

بهینه سازی و مدل سازی فرمولاسیون و شرایط پخت شبه پنیر پروسس گسترده بر پایه پنیر فتای ایرانی به روش سرد کردن آهسته

جهانبخش شعبانی^a، حبیب الله میرزایی^{b*}، سیدمهدی جعفری^b، مسیح سرفرازی^c

^a دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^b دانشیار گروه طراحی مواد و فرایندهای غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
^c دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۱۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۴/۳۱

چکیده

مقدمه: پنیر پروسس حاصل اختلاط پنیر طبیعی با عناصر لبنی و غیر لبنی می باشد. تکنولوژی آسان تولید پنیر پروسس، استفاده از پنیرهای با کیفیت پایین و از طرف دیگر گستردگی در طعم و بافت، سبب افزایش تولید این محصول و جایگزین مناسب برای پنیرهای طبیعی گردید. هدف از انجام این پژوهش، بهینه سازی جایگزینی چربی شیر با روغن آفتابگردان در دما و زمان های مختلف پخت به روش سرد کردن آهسته بر خواص فیزیکی پنیر پروسس می باشد.

مواد و روش ها: در این تحقیق، روش سطح پاسخ (RSM) برای بررسی تاثیر غلظت روغن گیاهی (۲۰، ۳۰ و ۴۰٪)، دمای پخت (۶۵، ۷۵ و ۸۵ °C) و زمان پخت (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) بر روی سفتی، قابلیت ذوبی و پس دهی روغن پنیر مورد ارزیابی قرار گرفت.
یافته ها: افزایش نسبت روغن گیاهی در محصول سبب کاهش سفتی پنیر پروسس گردید ($p < 0/01$)، اما تاثیر معنی داری بر قابلیت ذوبی و پس دهی نداشت. اثر دما و زمان های مختلف پخت با تاثیر نسبت روغن گیاهی رابطه معکوس داشت، به گونه ای که افزایش دما ($p < 0/001$) و زمان های پخت ($p < 0/01$)، سبب افزایش سفتی و کاهش قابلیت ذوبی و پس دهی روغن گردید.
نتیجه گیری: شرایط بهینه جهت تولید پنیر پروسس آنالوگ عبارت بود از: روغن گیاهی ۲۰ درصد، دمای پخت ۸۵ درجه سانتی گراد و زمان پخت ۱۵ دقیقه. همچنین میزان بهینه برای پاسخ های مورد نظر از قبیل سفتی، قابلیت ذوبی و پس دهی روغن به ترتیب ۲۳/۳۲۷ نیوتن، ۲۲۷/۵ و ۲۲۸/۲ درصد، بود.

واژه های کلیدی: پنیر پروسس، پردازش تصویری، سرد کردن آهسته، RSM

مقدمه

پنیر پروسس در اصطلاح به پنیری گفته می شود که از اختلاط پنیر طبیعی با عناصر لبنی و غیر لبنی تهیه می شود. بنابراین پنیر پروسس متفاوت از پنیر طبیعی می باشد؛ زیرا پنیر طبیعی مستقیماً از شیر ساخته می شود. تنوع و گستردگی در طعم، بافت و شکل این محصول سبب گردیده که مصرف کنندگان زیادی پیدا کند. پنیر پروسس آنالوگ^۱ به دسته ای از پنیرها گفته می شود که در آنها چربی شیر، پروتئین شیر یا هر دو به طور جزئی یا کامل با ترکیبات غیر لبنی همانند چربی یا روغن و پروتئین گیاهی جایگزین گردند (Chauhan & Srivastava, 2009; Berger *et al.*, 1989). هدف اولیه تولید پنیر پروسس افزایش مدت ماندگاری پنیر طبیعی و یافتن جایگزین های مناسب برای پنیرهای طبیعی بود که قابل فروش در بازار نبودند (Hui, 2006). اما امروزه این دسته از محصولات کاربردهای متعددی دارند و در تهیه انواع مختلفی از غذاها از جمله انواع سالاد، ساندویچ، برگرها و ... مورد استفاده قرار می گیرند (Guinne *et al.*, 2004; Kapoor & Metzger, 2008). علاوه بر هزینه نسبتاً پایین تولید، امکان دستکاری در خواص فیزیکی همچون قابلیت ذوبی، سفتی، پس دهی روغن، چسبندگی، رنگ و ... از دیگر مزایای محصولات آنالوگ می باشد (Tamime, 2010). پارامترهای فرآوری همانند دمای پخت، زمان پخت، سرعت همزدن و سرعت سرد کردن نقش ویژه و بارزی را در تشکیل امولسیون و خصوصیات عملکردی محصول بر جای می گذارند. طی سرد کردن، کریستال های چربی و کازئین ها تشکیل یک شبکه پیوسته را می دهند (Zhong, 2003; Piska & Steina, 2004). برحسب نوع بافت مورد انتظار، سردکردن می تواند سریع یا کند انجام شود. برای محصولات قالبی از سرد کردن کند و برای محصولات مالش پذیر از سرد کردن سریع استفاده می گردد (Kapoor & Metzger, 2008). محصولات تولید شده با روش سرد کردن آهسته ساختار ژل قوی تری به دلیل واکنش بیشتر بین پروتئین ها نسبت به محصولات تولید شده با روش سرد کردن سریع دارند (Xiaodong *et al.*, 2007; Zhong & Daubert, 2004). افزایش دما و زمان پخت سبب افزایش

سفتی و استحکام و کاهش قابلیت ذوبی می گردد (Kapoor & Metzger, 2008). Kuo و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که تیمار حرارتی بر قابلیت ذوبی پنیر تأثیرگذار می باشد. استفاده از چربی ها و منابع غیر لبنی سبب تغییر در خصوصیات فیزیکی شیمیایی پنیر پروسس می گردد (Guinne, 1987). Chauhan و Srivastava (۲۰۰۹) گزارش دادند که جایگزینی روغن گیاهی هیدروژنه با خامه در ساخت پنیر پروسس، میزان سفتی پنیر را افزایش داد. Vernon و Calleros (۱۹۹۸) بیان کردند که پنیر پروسس با روغن گیاهی هیدروژنه سفت ترین بافت و با روغن گیاهی نرم ترین بافت را داشت. این در حالی بود که پنیر پروسس فاقد روغن گیاهی (حاوی خامه) از لحاظ سفتی حد واسط آن دو بود. خصوصیت پس دادن روغن در روش های معمولی فعلی با آزمون حلقه چربی با استفاده از کاغذ صافی و یا آزمون کمی با استفاده از سانتیفریوژ انجام می شود (Kindstedt & Fox, 1991). به هر صورت روش اول برای تعیین مقادیر جزئی روغن پس داده حساس نمی باشد و روش دوم وقت گیر و نیروبر است؛ لذا به روش های کارآمد و قابل اجرا جهت تعیین خصوصیت پس دادن روغن نیاز می باشد. روش های پردازش تصویر جهت بررسی خصوصیت پس دادن روغن و قابلیت ذوبی توسعه یافته اند (Wang & Sun, 2004). روش سطح پاسخ (RSM) یک ابزار مهم در فرایند و بهبود محصول می باشد. این روش مجموعه ای از طراحی آزمایشات و تکنیک های بهینه سازی است که این امکان را به محقق می دهد تا ارتباط بین متغیرهای مستقل و پاسخها را تعیین کند (Eren & Kaymak-Ertekin, 2007).

هدف از انجام این پژوهش بررسی جایگزینی روغن گیاهی با چربی شیر در دما و زمان های مختلف پخت با روش سرد کردن آهسته به منظور تعیین اثر عوامل فوق بر خواص فیزیکی پنیر پروسس (سفتی^۲، قابلیت ذوبی^۳، پس دهی روغن^۴) و تعیین شرایط بهینه تولید بر اساس این عوامل می باشد.

مواد و روش ها

- تهیه و آماده سازی مواد اولیه

¹ Processed Analogue Cheese² Hardness³ Meltability⁴ Oiling-off

۲۳-۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و در مرحله بعد به اتاق سرد با دمای متغیر ۱۶-۱۲ درجه سانتی‌گراد انتقال یافت. در این دما پنیر پروسس به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. در نهایت پنیر پروسس آنالوگ بعد از گذراندن مراحل ذکر شده وارد یخچال گردید (Xiaodong *et al.*, 2007).

- اندازه‌گیری خواص فیزیکی

- تعیین میزان سفتی

برای تعیین میزان سفتی نمونه‌ها، دستگاه تحلیل کننده بافت^۲ (CNS (Farnell Com., U.K) مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون از یک پروب مخروطی از جنس استیل ضدزنگ با قطر ۶۰ میلی‌متر (P₆) استفاده شد (Piska & Steina, 2004). میزان نفوذ پروب به داخل نمونه‌ها ۱۵ میلی‌متر و با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه صورت پذیرفت. سلول بارگذاری^۳ دستگاه روی پنج کیلوگرم تنظیم شد. برای هر فرمول ۶-۴ تکرار در نظر گرفته شد که میانگین داده‌های بدست آمده برای تعیین سفتی گزارش گردید.

- تعیین قابلیت ذوب و پس دهی روغن

- آماده‌سازی نمونه‌ها و انجام آزمون

در این تحقیق از روش اصلاح شده آزمون شرابیر^۴ (Gunasekaran and Ak, 2003) با کمک فناوری پردازش تصویر^۵ استفاده گردید. در ابتدا پنیرهایی که در قالب جای گرفته بودند از قالب خارج شده و در مرکز پلیت شیشه‌ای دارای کاغذ صافی گذاشته شدند، سپس درپوش شیشه‌ای بر روی آن قرار گرفت. وزن پلیت، کاغذ صافی، قطعه پنیر و درپوش در هر آزمایش ثبت گردید. سپس پلیت شیشه‌ای درپوش‌دار به همراه کاغذ صافی و نمونه به آونی با سیستم گردش هوای اجباری (Paat Ariya Co. SH (2006) وارد شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۹۰°C حرارت داده شدند. پس از خروج از آون، درپوش پلیت شیشه‌ای برداشته شده و به مدت ۵ دقیقه خنک شد. عکس‌برداری از نمونه‌ها با کمک سیستم کامپیوتر بینایی و پردازش تصویر قبل و بعد از حرارت‌دهی در آون انجام شد. این آزمایش برای هر فرمول در سه تکرار انجام شد.

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش عبارت بود از: پنیر سفید تولید شده به روش فرا پالایش^۱ (شرکت شیر پاستوریزه و فرآورده‌های لبنی پگاه مشهد)، تری سدیم سیترات (کمپانی مرک آلمان)، کازئینات سدیم (شرکت مجتمع میلاد خراسان)، کره (کاله آمل)، روغن آفتابگردان (شرکت تجاری فریکو)، سوربات پتاسیم (مرک آلمان).

- روش تولید پنیر پروسس آنالوگ گسترده

ابتدا مواد اولیه شامل پنیر سفید، کازئینات سدیم، تری سدیم سیترات (۲/۴ درصد)، نمک طعام (۱ درصد)، کره و روغن گیاهی مطابق با نسبت محاسبه شده و پتاسیم سوربات (۱/۰ درصد) برای هر فرمول توزین گردید. پنیر سفید تهیه شده به روش فراپالایش در داخل یک ظرف استوانه‌ای توسط همزن پره‌ای ساخت شرکت شیمی فن با سرعت ۱۵۰۰ دور در دقیقه خرد و هموژن گردید. سپس تری سدیم سیترات، نمک طعام، نیمی از کازئینات و آب به مخلوط اضافه گردید. بعد از گذشت زمان مشخص، بقیه آب و سدیم کازئینات به مخلوط اضافه گردید. در این مرحله عمل همزدن با دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه و به مدت ۷ دقیقه صورت پذیرفت. در مرحله بعد روغن گیاهی با نسبت‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد کل چربی موجود در محصول نهایی مطابق با تیمارهای موجود اضافه شد. سپس مطابق با آزمایشات طراحی شده، عمل پخت در دما و زمان تعیین شده در هر فرمولاسیون صورت گرفت. عمل پخت نمونه‌ها در داخل یک ظرف استوانه‌ای با قرار گرفتن در داخل یک بن ماری حاوی آب گرم همراه با عمل همزدن نمونه‌ها توسط همزن پره‌ای با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه صورت پذیرفت. بعد از اتمام عمل پخت، عمل هموژن کردن با استفاده از همزن پره‌ای به مدت ۵ دقیقه با دور ۱۵۰۰ دور در دقیقه صورت پذیرفت. پنیرهای تولید شده در ظروف ۴۰۰ گرمی پر و بعد از ۵ دقیقه وارد یخچال و تا زمان انجام آزمایشات در یخچال نگهداری گردیدند.

- سرد کردن آهسته

بعد از اتمام مرحله هموژنیزاسیون، مرحله سرد کردن آغاز گردید. طی مرحله سرد کردن به روش آهسته، در اولین مرحله پنیر تولیدی به مدت ۸ ساعت در دمای اتاق

¹ Ultrafiltration

² Texture Analyzer

³ Load Cell

⁴ Schriber Test

⁵ Image Processing

سیستم کامپیوتر بینایی و پردازش تصویر

این سیستم شامل یک اتاقک نورپردازی به رنگ مشکی با ابعاد ۵۰ در ۵۰ در ۱۰۰ سانتی متر، مجهز به دو عدد لامپ فلئورسنت ۱۰ وات، یک دوربین دیجیتال (Canon – Power Shot A550)، یک پایه دوربین و یک کامپیوتر می باشد. از آنجایی که هدف تعیین سطح ذوب شده می باشد از سیستم نورپردازی از پشت^۱ استفاده شد. کلیه تصاویر از طریق یک درگاه USB از دوربین به کامپیوتر انتقال یافت.

گرفتن تصویر و استخراج خصوصیات

روشنایی به گونه ای تنظیم گردید که روشنایی و تضاد مناسب بدست آید. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی متری از نمونه ها تنظیم شد. تنظیمات انجام شده در طول دوره آزمایش ثابت ماند. تصاویر گرفته شده جهت آنالیز بعدی به فرمت RGB ذخیره شد. تصویر نمونه پنیر از زمینه عکس با کمک نرم افزار فتوشاپ نسخه ۹/۰ جدا شد. سپس عملیات آستانه یابی^۲ و تعیین مساحت نمونه با استفاده از نرم افزار Clemex نسخه ۴/۰/۰۲۱ انجام شد.

تعیین خصوصیت ذوب

قابلیت ذوبی پنیر یا درجه ذوب^۳ با کمک فناوری پردازش تصویر تعیین شد. برای اندازه گیری قابلیت ذوبی، مساحت ورقه های پنیر از تصاویر گرفته شده استخراج گردید و درجه ذوب به صورت نسبت مساحت قبل و بعد از پخت با فرمول ۱ محاسبه شد:

$$MD_f = (A_f / A_0) \times 100 \quad (1)$$

که MD_f و A_f به ترتیب عبارتند از درجه ذوب (درصد) و مساحت (mm^2) پنیر در انتهای آزمون ذوب و A_0 مساحت اولیه نمونه (mm^2) می باشد.

تعیین خصوصیت پس دادن روغن

این خصوصیت با عبارت «درصد سطح روغنی شده^۴» بیان شد. درصد سطح روغنی شده به صورت درصد نسبت کل مساحت روغنی شده پس از آزمون حرارت دهی به

مساحت اولیه قطعه پنیر پیش از حرارت دهی طبق فرمول ۱ محاسبه شد:

$$POA = (A_f / A_0) \times 100 \quad (2)$$

در این معادله A_0 و A_f به ترتیب مساحت نمونه پنیر (mm^2) پیش از ذوب و مساحت سطح روغنی شده کاغذ صافی (mm^2) در انتهای آزمون ذوب می باشند.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از روش سطح پاسخ (RSM) و از طرح مرکب مرکزی صاف^۵ (FCCD) جهت آنالیز داده ها مورد استفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل و داده های بدست آمده از طرح آزمایشی به صورت سطوح حقیقی در جدول ۱ نشان داده شده است. داده های بدست آمده از این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل ۶/۰/۲ مدلسازی گردیده و شکل های سه بعدی (منحنی های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ ها و متغیرهای مستقل رسم شدند. بر داده های حاصل از آزمایش ها مدل چند جمله ای درجه دوم برازش داده شد و سپس از الگوریتم Backward به منظور کاهش تعداد جمله های مدل استفاده گردید.

یافته ها**برازش مدل**

داده های مربوط به سفتی (Y_1)، قابلیت ذوبی (Y_2) و پس دهی روغن (Y_3) حاصل از تولید پنیر پروسس آنالوگ گسترده ای که از آزمایشات طراحی شده به دست آمدند، در جدول ۲ فهرست شده اند. داده های آزمایشی برای محاسبه ضرایب معادله چند جمله ای درجه دوم مورد استفاده قرار گرفتند و جدول ۳ ضرایب رگرسیون و نتایج حاصل از ANOVA – میزان معنی دار بودن ضرایب مدل ها – را به طور خلاصه نشان می دهد. برای هر یک از عبارت ها در مدل، ضریب رگرسیون بزرگ و عدد p کوچک، نشان دهنده اثر معنی دارتری روی پاسخ های مربوطه می باشد. مطابق با جدول ANOVA، مدل چند جمله ای درجه دوم

¹ Back Lighting ² Thresholding ³ Melting Degree
⁵ Percentage Oil Area (POA)

⁴ Faced Centered Central Composite Design

جدول ۱- سطوح کددار و بدون کد متغیرهای مستقل استفاده شده در طرح RSM

سطوح کد بندی شده متغیر مستقل			نماد	متغیر مستقل
-۱	۰	+۱		
۲۰	۳۰	۴۰	X ₁	نسبت روغن گیاهی (درصد)
۶۵	۷۵	۸۵	X ₂	دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)
۵	۱۰	۱۵	X ₃	زمان پخت (دقیقه)

جدول ۲- طرح آزمایشی و داده های متغیرهای وابسته

متغیرهای مستقل			پاسخ		
نسبت روغن گیاهی (درصد)	دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)	زمان پخت (دقیقه)	سفتی (N)	قابلیت ذوبی (%)	پس دهی روغن (%)
۳۰	۷۵	۱۰	۱۵/۳۸	۲۵۳	۲۶۱
۲۰	۶۵	۵	۷/۹۱	۳۱۸	۳۳۷
۳۰	۷۵	۱۰	۱۴/۲۱	۲۶۶	۲۶۹
۴۰	۸۵	۵	۱۷/۴۹	۲۲۹	۲۴۱
۴۰	۶۵	۵	۶/۷۲	۳۲۷	۳۴۱
۲۰	۸۵	۱۵	۲۵/۳۱	۲۰۳	۲۱۹
۳۰	۷۵	۱۰	۱۳/۱۹	۲۶۹	۲۷۷
۲۰	۷۵	۱۰	۱۸/۰۸	۲۳۰	۲۴۶
۳۰	۸۵	۱۰	۱۶/۱۳	۲۶۱	۲۶۴
۳۰	۷۵	۱۰	۱۴/۳۲	۲۷۳	۲۸۵
۳۰	۷۵	۵	۱۱/۷۸	۲۷۸	۲۹۲
۳۰	۷۵	۱۰	۱۴/۵۳	۲۶۶	۲۸۰
۳۰	۷۵	۱۰	۱۵/۱	۲۶۵	۲۷۴
۳۰	۶۵	۱۰	۷/۶۴	۳۲۱	۳۳۵
۲۰	۶۵	۱۵	۱۰/۲۷	۳۰۱	۳۲۴
۴۰	۸۵	۱۵	۲۲/۰۵	۲۱۵	۲۳۳
۴۰	۷۵	۱۰	۱۴/۱۶	۲۷۳	۲۹۶
۴۰	۶۵	۱۵	۱۰/۲۸	۳۰۴	۳۲۸
۳۰	۷۵	۱۵	۱۷/۸۴	۲۲۳	۲۳۶
۲۰	۸۵	۵	۱۷/۱۳	۲۴۱	۲۶۵

به دست آمده به طور مناسبی برازنده داده‌های آزمایشی با ضرایب تعیین چندگانه (R^2) ۰/۹۴، ۰/۸۶ و ۰/۸۹ به ترتیب برای سفتی، قابلیت ذوبی و پس دهی روغن بود.

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر سفتی پنیر پروسس

در شکل ۱ تأثیر متغیرهای مستقل بر تغییرات سفتی با استفاده از روغن گیاهی و دمای پخت نشان داده شده است. آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرایند روی داده‌های حاصل از مدل رگرسیونی سفتی پنیر نشان داد که اثرات

خطی نسبت روغن گیاهی، دمای پخت و زمان پخت و عبارت درجه دوم دمای پخت و روغن گیاهی معنی‌دار بود (جدول ۳). جدول آنالیز واریانس نشان دهنده این مطلب است که در بین متغیرهای مستقل، دمای پخت بیشترین تأثیر را بر میزان سفتی پنیر پروسس داشت. شکل ۱ تأثیر روغن گیاهی و دمای پخت را بر میزان سفتی پنیر پروسس نشان می‌دهد. همان طور که در شکل قابل رویت می‌باشد، در مقادیر کم (۲۰ درصد) و زیاد (۴۰ درصد) نسبت روغن گیاهی، افزایش دما سبب افزایش در سفتی پنیر پروسس گردید که این افزایش در مقادیر کمتر روغن گیاهی، بیشتر

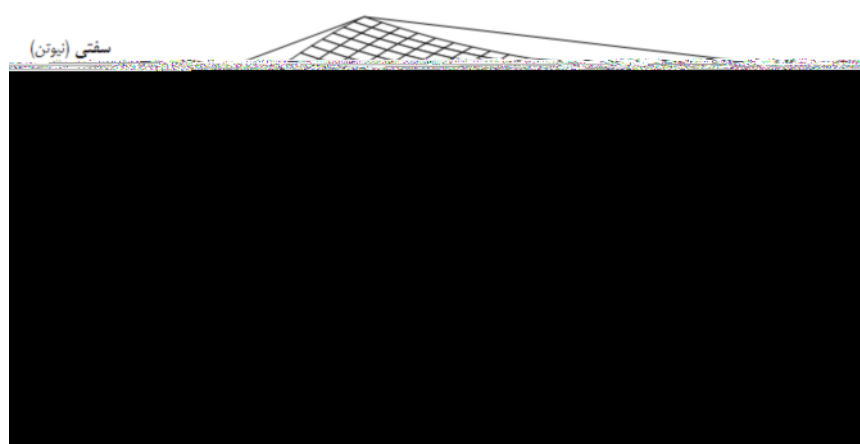
بهینه سازی و مدل سازی فرمولاسیون و شرایط پخت شبه پنیر پروسس

میزان سفتی پنیر گردید که این مقدار در زمان بالاتر بیشتر می باشد. همچنین در دمای پایین (۶۵ درجه سانتی گراد) و دمای بالای پخت (۸۵ درجه سانتی گراد)، افزایش زمان پخت سبب افزایش در سفتی پنیر گردید که این افزایش سفتی در دمای بالای پخت بیشتر می باشد.

بود. در دمای کم، افزایش روغن گیاهی تأثیر چندانی روی سفتی پنیر نداشت و میزان تغییرات بسیار ناچیز بود اما در دمای بالا، افزایش روغن گیاهی سبب کاهش در سفتی محصول گردید. شکل ۲ تأثیر دما و زمان پخت را بر میزان سفتی پنیر نشان می دهد. با توجه به شکل مربوطه، در هر دو زمان کم و زیاد پخت، افزایش دما سبب افزایش در

جدول ۳- آنالیز واریانس (ANOVA) مدل چند جمله ای درجه دوم برای سفتی، قابلیت ذوبی و پس دهی روغن و ضرایب پیشگویی مدل برازش یافته درجه دوم کاسته بر پاسخ ها

منبع	سفتی (N)			قابلیت ذوبی (%)			پس دهی روغن (%)					
	DF	ضرایب	مجموع مربعات	اندیس p	DF	ضرایب	مجموع مربعات	اندیس p	DF	ضرایب	مجموع مربعات	اندیس p
مدل خطی	۵	-۱۲۶/۳۳۴	۳۹۱/۱۸	p<۰/۰۰۰۱	۳	۱۴۹۰/۸۵۰	۲۰۸۵۳/۷۵	p<۰/۰۰۰۱	۳	۱۵۰۷/۶۷	۲۳۰۲۴/۹۵	p<۰/۰۰۰۱
X ₁	۱	-۱/۳۸۰	۶/۴۰	۰/۰۶۵	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₂	۱	۳/۶۵۳	۳۰۵/۷	p<۰/۰۰۰۱	۱	-۲۷/۹۲	۱۷۸۰۸/۴۰	p<۰/۰۰۰۱	۱	-۳۷/۷۱	۱۹۸۹۱/۶۰	p<۰/۰۰۰۱
X ₃	۱	۰/۴۹۴	۶۱/۱۱	p<۰/۰۰۰۱	۱	-۲/۹۴	۲۱۶۰/۹۰	۰/۰۰۶	۱	-۲/۷۸	۱۹۳۲/۱۰	۰/۰۰۳۳
درجه دوم												
X ₁ ²	۱	۰/۰۲۱	۱۵/۰۴	۰/۰۰۸۳	-	-	-	-	-	=	-	-
X ₂ ²	۱	-۰/۰۲۰	۱۳/۶۷	۰/۰۱۱۱	۱	۰/۱۵۸	۱۲۴۸/۲۰	۰/۰۲۸	۱	۰/۱۵	۱۲۰۱/۲۵	۰/۰۱۵۲
X ₃ ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
برهم کنش												
X ₁₂	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₁₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
X ₂₃	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
باقیمانده	۱۴	-	۲۲/۳۵	-	۱۶	-	۳۴۵۰/۳۰	-	۱۶	-	۲۵۹۸/۸۰	-
عدم برازش	۹	-	۱۹/۳۹	۰/۰۸۴۱	۱۱	-	۲۹۹۶/۹۷	۰/۱۱۷	۱۱	-	۲۲۳۹/۴۷	۰/۰۹۴۴
خطای خالص	۵	-	۲/۹۶	-	۵	-	۴۵۳/۳۳	-	۵	-	۳۵۹/۳۳	-
مجموع	۱۹	-	۴۱۳/۵۳	-	۱۹	-	۲۴۶۶۷/۸۰	-	۱۹	-	۲۵۶۲۳/۷۵	-
R ²	-	۰/۹۴	-	-	-	۰/۸۶	-	-	-	۰/۸۹	-	-
R ² _{adjust}	-	۰/۹۲	-	-	-	۰/۸۳	-	-	-	۰/۸۷	-	-



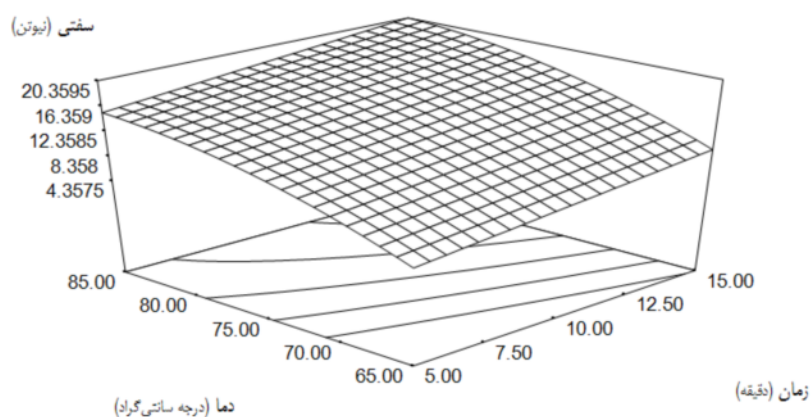
شکل ۱- منحنی سطح پاسخ برای اثر مقدار روغن گیاهی و دمای پخت (زمان پخت = ۱۰ دقیقه)

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خاصیت پس دهی روغن پنیر پروسس

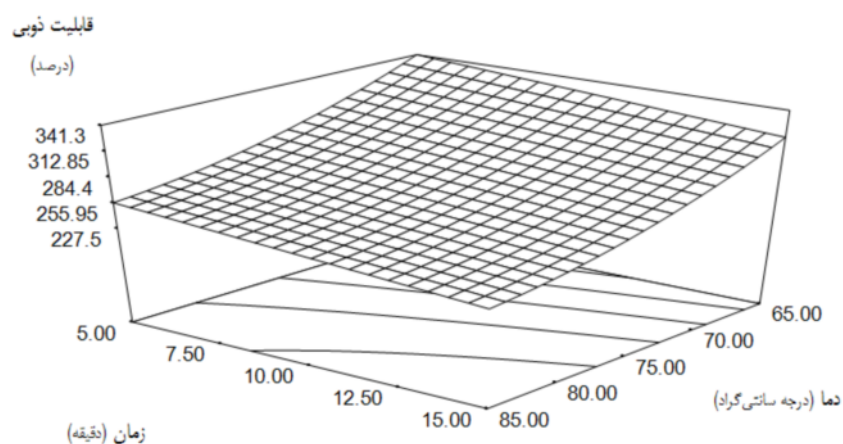
آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرایند خاصیت پس دهی روغن نشان می‌دهد که اثرات خطی دمای پخت ($p < 0.0001$)، زمان پخت ($p < 0.01$) و عبارت درجه دوم دمای پخت ($p < 0.05$) معنی‌دار بودند. با توجه به جدول ۳ در بین عوامل متغیر فوق، بیشترین تأثیر بر خاصیت پس‌دهی روغن را همانند خواص ذوبی، دمای پخت داشت. مطابق با شکل ۴، در هر دو زمان بالا و پایین پخت، افزایش دما سبب کاهش خاصیت پس‌دهی روغن در پنیر گردید که در زمان بالای پخت، این کاهش بیشتر بود. همچنین در هر دو دمای بالا و پایین پخت، افزایش زمان پخت سبب کاهش در خاصیت پس دهی روغن گردید که در دمای بالای پخت شاهد کاهش چشمگیرتری بودیم.

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر قابلیت ذوبی پنیر پروسس

آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرایند را بر قابلیت ذوبی نشان می‌دهد که اثرات خطی دما ($p < 0.0001$)، زمان پخت ($p < 0.01$) و عبارت درجه دوم دمای پخت ($p < 0.05$) معنی‌دار بودند. با توجه به جدول ۳، در بین عوامل متغیر فوق، بیشترین تأثیر بر خواص ذوبی را دمای پخت داشت. مطابق با شکل ۳ در هر دو زمان پایین (۵ دقیقه) و بالای پخت (۱۵ دقیقه)، افزایش دما سبب کاهش خواص ذوبی پنیر گردید که در زمان بالای پخت این کاهش بیشتر بود. همچنین در هر دو دمای بالا و پایین پخت، افزایش زمان پخت سبب کاهش در خواص ذوبی گردید که این پاسخ در دمای بالای پخت بیشتر کاهش یافت.

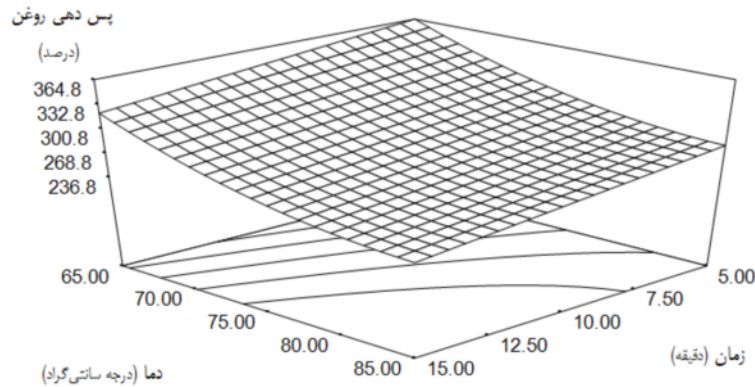


شکل ۲ - منحنی سطح پاسخ برای اثر دما و زمان پخت (روغن گیاهی = ۳۰ درصد) بر میزان سفتی



شکل ۳ - منحنی سطح پاسخ برای اثر دمای پخت (روغن گیاهی = ۳۰ درصد) بر میزان قابلیت ذوبی

بهینه سازی و مدل سازی فرمولاسیون و شرایط پخت شبه پنیر پروسس



شکل ۴- منحنی سطح پاسخ برای اثر زمان پخت و دمای پخت (روغن گیاهی = ۳۰ درصد)

بهینه سازی

شرایط عملیاتی بهینه برای تولید پنیر پروسس آنالوگ با استفاده از روغن گیاهی، دمای پخت و زمان پخت بر روی پارامترهای سفتی، خواص ذوبی و پس دهی روغن با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی نرم افزار Design Expert صورت پذیرفت. شرایط بهینه مقدار سفتی، خواص ذوبی و پس دهی روغن به ترتیب برابر با ۲۳/۳۲۷، ۲۲۷/۵ و ۲۲۸/۲ بود. مقادیر متغیرهای مستقل در شرایط بهینه تولید پنیر پروسس آنالوگ برای روغن گیاهی ۲۰ درصد، دمای پخت ۸۵ درجه سانتیگراد و زمان ۵ دقیقه به دست آمد.

بحث

نتایج بدست آمده حاصل از جدول آنالیز واریانس نشان می‌دهد در بین متغیرهای مستقل، دمای پخت بیشترین تأثیر را بر میزان سفتی پنیر پروسس داشت. مطابق با نتایج حاصله، افزایش دما و زمان پخت سبب افزایش مقدار سفتی ولی افزایش نسبت روغن گیاهی سبب کاهش میزان سفتی پنیر گردیده است. روغن گیاهی در داخل بافت پنیر بصورت ذرات ریز و جدا از یکدیگر قرار می‌گیرد. این نحوه پراکندگی در بافت پنیر و خصوصاً در ماتریکس پروتئینی، سبب از بین رفتن پیوستگی ماتریکس پروتئینی گشته، ایجاد بافت نرم و کاهش میزان سفتی می‌گردد (Calleros & Vernon, 1998). Srivastava و Chauha (۲۰۰۹) به بررسی تأثیر جایگزینی روغن گیاهی هیدروژنه بر بافت پنیر پروسس پرداختند و مشاهده کردند میزان سفتی پنیر به

دلیل اندازه بزرگ گلبول‌های روغن گیاهی هیدروژنه و قرار گرفتن حجم بزرگی از پروتئین در واحد سطح، اطراف گلبولهای روغن گیاهی هیدروژنه، افزایش یافت. Calleros و Vernon (۱۹۹۸) بیان کردند که جایگزینی روغن گیاهی هیدروژنه با چربی لبنی به پنیر پروسس سفت‌ترین بافت و با روغن گیاهی نرم‌ترین بافت را داد. این در حالی بود که پنیر پروسس فاقد روغن و چربی گیاهی (حاوی خامه) از لحاظ سفتی حد واسط آن دو بود. آنها دلیل این امر را در تفاوت ساختاری و کیفیت پراکندگی نوع روغن در بافت زمینه‌ای پروتئین بیان کردند. همچنین بیان کردند در مقادیر کم روغن گیاهی به دلیل مقدار بالای اسیدهای چرب اشباع ناشی از چربی لبنی^۱، در طی فرایند سرد کردن این دسته از چربی‌های اشباع به یکدیگر متصل می‌شوند و سبب ایجاد بافتی مستحکم‌تری نسبت به حضور روغن گیاهی در محصول گردیدند.

در زمان‌های اولیه حرارت دادن، پروتئین‌ها از لحاظ میکروساختاری بصورت ذرات جدا از هم حضور دارند که این امر به دلیل عملکرد ناقص نمک‌های امولسیفایری در زمان کم پخت می‌باشد (Lee et al., 2003). با افزایش زمان پخت همراه با عمل همزدن و در حضور نمک‌های امولسیفایری، ساختار سه بعدی پایداری از شبکه پروتئینی در اثر واکنش بین پروتئین‌ها از طریق گروه‌های هیدروفوبی بی‌حفاظ شده حاضر بر روی مولکول‌های پروتئینی، طی سرد شدن ایجاد می‌گردد که این امر باعث بهبود وضعیت امولسیون و افزایش در قوام و سفتی پنیر پروسس آنالوگ می‌گردد (Lee et al., 2003). بنابراین هر چه دما و زمان

¹ Milk Fat

نتیجه موجب کاهش قابلیت ذوبی گردید. وانگ و سان (۲۰۰۴) قابلیت ذوبی پنیر چدار را در دماهای ۷۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بررسی کردند. آنها گزارش کردند که با افزایش دما تا ۱۳۰ درجه سانتی‌گراد قابلیت ذوبی افزایش یافت، اما در دماهای بالاتر به دلیل افت رطوبت و چربی کاهش یافت.

میزان پس دهی روغن پنیر پروسس در پنی‌های تهیه شده در دما و زمان بالای پخت کاهش اما در حضور نسبت بالای روغن گیاهی افزایش یافت. در دما و زمان پایین پخت، به علت عدم فرصت مناسب جهت واکنش بین پروتئینها و عدم امولسیفیه شدن چربیها توسط پروتئینها و همچنین عملکرد ناقص نمک‌های امولسیفایری، پس دهی روغن بالا بود. با افزایش دما و زمان پخت، نمک‌های امولسیفایری با تخریب پل‌های فسفات کلسیمی در ساختار پروتئین موجود در پنیر طبیعی و با پراکندگی پروتئینها و اتصال بین پروتئینها از طریق برهمکنش‌های جدیدی همانند هیدروفوبی، یونی و هیدروژنی حین سرد شدن، با تشکیل یک ساختار منظم پروتئینی سبب امولسیفیه شدن بهتر چربیها در امولسیون پنیر پروسس می‌شوند (Xiaodong *et al.*, 2007) که این امر سبب کاهش پس دهی روغن در پنیر پروسس آنالوگ می‌گردد. همچنین، افزایش دما و زمان پخت سبب کاهش محتوای رطوبتی گشته که این امر موجب افزایش اتصال بین پروتئینها و افزایش استحکام ساختاری شبکه و در نتیجه، امولسیفیه شدن بهتر چربی می‌شود که در نتیجه موجب کاهش پس دهی روغن گردید.

نتیجه‌گیری

مطابق با بررسی‌های صورت گرفته عواملی همچون روغن گیاهی، دما و زمان پخت بر خصوصیات فیزیکی پنیر پروسس تأثیر گذار می‌باشند. بیشترین فاکتور تأثیرگذار در هر سه پاسخ مورد بررسی (سفتی، قابلیت ذوبی و پس دهی روغن)، دمای پخت بود. اثر دما و زمان پخت با روغن گیاهی عکس یکدیگر بود، به گونه‌ای که روغن گیاهی سبب کاهش سفتی گردید، حال آنکه بر روی قابلیت ذوبی تأثیری نداشت؛ ولی افزایش دما و زمان پخت سبب افزایش سفتی و کاهش قابلیت ذوبی و پس دهی روغن گردید. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و با در نظر گرفتن

پخت افزایش یابد، گروه‌های باردار و هیدروفوبی بی‌حفاظ موجود در سطح کارئینها بیشتر گشته که این امر موجب اتصالات بیشتر پروتئینها با یکدیگر می‌گردد که متعاقباً سبب افزایش سفتی می‌شود. Xiaodong و همکاران (۲۰۰۷) بیان کردند با افزایش زمان پخت تا ۲۰ دقیقه، میزان سفتی افزایش پیدا کرد که دلیل این امر را تشکیل یک بافت متراکم و همگن پروتئینی بیان کردند. علاوه بر دلایل فوق با افزایش در دما و زمان پخت، مقدار رطوبت موجود در پنیر پروسس کاهش می‌یابد که این امر همراه با افزایش در سفتی پنیر می‌باشد. Lee و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که کاهش رطوبت سبب خرد شدن بیشتر ذرات چربی و کاهش در اندازه آنها می‌گردد که در این حالت گلوله‌های چربی به صورت یکنواخت در داخل شبکه پروتئینی قرار گرفته که این امر موجب افزایش در استحکام بافت پنیر گردید. همچنین تأثیر کاهش رطوبت بر اندازه گلوله‌های چربی توسط Piska و Steina (۲۰۰۴) اثبات شده است.

با توجه به نتایج حاصله، اثرات دما و زمان پخت بر قابلیت ذوبی تأثیر معنی‌داری داشتند ($p < 0.05$) که با افزایش دما و زمان پخت قابلیت ذوبی کاهش یافت. در دما و زمان پایین پخت به دلیل عملکرد ناقص نمک‌های امولسیفایری، بافت مطلوب در پنیر تشکیل نمی‌گردد و محصولی با قابلیت ذوبی خیلی بالا ایجاد می‌شود. در طی پخت پنیر پروسس، با افزایش دما و زمان پخت، به دلیل در معرض قرار گرفتن گروه‌های هیدروفوبی در سطح کارئینها ناشی از عمل نمک‌های امولسیفایری، بین پروتئینها از طریق گروه‌های هیدروفوبی موجود اتصال برقرار گشته و سبب استحکام شبکه ساختاری می‌گردد، در نتیجه، نیاز به انرژی حرارتی زیادی می‌باشد تا این شبکه را تخریب کند (Kuo *et al.*, 2001)؛ بنابراین، افزایش دما و زمان پخت سبب کاهش خواص ذوبی می‌گردد. Kuo و همکاران (۲۰۰۱) تأثیر تیمار حرارتی را بر قابلیت ذوبی پنیر بررسی کردند. آنها گزارش دادند که قابلیت ذوبی پنیر جوان و تازه با افزایش زمان نگهداری تغییر خاصی نکرد، ولی در پنی‌های رسیده افزایش زمان نگهداری، قابلیت ذوبی را خیلی زیاد کاهش داد. همچنین، افزایش دما و زمان پخت سبب کاهش محتوای رطوبتی گشته که این امر موجب افزایش اتصال بین پروتئینها و ساختاری قوی‌تر و در

Hui, Y. H. (2006). Processed cheese. In: Handbook of food science, technology, and engineering. CRC Press, Florida, USA, Vol. 4.

Kapoor, R. & Metzger, L. E. (2008). Process Cheese: Scientific and Technological Aspects—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 194-214.

Kuo, M. I., Wang, Y. C., Gunasekaran, S. & Olson, N. F. (2001). Effect of Heat Treatments on the Meltability of Cheeses. *J. Dairy Sci.*, 84, 1937–1943.

Kindstedt, P. S. & Fox, P. F. (1991). Modified Gerber test for free oil in melted Mozzarella cheese. *Journal of Food Science*, 56(4), 1115– 1116.

Lee, S. K., Buwalda, R. J., Euston, S. R., Foegeding, E. A. & McKenna, A. B. (2003). Changes in the rheology and microstructure of processed cheese during cooking. *Lebensm Wiss Technol.*, 36, 339–345.

Piska, I. & Steina, J. (2004). Influence of cheese ripening and rate of cooling of the processed cheese mixture on rheological properties of processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 61, 551–555.

Tamime, A. Y. (2010). Processed Cheese and Analogues: An Overview. *Processed Cheese and Analogues*, First Edition.

Wang, H. H. & Sun, D. W. (2004). Evaluation of Oiling off property of cheese with computer vision: Correlation with fat ring test. *Journal of Food Engineering*, 61, 47-55.

Xiaodong, L. I., Hanl, W. U. & Huaiwei, L. I. D. (2007). Influence of cooking time and cooling rate on the functionality and microstructure of processed cheese spreads. *Journal of North Agriculture University*, 14, 1 36-42.

Zhong, Q. X. (2003). Cooling effects on the functionality and microstructure of processed cheese. *Food Science and Chemical Engineering*, 64, 4693.

Zhong, Q. X. & Daubert, C. R. (2004). Kinetics of rennet casein gelation at different cooling rates. *Journal of Colloid and Interface Science*, 7, 88-94.

نقاط بهینه بدست آمده می‌توان پنیرهایی با قابلیت ذوبی مناسب نسبت به پنیرهای تولید شده به روش سردکردن سریع و مرسوم جهت استفاده در برگرها و ساندویچ‌های تست تهیه کرد. همچنین، استفاده از روش پردازش تصویری در این تحقیق و توانایی آن در اندازه گیری قابلیت ذوبی و پس دهی روغن می‌تواند روشی مفید و سریع جهت جایگزینی روش‌های قدیمی، وقت گیر و پرهزینه گردد.

منابع

Berger, W., Klostermeyer, H., Merkenich, K. & Uhlmann, G. (1989). Processed Cheese Manufacture: A Joha Guide. BK Ladenburg, Ladenburg.

Calleros, L. & Vernon, E. J. (1998). Microstructure and texture of cheese analogue containing different type of fat. *Journal of texture studies*, 29, 569-586.

Chauhan, A. K. S. & Srivastava, A. K. (2009). Optimizing Drying Conditions for Vacuum-Assisted Microwave Drying of Green Peas (*Pisum sativum* L.) *Drying Technology*, 27, 761–769.

Eren, I. & Kaymak-Ertekin, F. (2007). Optimization of osmotic dehydration of potato using response surface methodology. *Journal of Food Engineering*, 79 344–352.

Guinne, T. P. (1987). Processed cheese products: physico-chemical aspects. In proceedings of the symposium on industrial aspects of milk proteins, pp. 111- 178, Moorepark Res. Centre, Fermoy. Co. Cork, Ireland.

Guinne, T. P., Caric, M. & Kalab, M. (2004). Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. In: Fox PF, editor. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Volume 2: major cheese groups. 3rd ed. London, U.K.: Elsevier Applied Science. P 349–394.

Gunasekaran, S. & Ak, M. M. (2003). *Cheese Rheology and Texture*. CRC Press.