بهینه سازی و مدل‌سازی فرمولاسیون و شرایط پخت شبه پنیر پروسس گستردنی 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*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۴/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۱۰

چکیده

مقدمه: پنیر پروسس حاصل اختلاط پنیر طبیعی با عناصر لبنی و غیر لبنی می‌باشد. 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 می‌باشد.

مواد و روش‌ها: 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.

یافته‌ها: افزایش نسبت روغن گیاهی در محصول سبب کاهش سفتی پنیر پروسس گردید (p< ۰/۰۱)، اما تاثیر معنی‌داری بر قابلیت ذوبی و پس دهی نداشت. اثر دما و زمان‌های مختلف پخت با تأثیر نسبت روغن گیاهی رابطه معکوس داشت، به گونه‌ای که افزایش دما (p< ۰/۰۰۱) و زمان های پخت (p< ۰/۰۱)، سبب افزایش سفتی و کاهش قابلیت ذوبی و پس دهی روغن گردید.

نتیجه‌گیری: شرایط بهینه جهت تولید پنیر پروسس آنالوگ عبارت بود از: روغن گیاهی ۲۰ درصد، دمای پخت ۸۵ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۱۵دقیقه. 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.

واژه‌های کلیدی: *پنیر پروسس، پردازش تصویری، سرد کردن آهسته، RSM*

---

[*] نویسنده مسئول مکاتبات

email: habibmirzaei@yahoo.ca

مقدمه

پنیر پروسس در اصطلاح به پنیری گفته می شود که از اختلاط پنیر طبیعی با عناصر لبنی و غیر لبنی تهیه می‌شود. بنابراین پنیر پروسس متفاوت از پنیر طبیعی می‌باشد؛ زیرا پنیر طبیعی مستقیما از شیر ساخته می‌شود. تنوع و گستردگی در طعم، بافت و شکل این محصول سبب گردیده که مصرف کنندگان زیادی پیدا کند. پنیر پروسس آنالوگ[1] به دسته‌ای از پنیرها گفته می‌شود 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 می‌گذارند. طی سرد کردن، کریستال‌های چربی و کازئین‌ها تشکیل یک شبکه پیوسته را می دهند (Zhong, 2003; Piska & Steina, 2004). برحسب نوع بافت مورد انتظار، سردکردن می‌تواند سریع یا کند انجام شود. برای محصولات قالبی از سرد کردن کند و برای محصولات مالش پذیر از سرد کردن سریع استفاده می‌گردد (Kapoor & Metzger, 2008). محصولات تولید شده با روش سرد کردن آهسته ساختار ژل قوی تری به دلیل واکنش بیشتر بین پروتئین‌ها 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 می‌گردد (Kapoor & Metzger, 2008). Kuo و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که تیمار حرارتی بر قابلیت ذوبی پنیر تأثیرگذار می‌باشد. استفاده از چربی‌ها و منابع غیر لبنی سبب تغییر در خصوصیات فیزیکو شیمیایی پنیر پروسس می‌گردد (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. Calleros و Vernon (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 روش‌های معمولی فعلی با آزمون حلقه چربی با استفاده از کاغذ صافی و یا آزمون کمی با استفاده از سانتریفوژ انجام می‌شود (Kindstedt & Fox, 1991). به هر صورت روش اول برای تعیین مقادیر جزئی روغن پس داده حساس نمی‌باشد و روش دوم وقت‌گیر و نیروبر است؛ لذا به روش‌های کارآمد و قابل اجرا جهت تعیین خصوصیت پس دادن روغن نیاز می‌باشد. روش‌های پردازش تصویر جهت بررسی خصوصیت پس دادن روغن و قابلیت ذوبی توسعه یافته‌اند (Wang & Sun, 2004). روش سطح پاسخ (RSM) یک ابزار مهم در فرایند و بهبود محصول می‌باشد. این روش مجموعه‌ای از طراحی آزمایشات و تکنیک‌های بهینه سازی است که این امکان را به محقق می‌دهد 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[2]، قابلیت ذوبی[3]، پس دهی روغن[4]) و تعیین شرایط بهینه تولید بر اساس این عوامل می باشد.

مواد و روش‌ها

- تهیه و آماده سازی مواد اولیه

---

[1] Processed Analogue Cheese
[2] Hardness
[3] Meltability
[4] Oiling-off

مواد اولیه مورد استفاده در این پژوهش عبارت بود از: پنیر سفید تولید شده به روش فرا پالایش[1] (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 گستردنی

ابتدا مواد اولیه شامل پنیر سفید،کازئینات سدیم، تری سدیم سیترات (۲/۴درصد)، نمک طعام (۱ درصد)، کره و روغن گیاهی مطابق با نسبت محاسبه شده و پتاسیم سوربات (۰/۱درصد) 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 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 گذرانیدن 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[2] CNS (Farnell Com., U.K) مورد استفاده قرار گرفت. در این آزمون از یک پروب مخروطی از جنس استیل ضدزنگ با قطر ۶۰ میلی‌متر (P_6) استفاده شد (Piska & Steina, 2004). میزان نفوذ پروب به داخل نمونه‌ها ۱۵ میلی‌متر و با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه صورت پذیرفت. سلول بارگذاری[3] دستگاه روی پنج کیلوگرم تنظیم شد. برای هر فرمول ۶-۴ تکرار در نظر گرفته شد که میانگین داده های 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 شرایبر[4] (Gunasekaran and Ak, 2003) با کمک فناوری پردازش تصویر[5] 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 $۹۰^{\circ}C$ 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.

---

[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 سانتی‌متر، مجهز به دو عدد لامپ فلوئورسنت ۱۰ وات، یک دوربین دیجیتال (Canon –Power Shot A550)، یک پایه دوربین و یک کامپیوتر می‌باشد. از آنجایی که هدف تعیین سطح ذوب شده می‌باشد از سیستم نورپردازی از پشت[1] استفاده شد. کلیه تصاویر از طریق یک درگاه USB از دوربین به کامپیوتر انتقال یافت.

- گرفتن تصویر و استخراج خصوصیات

روشنایی به گونه‌ای تنظیم گردید که روشنایی و تضاد مناسب بدست آید. دوربین در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از نمونه‌ها 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 نرم‌افزار فتوشاپ نسخه ۹/۰ جدا شد. سپس عملیات آستانه‌یابی[2] و تعیین مساحت نمونه با استفاده از نرم‌افزار Clemex نسخه ۴/۰/۰۲۱ انجام شد.

- تعیین خصوصیت ذوب

قابلیت ذوبی پنیر یا درجه ذوب[3] با کمک فناوری پرداز تصویر تعیین شد. برای اندازه‌گیری قابلیت ذوبی، مساحت ورقه‌های پنیر از تصاویر گرفته شده استخراج گردید و درجه ذوب به صورت نسبت مساحت قبل و بعد از پخت با فرمول ۱ محاسبه شد:

$$MD_f = (A_f / A_0) \times 100 \qquad (۱)$$

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) می‌باشد.

- تعیین خصوصیت پس دادن روغن

این خصوصیت با عبارت «درصد سطح روغنی شده[4]» بیان شد. درصد سطح روغنی شده به صورت درصد نسبت کل مساحت روغنی شده پس از آزمون حرارت‌دهی به مساحت اولیه قطعه پنیر پیش از حرارت‌دهی طبق فرمول ۱ محاسبه شد:

$$POA = (A_f / A_0) \times 100 \qquad (۲)$$

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 می‌باشند.

- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از روش سطح پاسخ (RSM) و از طرح مرکب مرکزی صاف (FCCD)[5] جهت آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل و داده‌های بدست آمده از طرح آزمایشی به صورت سطوح حقیقی در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های بدست آمده از این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل ۶/۰/۲ مدلسازی گردیده و شکل‌های سه بعدی (منحنی‌های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ‌ها و متغیرهای مستقل رسم شدند. بر داده‌های حاصل از آزمایش ها مدل چند جمله‌ای درجه دوم برازش داده شد و سپس از الگوریتم Backward به منظور کاهش تعداد جمله های مدل استفاده گردید.

یافته‌ها

- برازش مدل

داده‌های مربوط به سفتی (Y_1)، قابلیت ذوبی(Y_2) و پس‌دهی روغن (Y_3) حاصل از تولید پنیر پروسس آنالوگ گستردنی که از آزمایشات طراحی شده به دست آمدند، در جدول ۲ فهرست شده‌اند. داده‌های آزمایشی برای محاسبه ضرایب معادله چند جمله‌ای درجه دوم مورد استفاده قرار گرفتند و جدول ۳ ضرایب رگرسیون و نتایج حاصل از ANOVA– میزان معنی دار بودن ضرایب مدل‌ها – را به طور خلاصه نشان می‌دهد. برای هر یک از عبارت‌ها در مدل، ضریب رگرسیون بزرگ و عدد p کوچک، نشان دهنده اثر معنی‌دارتری روی پاسخ‌های مربوطه می‌باشد. مطابق با جدول ANOVA، مدل چند جمله‌ای درجه دوم

---

[1] Back Lighting [2] Thresholding [3] Melting Degree [4] Faced Centered Central Composite Design
[5] Percentage Oil Area (POA)

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

متغیر مستقل	نماد	سطوح کد بندی شده متغیر مستقل		
		+۱	۰	−۱
نسبت روغن گیاهی (درصد)	X_1	۴۰	۳۰	۲۰
دمای پخت (درجه سانتی‌گراد)	X_2	۸۵	۷۵	۶۵
زمان پخت (دقیقه)	X_3	۱۵	۱۰	۵

جدول۲- طرح آزمایشی و داده های متغیرهای وابسته

پاسخ			متغیرهای مستقل		
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.

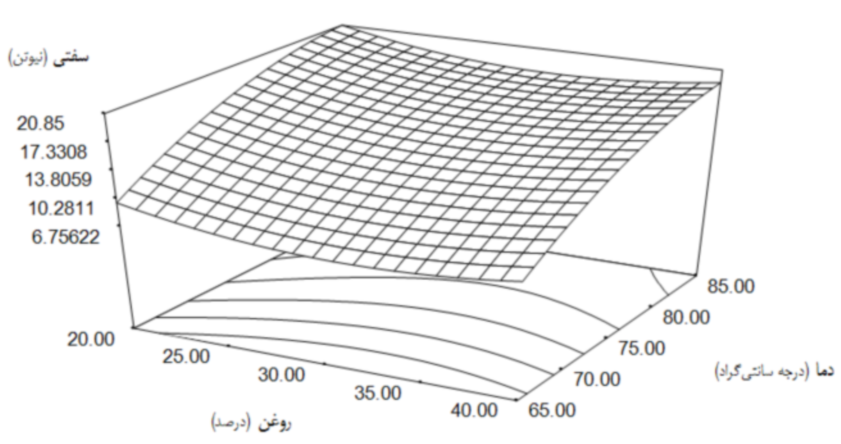
-بررسی اثر متغیرهای مستقل بر سفتی پنیر پروسس

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

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

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

پس دهی روغن(٪)				قابلیت ذوبی(٪)				سفتی(N)				منبع
اندیس p	مجموع مربعات	ضرایب	DF	اندیس p	مجموع مربعات	ضرایب	DF	اندیس p	مجموع مربعات	ضرایب	DF	
p<۰/۰۰۰۱	۲۳۰۲۴/۹۵	۱۵۰۷/۶۷	۳	p<۰/۰۰۰۱	۲۰۸۵۳/۷۵	۱۴۹۰/۸۵۰	۳	p<۰/۰۰۰۱	۳۹۱/۱۸	–۱۲۶/۳۳۴	۵	مدل
												خطی
	–	–	–	–	–		–	۰/۰۶۵	۶/۴۰	–۱/۳۸۰	۱	X_1
p<۰/۰۰۰۱	۱۹۸۹۱/۶۰	–۲۷/۷۱	۱	p<۰/۰۰۰۱	۱۷۸۰۸/۴۰	–۲۷/۹۲	۱	p<۰/۰۰۰۱	۳۰۵/۷	۳/۶۵۳	۱	X_2
۰/۰۰۳۳	۱۹۳۲/۱۰	–۲/۷۸	۱	۰/۰۰۶	۲۱۶۰/۹۰	–۲/۹۴	۱	p<۰/۰۰۰۱	۶۱/۱۱	۰/۴۹۴	۱	X_3
												درجه دوم
–	–	=	–	–	–	–	–	۰/۰۰۸۳	۱۵/۰۴	۰/۰۲۱	۱	X_1^2
۰/۰۱۵۲	۱۲۰۱/۲۵	۰/۱۵	۱	۰/۰۲۸	۱۲۴۸/۲۰	۰/۱۵۸	۱	۰/۰۱۱۱	۱۳/۶۷	–۰/۰۲۰	۱	X_2^2
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	X_3^2
												برهم کنش
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	X_{12}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	X_{13}
–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	X_{23}
–	۲۵۹۸/۸۰	–	۱۶	–	۳۴۵۰,۳۰	–	۱۶	–	۲۲/۳۵	–	۱۴	باقیمانده
۰/۰۹۴۴	۲۲۳۹/۴۷	–	۱۱	۰/۱۱۷	۲۹۹۶/۹۷	–	۱۱	۰/۰۸۴۱	۱۹/۳۹	–	۹	عدم برازش
–	۳۵۹/۳۳	–	۵	–	۴۵۳/۳۳	–	۵	–	۲/۹۶	–	۵	خطای خالص
–	۲۵۶۲۳/۷۵	–	۱۹	–	۲۴۶۶۷/۸۰	–	۱۹	–	۴۱۳/۵۳	–	۱۹	مجموع
–	–	۰/۸۹	–	–	–	۰/۸۶	–	–	–	۰/۹۴	–	R^2
–	–	۰/۸۷	–	–	–	۰/۸۳	–	–	–	۰/۹۲	–	R^2_{adjust}



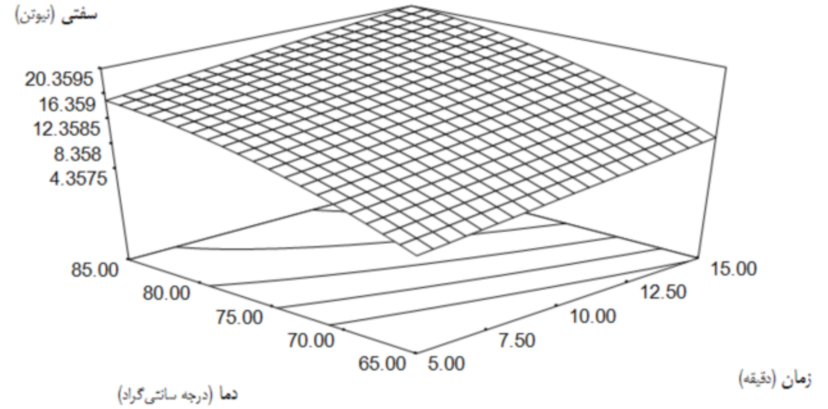
شکل ۱- منحنی سطح پاسخ برای اثر مقدار روغن گیاهی و دمای پخت (زمان پخت= ۱۰ دقیقه)

- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر قابلیت ذوبی پنیر پروسس

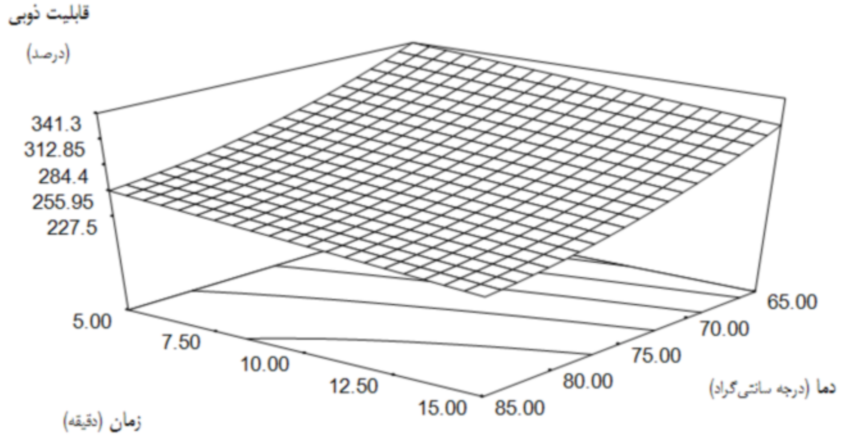
آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرایند را بر قابلیت ذوبی نشان می دهد که اثرات خطی دما (p<۰/۰۰۰۱)، زمان پخت (p<۰/۰۱) و عبارت درجه دوم دمای پخت (p<۰/۰۵) معنی‌دار بودند. با توجه به جدول ۳، در بین عوامل متغیر فوق، بیشترین تأثیر بر خواص ذوبی را دمای پخت داشت. مطابق با شکل ۳ در هر دو زمان پایین (۵ دقیقه) و 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.

- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خاصیت پس دهی روغن پنیر پروسس

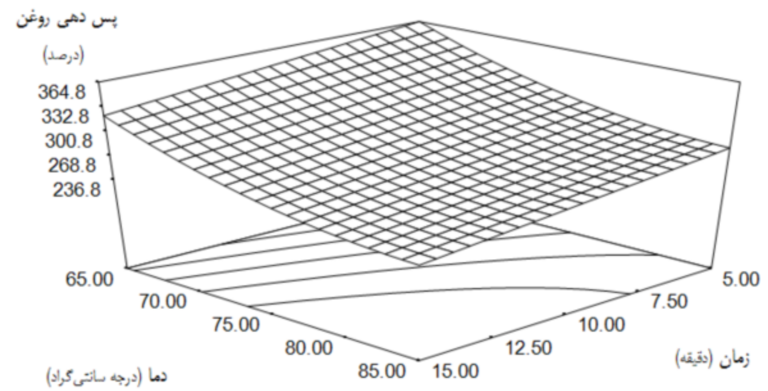
آنالیز واریانس اثر کلی متغیرهای فرایند خاصیت پس دهی روغن نشان می‌دهد که اثرات خطی دمای پخت (p<۰/۰۰۰۱)، زمان پخت (p<۰/۰۱) و عبارت درجه دوم دمای پخت (p<۰/۰۵) معنی‌دار بودند. با توجه به جدول ۳ در بین عوامل متغیر فوق، بیشترین تاثیر بر خاصیت پس‌دهی روغن را همانند خواص ذوبی، دمای پخت داشت. مطابق با شکل ۴، 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.



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 زمان و دمای پخت (روغن گیاهی= ۳۰ درصد) بر میزان قابلیت ذوبی



شکل ٤- 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 پس‌دهی روغن با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی نرم‌افزار 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 پروس آنالوگ برای روغن گیاهی ۲۰ درصد، دمای پخت ۸۵ درجه سانتیگرادو 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). Chauha و Srivastava (۲۰۰۹) به بررسی تاثیر 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 سفت ترین 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[1]، 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

پخت افزایش یابد، گروه‌های باردار و هیدروفوبی بی‌حفاظ موجود در سطح کازئین ها بیشتر گشته که این امر موجب اتصالات بیشتر پروتئینها با یکدیگر می گردد که متعاقباً سبب افزایش سفتی می شود. 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 گلبول‌های 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 گلبول‌های 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<۰/۰۵) 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 کازئین‌ها 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 می باشد 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 پنیرهای 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 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 پنیرهای 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 وهیدروژنی 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 تاثیرگذار 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

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 (Pisumsativum 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.

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 rheologyand 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.