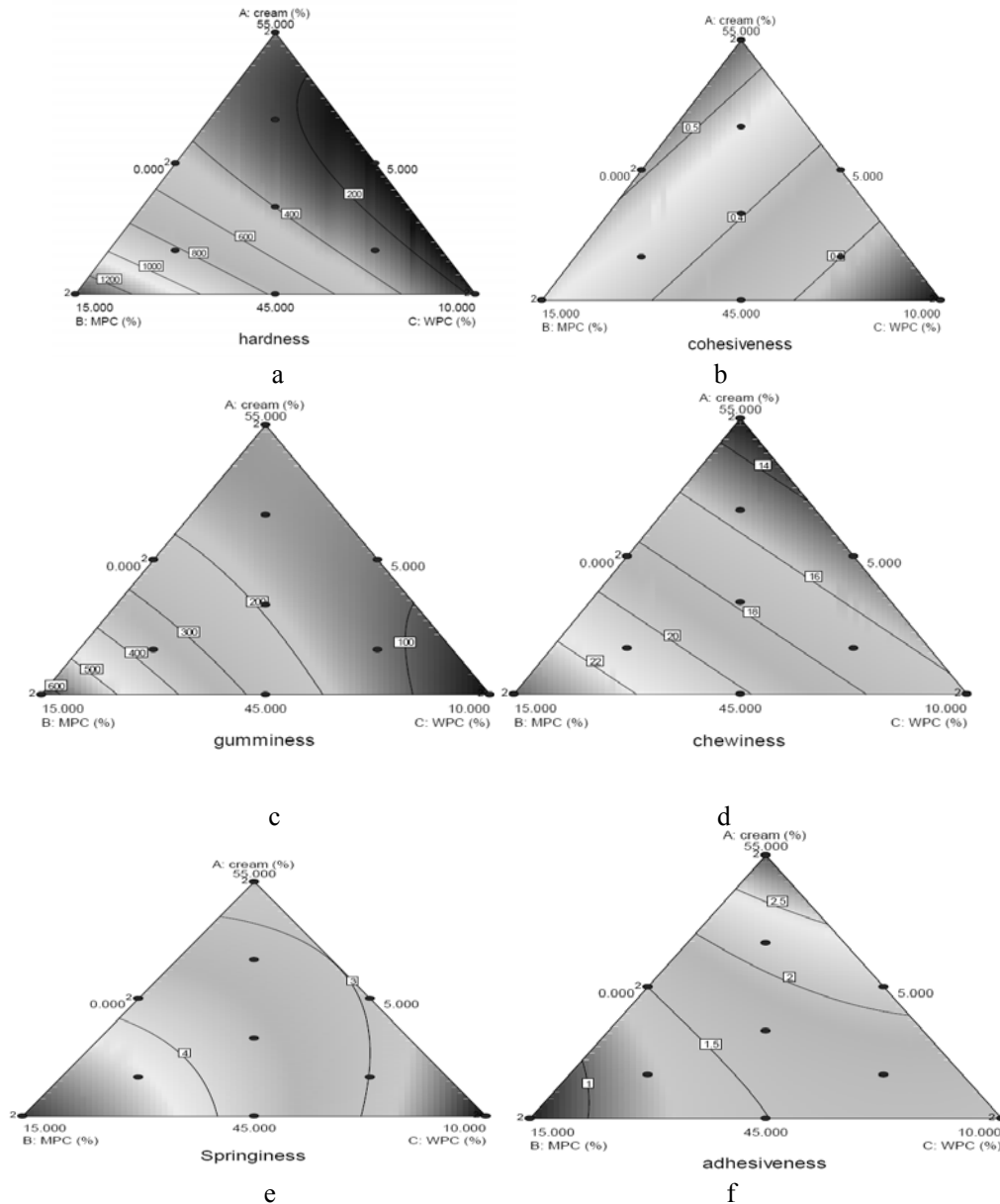


Fig 4 Mixture contour plot of textural indexes, hardness (a), cohesiveness (b), gumminess (c), chewiness(d), springiness(e), adhesiveness(f) of cheese samples (A: cream%, B: MPC%, C: WPC).

بالای چربی زردی بیشتری نسبت به سطوح بالای WPC دارند بنابراین کاهش آن زردی را کم می‌کند و بر سفیدی می‌افزاید ولی با کم شدن چربی و افزایش WPC مجدداً رنگ زرد غالب می‌شود و از سفیدی و روشنایی کاسته شد. WPC شاخص زردی (b) را افزایش می‌دهد و تغییرات a اندک است ولی روند کاهشی دارد. رنگ زرد WPC باعث می‌شود تا زمان افزایش مقدار آن در فرمول، سفیدی رنگ پنیر تولیدی کاهش یابد، حسینی و همکاران (۱۳۹۲) در مورد تأثیر WPC بر رنگ پنیر به نتایج مشابه با این پژوهش دست یافتند [۳۳].

با افزایش درصد خامه و در پی آن افزایش چربی پنیر؛ روشنایی (L) پنیر حاصل کاهش و زردی (b) آن افزایش می‌یابد. شاخص a نیز مثبت تر می‌شود، به عبارتی رنگ نمونه‌ها به قرمز متمایل می‌شود. این نتیجه مطابق یافته‌های قنبری شندی و همکاران (۱۳۹۰) است [۳۵]. پودر MPC شاخص L را افزایش؛ b و a را کاهش می‌دهد. MPC رنگ سفید شیری دارد و رنگ سفید را در پنیر تقویت می‌کند. WPC همانطور که بر روی شکل ۵-a دیده می‌شود در ابتدا باعث افزایش L و سپس باعث کاهش آن می‌شود. WPC جایگزین چربی شده و با توجه به شکل ۵-b، سطوح

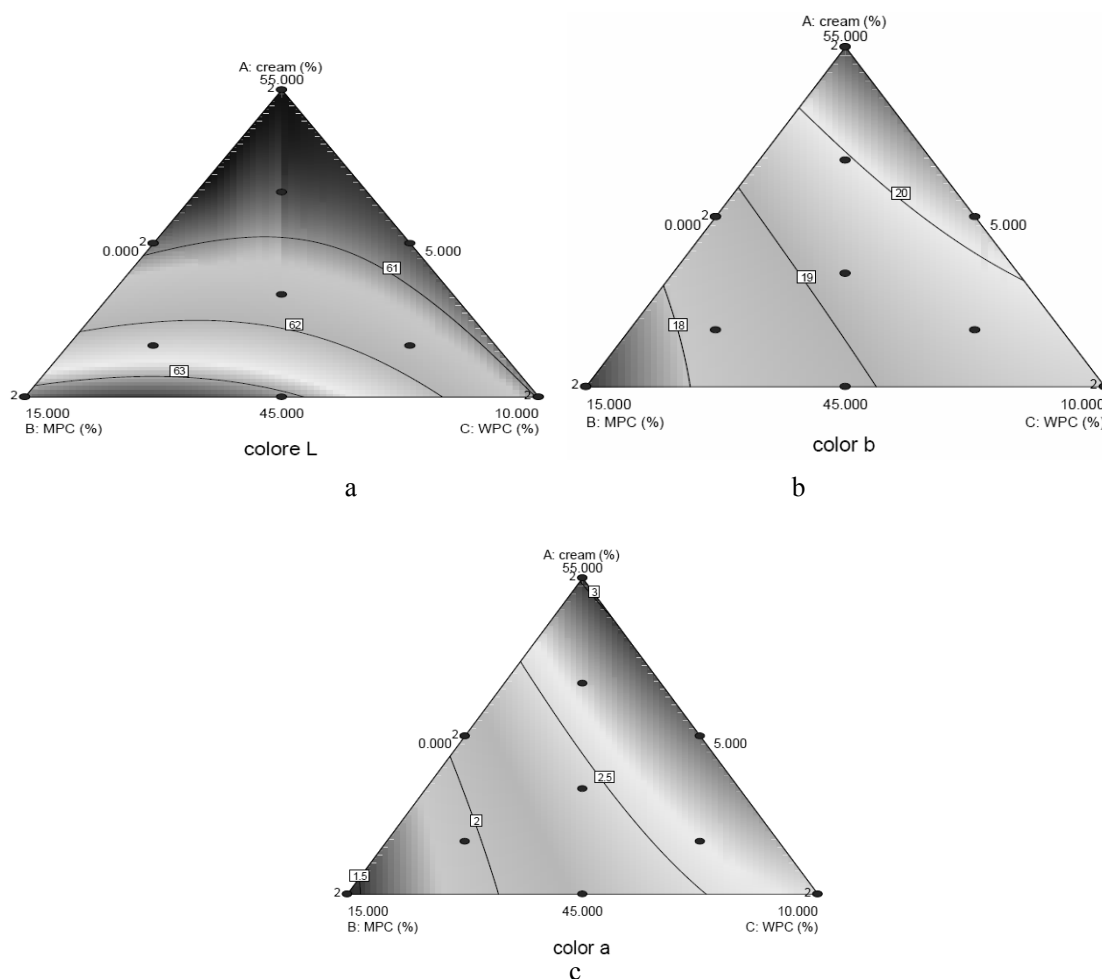


Fig 5 Mixture contour plot of Colorimetric Indexes, L(a),b(b),a(c) of cheese samples (A: cream%, B: MPC%, C:WPC).

طعم و رنگ پایین می آید.

۳-۱۲- پذیرش کلی

با توجه به معادله پیشگو (جدول ۳) اجزاء فرمول به صورت معادله درجه اول بر این پاسخ موثر هستند. متغیرها به تنهایی در سطح ۰/۰۱ و برهمکنش خامه با WPC و MPC در سطح ۰/۰۵ معنی دار بوده و برهمکنش WPC و MPC معنی دار نیستند. MPC از ضریب بالایی برخوردار است. همانطور که در شکل ۶ نیز دیده می شود، با افزایش MPC پذیرش کلی پنیر افزایش یافت. زیرا که باعث افزایش استحکام ژل کازین گشته و بافت لخته به پنیر تازه نزدیکتر و همچنین رنگ نمونه ها روشن تر شد. از طرفی هر چه WPC بیشتر شود، پذیرش کلی بدلیل شل تر شدن بافت و افت کیفیت

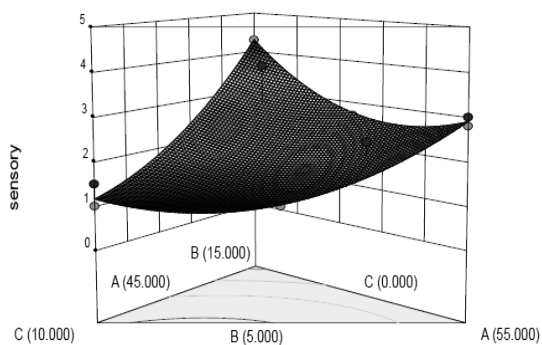


Fig 6 Mixture surface plots of total acceptance of cheese samples. (A: cream%, B: MPC%, C:WPC)

آب پنیر، بر اساس میانگین ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و بافتی ۵ نمونه پنیر UF موجود در بازار، به گونه‌ای تعیین شد که بالاترین امتیاز صفات حسی را نیز داشته باشد.

بدین ترتیب که از روی آنالیز نمونه‌های بازار میزان متغیرهای وابسته یا همان پاسخ‌ها تعریف (جدول ۴، ستون هدف) و سپس فرایند بهینه‌سازی به دو شیوه عددی و گرافیکی انجام شد.

فاکس و همکاران (۲۰۰۴) عنوان کرده که جایگزین نمودن کازئین با WPC در مقادیر بالا بد طعمی را در پنیرهای اسیدی افزایش می‌دهد (۱۰). هر چه میزان خامه افزایش یابد و از مقدار WPC کاسته شود، بدلیل بهبود بافت و بهتر شدن طعم، پذیرش کلی افزایش می‌یابد. البته امتیاز غلظت‌های بالای آن به دلیل خامه‌ای شدن، پایین‌تر از سطوح بالای MPC است.

۴- بهینه‌سازی

در این پژوهش در نهایت فرمولاسیون بهینه پنیر فتای بدون

Table 4 Physico-chemical characteristics of Feta cheese for optimization

Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit
A: cream (%)	is in range	45	55
B: MPC (%)	is in range	5	15
C: WPC (%)	is in range	0	10
DM (%)	is target = 37.5	36	38
Fat (%)	is target = 16.5	16	17
Acidity (%)	is in range	1	1.3
Salt (%)	is target = 1.35	1.3	1.4
TP (%)	is target = 12	11.5	12.5
Syneresis (%)	Minimize	0	13
pH	is in range	4.6	5.2
Ash (%)	is in range	2.5	3.27
Hardness (g)	>1000	150	1395
Cohesiveness	is in range	0.4	0.56
Gumminess(g)	is target = 502.4	300	650
Chewiness (mj)	is in range	17	22
Springiness(mm)	is target =4.05 ^۱	3	5
Adhesiveness(mj)	is target = 1.5	1	2
Color-L	is target = 63.5	60.5	63.5
Color-b	is target = 19	17	21
Color-a	is in range	1.5	3
Acceptance	Maximize	1	4.3

۴-۱- بهینه‌سازی به روش گرافیکی

روش بهینه‌سازی گرافیکی ابزاری برای تعیین شرایط بهینه فرآیند است. برای حل مسائل بهینه‌سازی در روش گرافیکی، از نمودارهای کانتور دو بعدی استفاده شد. خطوط کانتور شاخص‌های کیفی مختلف، بر اساس مدل‌های مربوطه خود رسم شده و در داخل یک دیاگرام بر روی هم قرار گرفتند، سپس منطقه‌ای که انتظارات طرح را برآورده می‌کند به عنوان منطقه بهینه (شکل ۷) تعیین شد. مرکز هندسی ناحیه بهینه در نمودارهای کانتور نقطه بهینه است.

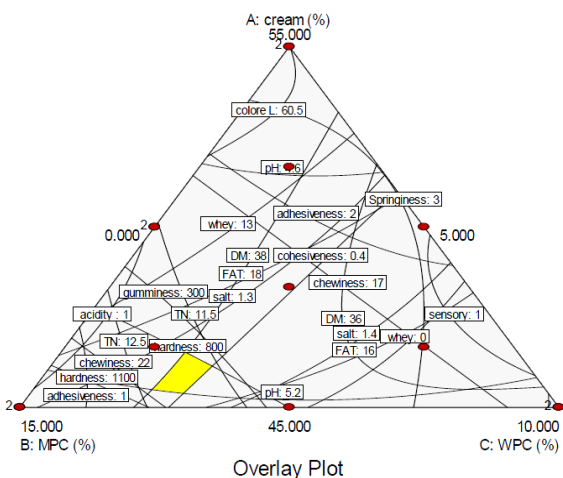


Fig 7 Contour plote of optimal zone

۴-۲- بهینه سازی به روش عددی (تابع مطلوبیت)

مطلوبیت آماره‌ای بین صفر و یک است و سطح پایین آن نشان دهنده عدم دستیابی به هدف مورد نظر می‌باشد در حالیکه سطح بالای آن نشان دهنده برآورده شدن کامل هدف مورد نظر است بنابراین در مورد نقاط بهینه مطلوبیت هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد دستیابی به آن امکان پذیرتر است. وقتی که هدف بهینه‌سازی چندین پاسخ بطور همزمان باشد مطلوبیت

هر یک از پاسخ‌ها تعیین شده و میانگین هندسی آنها به عنوان شاخص برآورده شدن همزمان اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس شرایط موجود در جدول ۴ بهینه‌سازی عددی صورت گرفت و نقطه بهینه دارای بیشترین مطلوبیت با درصد متغیرهای مستقل خامه، MPC و WPC بترتیب ۴۵/۶، ۱۱/۷ و ۲/۷ بدست آمد. پنیر فتا با مختصات نقطه بهینه تولید شد و پس از ۴۸ ساعت نگهداری در سردخانه با دمای ۶°C مورد آنالیز قرار گرفت. ویژگی‌های پنیر تولیدی در نقطه بهینه در جدول ۵ قابل مشاهده است.

Table 5 Physico-chemical characteristics of cheese produced at the optimal point

Syneresis(%)	DM(%)	Fat(%)	Acidity(%)	salt(%)	TP(%)	Ash(%)	pH	Acceptance
2.5±0.71	37.4±0.565	16.25±0.353	1.09±0.014	1.38±0.028	12.35±0.21	3.5±0.70	4.95±0.07	4.65±0.21
Hardness(g)	Cohesiveness	Gumminess(g)	Chewiness(mj)	Springiness(mm)	Adhesiveness(mj)	Color-L	Color-b	Color-a
1109±84.15	0.565±0.210	625.75±29.34	21.09±1.64	3.44±0.106	1.05±0.34	62.7±0.424	179±0.64	2.4±0.15

surface methodology. Journal of Food Science and Technology Research, 10 (2), PP: 107-121.

[3] Rashidi, H., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, M. A., & Ghodse Rohani, M. 2011. The effect of reducing the percentage of fat and calcium chloride on sensory and textural properties of Feta cheese from milk ultrafiltration retentate powder. Journal of Food Science and Technology Research, 7(۳). PP: 218-226.

[4] Institute of Standards and Industrial Research of Iran (ISIRI). 2002. Fresh cheese, specification and test methods. No: 6629. The Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Tehran.

[5] Romeih, E.A., Michaelidou, A., Biliaderis, C.G. & Zerfiridis, G.K. 2002. Low -fat White brined cheesemade from bovine milk and two commercial fatmimetics: chemical, physical and sensory attributes. International Dairy Journal, 12: 525-540.

[6] Stuart Silver, R. Han, X. Lincourt, R. & Lucrecia Cardona, M. Whey less Process For Production Of Natural Mozzarella Cheese, united states Patent 6,35560,5225.

[7] Francolino, S., Locci, F., Ghiglietti, R., Iezzi, R. & Mucchetti, G. 2010. Use of milk protein concentrate to standardize milk composition in Italian citric Mozzarella cheese making LWT. Food Science and Technology, Issue 5, PP:1-12.

[8] Mistry, V. V. & Pulgar, J. B. 1996. Use of high milk protein powder in the manufacture of Gouda cheese. International Dairy Journal, 6(2), PP: 205-215.

۵- نتیجه گیری

همانطور که در مقدمه مقاله اشاره شد با توجه به کمبود شیر تازه و گسترش روش تولید بدون آبیگری و مزایای آن و همچنین حذف استفاده از تجهیزات فرآپالایش و فیلترهای غشایی در فرایند تولید پنیر فتا، نیاز به انجام این پژوهش احساس می‌شد. به منظور تولید پنیر فتای بدون آب پنیر MPC، WPC و خامه با نسبت‌های مختلف با شیر تازه مخلوط شدند. بر اساس نتایج این پژوهش کلیه ویژگی‌های فیزیکیوشیمیایی پنیر بطور معنی‌داری ($p < 0.05$) تحت تاثیر اجزای مخلوط قرار گرفتند. پس از آنالیز داده‌ها و انجام بهینه‌سازی، نقطه بهینه با درصد متغیرهای مستقل خامه، MPC و WPC بترتیب ۴۵/۶، ۱۱/۷ و ۲/۷ بدست آمد. با تولید صنعتی فرمول بهینه و کنترل شرایط تولید آن و آنالیز نمونه در طول دوره نگهداری پنیر می‌توان گام موثری در جهت تولید پنیر فتای بدون آب پنیر برداشت.

۶- منابع

- [1] Nazari, M., & Hesari, J. 2013. Evaluating the sensory properties of produced whey less cheese, as an alternative UFcheese. Second National Conference on Food Science and Technology. Islamic Azad University, Quchan unit.
- [2] Gholam Hossein Pour, A., Mazaheri Tehrani, M., Razavi, M. A., & Rashidi, H. 2014. Study and optimization of chemical and sensory characteristics of different formulations Feta cheese analog by response

- Testmethod. ISIRI no:1809. 1rd revision, Karaj: ISIRI; 1974 [in Persian].
- [21] Jimenez-Guzman, J., Flores-Najera, A., Cruz-Guerrero, A. E., & Garcia-Garibay, M. 2009. Use of an exopolysaccharide-producing strain of *Streptococcus thermophilus* in the manufacture of Mexican Panela cheese. *LWT - Food Science and Technology*, 42, PP: 1508–1512.
- [22] Farahnaki, A., Safari, Z., Ahmadi Gorji, F. & Mesbahi, Gh., R. 2011. Use of gelatin as fat replacer in low-fat cream production. *Journal of Food Science and Technology*, 8(31), PP: 45-52.
- [23] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Milk and products of milk. Pre cheese- specification and test methods. ISIRI no: 13418. 1st. Edition. Karaj: ISIRI;2010[in Persian].
- [24] Lashkari, H., Khosrowshahi asl, A., Madadlou, A. & Alizadeh, M. 2014. Chemical composition and rheology of low-fat Iranian white cheese incorporated with guar gum and gum arabic as fat replacers. *Journal of Food Science and Technology*, 51: 2584-2591.
- [25] Erdem, Y. K. 2005. Effect of ultrafiltration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. *Journal of Food Engineering*, 71, PP: 366-372.
- [26] Sipahioglu, O., Alvarez, V. B., & Solano Lopez, C. 1999. Structure, physicochemical and sensory properties of Feta cheese made with Tapioca starch and lecithin as fat mimetic. *International dairy journal*, 9, PP: 783-789.
- [27] Kavas, G., Oysun, G., Kinik, O., & Uysal, H. 2004. Effect of some fat replacers on chemical, physical and sensory attributes of low-fat white pickled cheese. *Food chemistry*, 88, PP: 381-388.
- [28] Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. & Mcsweeney, P. L. H. 2000. *Fundamental of cheese science*. Aspen. USA, 638.
- [29] Gunasekaran, S. & AkM, M. 2003. *Cheese rheology and texture*. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press: 299-329.
- [30] Ghodse Rohani, M., Mortazavi, A., Mazaheri Tehrani, M., & Razavi, M. A. 2012. Study of the impact of processing conditions on the properties of tissue Feta cheese produced from cow's milk and soy milk. *Journal of Food Science and Technology Research*, 36(9), PP: 65-76.
- [31] Zisu, B. & Shah, N. P. 2005. Textural and functional changes in low-fat Mozzarella cheese in relation to proteolysis and microstructure as influenced by the use of fat
- [9] Shakeel-Ur-R, Farkye, N.Y., Considine, T., Schaffner, A. & 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, PP: 1608–1615.
- [10] Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M. & Guinee, T. P. 2004. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*, 2, 3rd edn, Elsevier Academic Press, Amsterdam, pp: 117-123.
- [11] El-Neshawy., A. A., Farahat, S. M. & Wahbah, H. A., 1988. Production of Processed Cheese Food Enriched with Vegetable and Whey Proteins. *Food Chemistry*, 28(4), PP: 245-255.
- [12] El-Sheikh, M., Farrag, A. & Zaghloul, A. 2010. Ricotta Cheese from Whey Protein Concentrate. *Journal of American Science*. 6(8), PP: 321-325.
- [13] Solowiej, B. 2007. Effect of pH on rheological properties and meltability of processed cheese analogs with whey products. *Pol J Food Nutr Sci*, 57, PP: 125-128.
- [14] Mleko S, & Foegeding E. A. 2001. Incorporation of polymerized whey proteins into processed cheese. *Milchwissenschaft*, 56, PP: 612–15.
- [15] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Cheese and processed cheese– determination of total solids content (Reference method) Testmethod. ISIRI no: 1753. 1st. revision. Karaj: ISIRI;2002 [in Persian].
- [16] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Cheese and processed cheese–determination of total Fat content (Reference method) Testmethod. ISIRI no:760. 1st revision, 2th Edition. Karaj: ISIRI;1970 [in Persian].
- [17] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Milk and milk products–determination of titratable acidity and value pH-Test method. ISIRI no:2852. 1st. Edition, Karaj: ISIRI; 2006 [in Persian].
- [18] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Determination of the protein content of processed cheese. ISIRI no: 1811. 2th Edition. Karaj: ISIRI; 1998 [in Persian].
- [19] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Determination of the ash content of processed cheese. ISIRI no: 1755. 1st. Edition, Karaj: ISIRI;1977 [in Persian].
- [20] Institute of Standards and Industrial Research of Iran, Determination of chloride content of cheese (Reference method)

- [34] Kaminarides S, & Stachtiaris S. 2000. Production of processed cheese using; kasseri cheese and processed cheese analogues incorporating whey protein concentrate and soybean oil. *Int J Dairy Tech*, 53, PP: 69-74.
- [35] Ghanbari Shandy, E., Khosrowshahi asl, A., Mortazavi, A., & Tavakolipour, H. 2011. Study of xanthan gum effect on tissue and rheological characteristics of low-fat Iranian white cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 7, PP: 35. 45.
- replacers, pre-acidification and EPS starter. *International Dairy Journal*, 15, PP: 957-972.
- [32] Koca, N. & Metin, M., 2004. Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh Kashar cheese produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, 14, PP:365-373.
- [33] Hossieni, M., Habibi Najafi, M. B., & Mohebi, M. 2013. Assessment of physical, chemical and sensory imitation cheese, containing whey protein concentrate and enzyme modified Lighvan cheese. *Iranian journal of Nutrition Science & Food Technology*. 2, PP:91-102.

Optimization of whey less Feta cheese production by using mixture design

Lashkari, H. ¹, Varidi, M. J. ^{2*}, Eskandari, M. H. ³, Varidi, M. ⁴

1. Ph. D. student, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture. Ferdowsi University Of Mashhad.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture. Ferdowsi University Of Mashhad
3. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Shiraz University.
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture. Ferdowsi University Of Mashhad.

(Received: 2016/10/18 Accepted:2017/10/28)

In order to achieve optimized condition of whey less Feta cheese production, Milk protein concentrate, Whey protein concentrate and cream , respectively, with ratio 5- 15%, 0- 10%, 45- 55% were mixed with fresh milk (40%). Cheese Samples were produced by industrial method in small scale and analysed with various physicochemical tests. Design and analysis of experiments were done using Design-Expert software version 9.0. With this software, regression equations, mixture surface and contour plots for each response were achieved. Finally, the optimization based on the average physicochemical and textural characteristics of UF cheeses on the market, was done and the optimal condition was determined by the highest desirability. The independent variables, cream, Milk protein concentrate and Whey protein concentrate at the optimal condition respectively are 45.6, 11.7 and 2.7 percent.

Key words: Whey less Feta cheese, Physicochemical properties, Whey protein concentrate, Milk protein concentrate, Optimization.

* Corresponding Author E-Mail Address: mjvaridi@um.ac.ir