



ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر پروسس تولیدی از کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت

پریسا قانمی^۱، محرم وزیری^{۲*}، فردین تمجیدی^۳

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران.

۲- استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سنندج، ایران.

۳- استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش به بررسی اثرات کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت بر میزان پس دهی روغن، چسبندگی، کار لازم برای غلبه بر چسبندگی و برش پنیر پروسس تولیدی پرداخته شد. نتایج به روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی مدل سازی و تجزیه و تحلیل شدند. بهینه سازی فرمولاسیون پنیر پروسس با استفاده از طرح مرکب مرکزی برای سه متغیر مستقل شامل پودر پروتئین نخود (۰، ۷/۵، ۱۵٪ وزنی / وزنی)، روغن ذرت (۰، ۸، ۱۶٪ وزنی / حجمی) و کازئینات سدیم (۰، ۲/۵، ۵٪ وزنی / وزنی) انجام شد. به طور کلی اثر همه متغیرها بر ویژگی های پس دهی روغن، چسبندگی، کار لازم برای غلبه بر چسبندگی و برش پنیر پروسس معنادار بود. با توجه به نتایج به دست آمده با افزایش سطوح روغن ذرت میزان پس دهی روغن نمونه های پنیر افزایش یافت. در برهمکنش روغن ذرت / کازئینات سدیم با افزایش درصد روغن ذرت و کازئینات سدیم کار مورد نیاز برای غلبه بر چسبندگی نمونه های پنیر به طور معناداری کاهش یافت. در برهمکنش پروتئین نخود / کازئینات سدیم با افزایش درصد پروتئین نخود کار لازم برای برش نمونه های پنیر به طور معناداری افزایش یافت؛ درحالی که افزودن کازئینات سدیم منجر به کاهش پارامتر مورد بررسی گردید. بنابراین، کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت مکمل های خوبی برای کاهش اثرات منفی همدیگر بر خواص پس دهی روغن، گسترش پذیری و کار لازم برای برش پنیر پروسس غنی شده هستند و استفاده همزمان این سه پارامتر در پنیر پروسس در نهایت باعث بهبود ویژگی های ذکر شده آن درمقایسه با نمونه شاهد شد. نتایج این مطالعه برای توسعه پنیر و محصولات لبنی فراسودمند حاوی کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت مطلوب است.

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹

کلمات کلیدی:

پنیر پروسس،

روغن ذرت،

پروتئین نخود،

کازئینات سدیم،

خواص رئولوژیکی

DOI: 10.48311/fsct.2025.83448.0.

* مسئول مکاتبات:

moharam.vaziri@gmail.com

۱-مقدمه

پنیر به عنوان یک منبع غذایی با ارزش از قدیمی‌ترین و مهم‌ترین محصولات لبنی محسوب می‌شود که به دلیل مصرف آسان آن، به تنهایی یا به همراه غذا بسیار مورد توجه قرار گرفته و تقاضای زیادی دارد [۱]؛ ولی فرآیند تولید پنیر زمان بر و انرژی زیادی لازم دارد و همچنین همراه با افزایش قیمت شیر، پنیر نیز به محصولی گران تبدیل شده است. علاوه بر این پنیر حاوی محتوای کلسترول و چربی اشباع شده بالا بوده و با افزایش خطر بیماری قلبی مرتبط است. از این رو توسعه یک محصول پنیری براساس منابع گیاهی که از ویژگی‌های منحصر به فرد پنیر طبیعی با ویژگی‌هایی نظیر خواص کششی یا رشته‌ای در هنگام ذوب شدن است تقلید می‌کند، مورد توجه محققان قرار گرفته است [۲].

پنیر پروسس حاصل ترکیب پنیر طبیعی در حضور نمک‌های امولسیون کننده (مانند فسفات سدیم، سیترات‌ها)، سایر مواد لبنی و غیر لبنی و در ادامه حرارت دادن و مخلوط کردن مداوم برای تشکیل محصولی همگن با ماندگاری طولانی تولید می‌باشد [۳]. نمک‌های امولسیون کننده مورد استفاده با حرارت دادن و برش، پل‌های فسفات کلسیم را شکسته، تا مولکول‌های پاراکازئین را به هم متصل کنند و در نتیجه کازئین محلول، ساختار شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد که مسئول ویسکوزیته پنیر پروسس است. در حین حرارت دادن، پاراکازئینات روغن را امولسیون می‌کند و یک امولسیون پایدار روغن در آب تشکیل می‌دهد، فرآیندی که به آن خامه زنی می‌گویند. این فرآیند یک محصول همگن با ماندگاری طولانی تشکیل می‌دهد، اما به دلیل افزودن نمک‌های امولسیون کننده (سدیم) منجر به سطوح نسبتاً بالای سدیم در مقایسه با پنیر سخت می‌شود [۴].

کازئینات سدیم از طریق افزودن هیدروکسید سدیم به کازئین اسیدی تولید می‌شود و در واقع مخلوطی از مونومرهای کازئین و دانه‌های کوچک است که پس از حذف کلونید فسفات کلونیدی از میسل‌های کازئین ایجاد می‌شود [۵]. کازئینات سدیم در محصولات غذایی فرآوری شده به عنوان

منبع پروتئین و به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی، تغذیه‌ای و عملکردی آن استفاده می‌شود. امروزه به دلیل توانایی کازئینات سدیم در تشکیل کمپلکس‌های پروتئین - لیگاند و میسل کازئین، کاربرد آن به عنوان تثبیت کننده، کپسوله سازی، تهیه امولسیون، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی و سایر کاربردهای غذایی گسترش یافته است [۶]. کازئینات سدیم معمولاً در غذاهای پخته شده، غلات صبحانه، فرآورده‌های گوشتی، دسر، میان وعده‌های پفکی و پنیر پروسس استفاده می‌شود [۷]. به دلیل ماهیت آمفی دوست و ساختار نامنظم، کازئین‌ها می‌توانند به سرعت به سطح قطرات روغن جذب شوند و یک لایه ضخیم و درهم پیچیده تشکیل دهند که از قطرات تازه تشکیل شده در برابر لخته شدن محافظت می‌کند. در مقایسه با پروتئین‌هایی همچون پروتئین سویا و پروتئین آب پنیر، امولسیون‌های روغن ذرت تثبیت شده توسط کازئینات سدیم در pH برابر ۳ پایداری اکسیداتیو بیشتری را نشان می‌دهند. استفاده از کازئینات سدیم در تهیه پنیر پروسس باعث: pH بالاتر، سفتی کمتر، درجه امولسیون چربی بالاتر، درجه تفکیک کازئین بالاتر می‌شود. از کازئینات سدیم به عنوان یک جایگزین جزئی برای پروتئین در پنیر استفاده می‌شود که به طور مشابه به تشکیل و تثبیت پنیرهای پروسس کمک می‌کند [۸].

پروتئین نخود شامل چهار دسته اصلی (گلوبولین، آلبومین، پرولامین و گلوآلین) می‌باشد که در آن گلوبولین و آلبومین پروتئین‌های اصلی ذخیره سازی در دانه نخود هستند. پروتئین نخود دارای پروفایل اسید آمینه متعادل با سطح لیزین بالا است. ترکیب و ساختار پروتئین نخود و همچنین شرایط فرآوری به طور قابل توجهی بر خواص فیزیکی و شیمیایی آن مانند هیدراتاسیون، ویژگی‌های رئولوژیکی و ویژگی‌های سطحی تأثیر می‌گذارد. پروتئین نخود با در دسترس بودن، هزینه کم، ارزش غذایی و فواید سلامتی، می‌تواند به عنوان جایگزینی جدید و موثر برای جایگزینی پروتئین‌های حیوانی در کاربردهای غذایی استفاده شود [۹]. همچنین استفاده از پروتئین نخود در سیستم غذایی نظیر کپسوله سازی برای مواد

در فرمولاسیون، زمان اولین چکیدن بستنی را طولانی‌تر کرد. تفاوت معناداری در سختی و چسبندگی بستنی پروتئین نخودی با تفاوت در محتوای اینولین در فرمولاسیون محصول ثبت شد.

هدف از این تحقیق، ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر پروسس تولیدی از کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت به منظور دستیابی به فرمولاسیونی مناسب جهت دستیابی به تولید محصولی سلامت بخش، با کیفیت و ماندگاری بالا است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

به منظور انجام آزمایشات، پنیر فتا با مشخصات (pH: ۴/۹۹، اسیدیته: ۱/۳٪، رطوبت: ۶۲/۲٪، چربی: ۱۵٪، پروتئین: ۱۳/۱۸، نمک: ۲/۸۵٪) تهیه شد. پروتئین نخود از شرکت OEM/ODM کشور چین با مشخصات (رطوبت: ۸٪، تعداد کل باکتری ها: 10^6 Wcfu/g، خاکستر: ۵/۶٪، پروتئین: ۸۰٪، میزان حلالیت: خوب) تهیه گردید. روغن ذرت تصفیه شده از شرکت لادن ایران تهیه گردید. همچنین نمک آمولسیفایر ۹۰SS (سدیم پلی فسفات) از شرکت CORINO تایلند تهیه گردید.

۲-۲- تهیه پنیر پروسس

به منظور تهیه پنیر پروسس، ابتدا درصد ماده خشک و چربی پنیر پایه (پنیر فتا) محاسبه گردید؛ سپس میزان مشخصی از پنیر پایه وزن و براساس میزان ماده خشک بدون چربی آن درصدهای مشخص از پودر پروتئین نخود (۰، ۷/۵، ۱۵٪) و روغن ذرت (۰، ۸، ۱۶٪) را افزوده و در دمای نزدیک به دمای محیط به مدت ۱-۲ ساعت مخلوط شد تا یک خمیر کاملاً نرم و هموزن به دست آمد؛ سپس نمک امولسیفایری کازئینات سدیم (۰، ۲/۵، ۵٪) با سایر مواد مجدداً به خوبی مخلوط و وارد دستگاه پخت شدند. مخلوط حاصله در دستگاه پخت بدون ایجاد تنش برشی تا رسیدن دمای مخلوط به ۷۵-۷۰ درجه سانتی گراد همزده شد و در ادامه فرایند اختلاط با تنش برشی (سرعت ۳۰۰۰ RPM) در دمای ۸۵ درجه سانتی گراد به مدت ۵-۴ دقیقه انجام گرفت؛ پس از

فعال زیستی، فیلم‌های خوراکی، محصولات اکستروود شده و جایگزینی برای آرد غلات، چربی‌ها و پروتئین‌های حیوانی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۰].

ذرت (*Zea mays L.*) گیاهی علفی و یکی از مهمترین محصولات غلات است که در بین محصولات کشاورزی از نظر سطح زیر کشت رتبه سوم را در جهان دارد. در بین روغن‌های گیاهی، روغن ذرت از نظر تولید سالانه رتبه دهم را به خود اختصاص داده و ۲٪ روغن تولیدی را در سراسر جهان به خود اختصاص داده است [۱۱]. روغن دانه ذرت کمی مایل به زرد، با بو و طعم ملایم و مشخص است. این روغن منبع مهمی از لیپیدهای فعال زیستی مانند: فیتواسترول ها، توکوفرول ها، توکوترینول ها و کاروتنوئیدها است و در میان روغن‌های گیاهی، روغن ذرت از دارای کیفیت تغذیه‌ای و پایداری اکسیداسیون نسبتاً بالاتری است [۱۲]. همچنین روغن دانه ذرت در گروه روغن‌های گیاهی با سطوح بالای اسیدهای لینولئیک و اولئیک قرار دارد. حدود ۶۰٪، ۲۵٪ و ۱۵٪ از اسیدهای چرب آن به ترتیب چند غیراشباع، تک غیراشباع و اشباع هستند. در میان اسیدهای چرب غیراشباع، روغن ذرت به طور متوسط دارای ۳۰/۵٪ اسید اولئیک (C18:1)، ۵۲٪ اسید لینولئیک (C18:2) و تنها ۱٪ اسید لینولئیک (C18:3) است. ترکیب اسیدهای چرب روغن ذرت مانند سایر روغن‌های گیاهی به عواملی مانند ژنوتیپ، شرایط آب و هوایی و فصل رشد بستگی دارد [۱۳]. تا کنون تحقیقات مشابه فراوانی در راستای موضوع این پژوهش انجام شده است که می‌توان به برخی از این موارد اشاره نمود. Yang و همکاران (2021) [۱۴]، در مطالعه‌ای به مقایسه خواص فیزیکوشیمیایی و ترکیبات طعمی ماست مبتنی بر پروتئین نخود و پروتئین ماش پرداختند. نتایج نشان داد که پروتئین ماش می‌تواند برای تهیه جایگزین‌های ماست گیاهی با کیفیت بهتر نسبت به پروتئین نخود استفاده شود. همچنین Narala و همکاران (2022) [۱۵]، در پژوهشی اینولین را به عنوان جایگزین چربی در بستنی گیاهی پروتئین نخود و تاثیر آن بر خواص بافتی و ویژگی‌های حسی را بررسی کردند که تایید نشان داد که افزایش محتوای اینولین

گذشت مدت زمان عنوان شده عمل تخلیه و بسته‌بندی در ظرف‌های ۱۵۰ گرمی به صورت داغ انجام و عمل سرد کردن بلافاصله در سردخانه به مدت ۳ الی ۴ ساعت تا دمای ۱۰- ۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد [۱۶].

۳-۲- میزان پس دهی روغن

برای تعیین مقدار ذوب پذیری و میزان پس دهی روغن از روش پردازش تصویر استفاده گردید؛ به این صورت که نمونه‌های پنیر با ضخامت ۵ mm و قطر ۲۲ mm در پلیت حاوی کاغذ صافی قرار داده و در اتاقک با نورپردازی مجهز به لامپ فلورسنس ۳۰ وات و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری و با بزرگنمایی ۲X توسط دوربین عکاسی دیجیتالی (Canon-Power Shot A550) عکس برداری صورت گرفت. پس از عکس برداری، نمونه‌ها در آون با دمای ۹۵ درجه به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده شدند و بعد از گذراندن مدت زمان عنوان شده از آون خارج و مجدداً عکس برداری از نمونه‌ها صورت گرفت. در نهایت تصاویر گرفته شده توسط نرم افزار image J پردازش و میزان مساحت نمونه‌های پنیر قبل و بعد از آون گذاری و همچنین مساحت هاله روغن پس داده شده به کاغذ صافی محاسبه و مطابق رابطه (۱-۲) میزان پس دادن روغن نمونه‌های پنیر محاسبه گردید.

$$\text{رابطه (۱-۲)} \quad \text{POA} = (A_f/A_0) \times 100$$

که A_f مساحت سطح روغنی شده کاغذ صافی، A_0 سطح اولیه نه و MD_f درصد سطح روغنی شده است.

۳-۲-۴- آزمون چسبندگی، غلبه بر چسبندگی (گسترش

پذیری) و برش

به منظور ارزیابی گسترش پذیری نمونه‌های پنیر نیز از دستگاه بافت سنج TA.XT plus ساخت انگلستان استفاده گردید؛ که بدین منظور ماده غذایی (پنیر پروسس) در قیف دستگاه قرار داده و پروب مخروطی شکل با سرعت ۳ میلی متر بر ثانیه وارد قیف شده و پس از طی مسافت ۲۳ میلی‌متری، منحنی نیرو-زمان توسط نرم افزار رسم گردید و پارامترهای مورد آنالیز شامل: چسبندگی، کار لازم برای غلبه بر چسبندگی (گسترش پذیری) و کار لازم برای برش اندازه گیری شدند [۱۷].

۳- آنالیز آماری

بهینه سازی فرمولاسیون پنیر پروسس با استفاده از طرح آماری مرکب مرکزی (جدول ۱) در سه سطح برای سه متغیر مستقل شامل پودر پروتئین نخود (۰، ۷/۵، ۱۵/۰)، روغن ذرت (۰، ۸، ۱۶/۰) و کازئینات سدیم (۰، ۲/۵، ۵/۰) انجام شد. ویژگی‌های میزان پس دهی روغن، چسبندگی و غلبه بر چسبندگی و همچنین برش نمونه‌های پنیر با استفاده از روش تجزیه و تحلیل واریانس در نرم افزار Design Expert 11 مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی صحت مدل‌های پیش بینی شده آزمون‌هایی نظیر Lack of fit، CV%，(R²)، (Adj-R²) انجام شد. سطح معنی‌داری فاکتورها ۹۵٪ در نظر گرفته شد.

Table 1: Experimental design of response surface in the form of central composite design

Run	%Corn Oil	%Pea Protein Powder	%Sodium Caseinate
1	8.00	15.00	2.50
2	8.00	7.50	2.50
3	8.00	7.50	2.50
4	8.00	7.50	2.50
5	8.00	7.50	2.50
6	8.00	7.50	2.50
7	8.00	7.50	5.00
8	0.00	15.00	0.00
9	16.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	5.00

11	0.00	0.00	0.00
12	8.00	7.50	0.00
13	16.00	15.00	0.00
14	0.00	7.50	2.50
15	8.00	0.00	2.50
16	0.00	15.00	5.00
17	16.00	15.00	5.00
18	16.00	7.50	2.50
19	16.00	0.00	5.00

۴- نتایج و بحث

۴-۱- میزان پس دهی روغن پنیر

میزان پس دهی روغن نمونه‌های پنیر پروسس حاوی درصدهای مختلف روغن ذرت، پروتئین نخود و کازئینات سدیم در (شکل ۱) آورده شده است. مطابق (شکل ۱) و نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲)، اثر تکی روغن ذرت، پروتئین نخود، کازئینات سدیم و برهمکنش روغن ذرت/ کازئینات سدیم بر میزان پس دهی پنیر پروسس معنادار بود ($P \leq 0.05$)؛ براساس نتایج حاصله با افزایش سطوح روغن ذرت میزان پس دهی روغن نمونه‌های پنیر افزایش یافت؛ و افزودن سطوح مختلف کازئینات سدیم کاهش در میزان پس دهی روغن مشاهده شد. مطابق مطالعات صورت گرفته روغن‌های گیاهی در ماتریکس پنیر پراکنده شده و باعث فروپاشی ماتریکس پروتئین می‌شوند که این کار منجر به

تشکیل امولسیون ضعیف و خروج روغن از ساختار پروتئین شده در نتیجه، میزان پس دهی روغن افزایش می‌یابد [۱۸]. همچنین با افزایش سطوح کازئینات سدیم در فرمولاسیون پنیر پروسس تولیدی، به دلیل دارا بودن فعالیت سطحی ویژه، در اثر دناتوراسیون، ایجاد گروه‌های غیر قطبی و با تشکیل یک لایه سبب محافظت از شکسته شدن امولسیون و جلوگیری از بهم پیوستن و خروج ذرات چربی از محصول تولیدی می‌شوند [۱۶]. Ahmed و همکاران (2019) [۱۹]، بیان کردند که سطوح بالای روغن بذر کتان به عنوان جایگزینی برای کره در پنیر پروسس منجر به افزایش میزان پس دهی روغن گردید. Teng و همکاران (2019) [۲۰]، گزارش کردند که با افزودن روغن‌های گیاهی مختلف (روغن ذرت، آفتابگردان، برنج، نارگیل) در پنیر خامه‌ای پروسس میزان پس دهی روغن به خصوص در نمونه حاوی روغن آفتابگردان افزایش یافت.

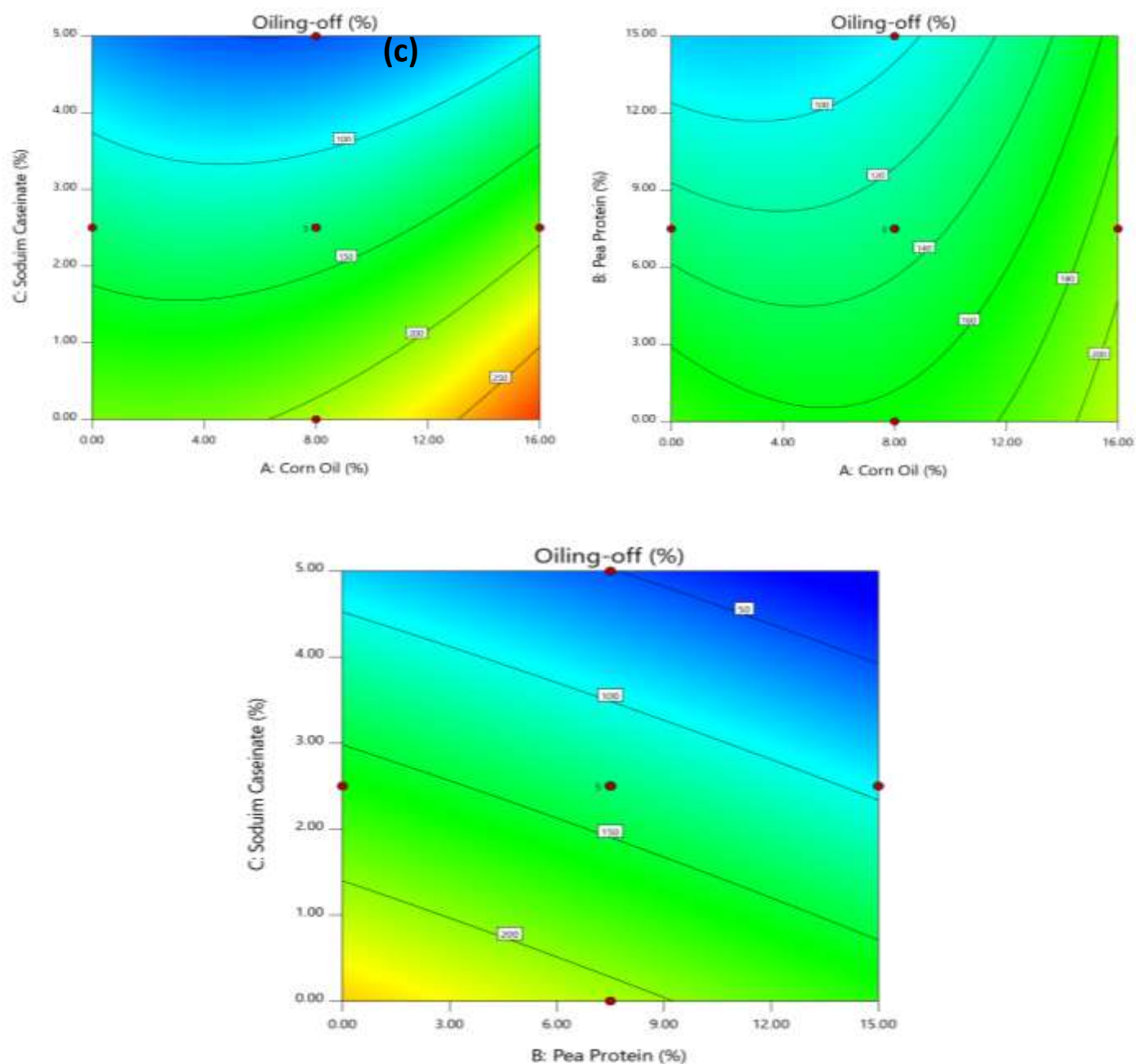


Fig 1: (a, b, c) Counterplot effect of pea protein, corn oil and sodium caseinate on the oiling - off processed cheese

Table 2: Regression coefficient of Oiling - off in processed cheese

Factor	Oiling - off (%)
Model	10061.08**
Intercept	239.36
A- corn oil	-3.28**
B- Pea protein	-6.08**
C- Sodium caseinate	-24.14**

AB	0.2
AC	-0.8*
BC	0.03
A ²	0.47*
B ²	-0.02
C ²	-0.23
R ²	0.97
Adj-R ²	0.94
Lack of Fit	2.87 ^{ns}
C.V%	0.76

*: $p \leq 0.05$; **: $p < 0.01$; ns(non-significant) $p \geq 0.05$

غلبه بر چسبندگی به دلیل کاهش کار مورد نیاز برای غلبه بر نیروی جاذبه بین سطح محصول و سطح پروب به دلیل کاهش چسبندگی محصول است و همچنین علاوه بر این ممکن است به دلیل تشکیل ژل ضعیف توسط ترکیبات مورد استفاده در فرمولاسیون پنیر باشد [۲۱]. نتایج مشابهی در خصوص کاهش چسبندگی و کار لازم برای غلبه بر چسبندگی توسط Giri و همکاران (2014b) [۲۲]، با افزودن اینولین به عنوان جایگزین چربی و یک فیبر غذایی با ارزش غذایی بالا در پنیر پروسس گسترده‌ی بیان شده است. مدلی که برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفت، یک مدل معنی‌دار با Lack of Fit غیر معنی‌دار، R^2 و $Adj-R^2$ به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۹۸ و ضریب تغییرات (CV) پایین بود که نشان دهنده کارایی مدل است.

۴-۲- کار لازم برای غلبه بر چسبندگی^۱

بر اساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳)، اثر تکی فاکتورهای روغن ذرت، پروتئین نخود، کازئینات سدیم و همچنین برهمکنش روغن ذرت/ کازئینات سدیم بر کار لازم برای غلبه بر چسبندگی پنیر پروسس معنادار بود ($P \leq 0.05$). مطابق (شکل ۲)، در برهمکنش روغن ذرت/ کازئینات سدیم با افزایش درصد روغن ذرت و کازئینات سدیم کار مورد نیاز برای غلبه بر چسبندگی نمونه‌های پنیر به طور معناداری کاهش یافت؛ همچنین در برهمکنش روغن ذرت/ پروتئین نخود و پروتئین نخود/ کازئینات سدیم افزایش فاکتورهای عنوان شده بر پارامتر کار لازم برای غلبه بر چسبندگی از لحاظ آماری معنادار نبودند ($P > 0.05$). کاهش کار لازم برای

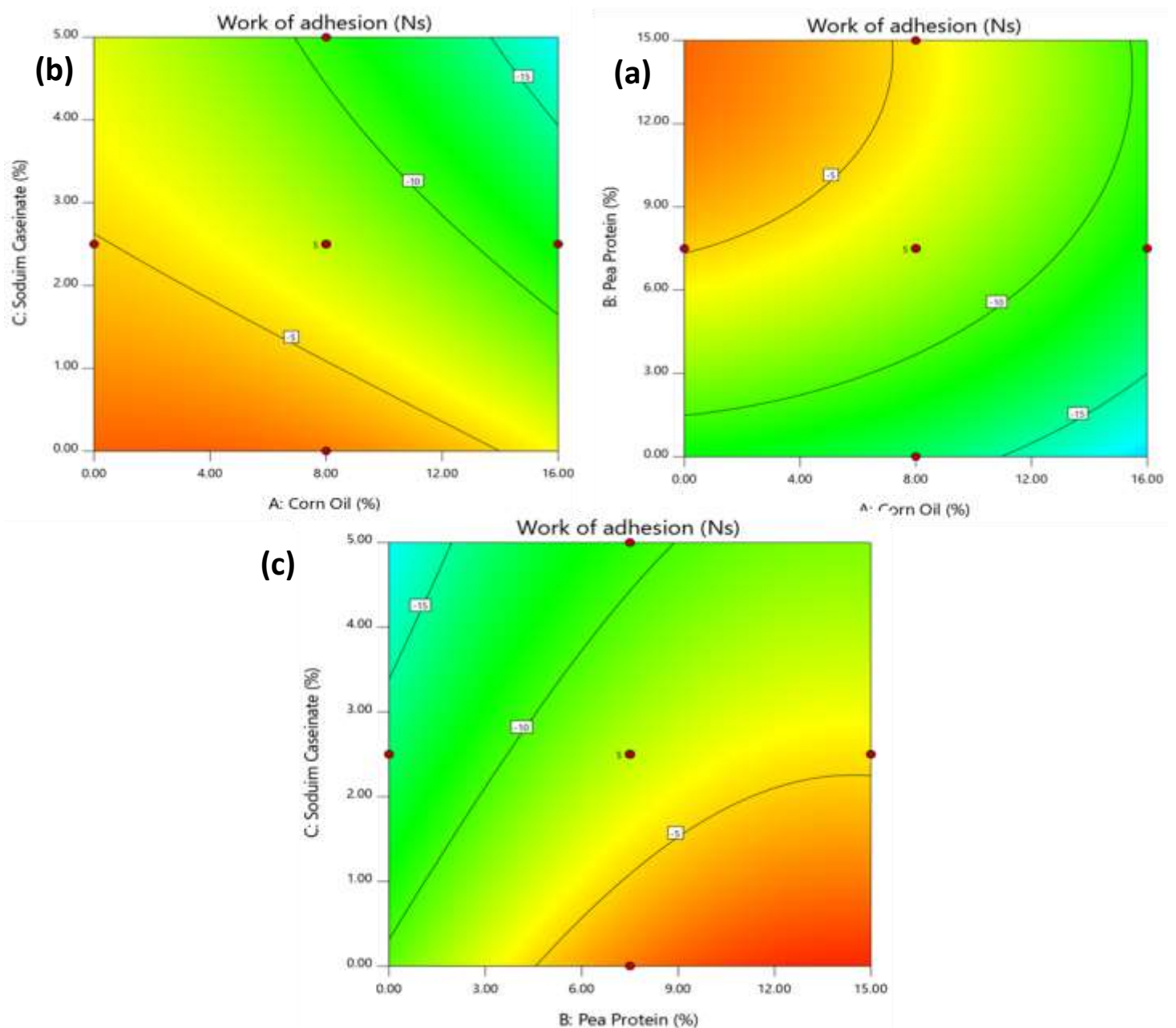


Fig 2: (a, b, c) Counterplot effect of pea protein, corn oil and sodium caseinate on the Work of adhesion processed cheese

برهمکنش پروتئین نخود/ کازئینات سدیم بر کار لازم برای برش پنیر پروسس معنادار بود ($P \leq 0.05$). همانگونه که در (شکل ۳) نشان داده شده است؛ در برهمکنش پروتئین نخود/ کازئینات سدیم با افزایش درصد پروتئین نخود کار لازم برای برش نمونه‌های پنیر به طور معناداری افزایش یافت؛ درحالی‌که

۴-۳- کار لازم برای برش^۲

براساس نتایج آنالیز واریانس (جدول ۳) اثر ترکی فاکتورهای روغن ذرت، پروتئین نخود، کازئینات سدیم و همچنین

2-Work of shear

افزودن کازئینات سدیم منجر به کاهش پارامتر مورد بررسی گردید؛ علت این امر را می‌توان به این صورت بیان کرد که علاوه بر افزودن پروتئین نخود به فرمولاسیون پنیر پروسس، پروتئین کازئین نیز در ساختار پنیر پروسس وجود دارد که در اثر برهمکنش پروتئین - پروتئین ساختار فشرده و متراکمی حاصل شده؛ لذا کار لازم برای برش افزایش می‌یابد، از طرفی در اثر افزایش بیش از حد میزان پروتئین در ساختار پنیر پروسس منجر به تضعیف شبکه پروتئینی شده، بنابراین با افزودن کازئینات سدیم برهمکنش پروتئینی در ساختار

بافتی ضعیف شده و کار لازم برای برش کاهش می‌یابد (شکل ۳) [۲۳]. از طرفی در برهمکنش روغن ذرت/ پروتئین نخود و روغن ذرت/ کازئینات سدیم افزایش فاکتورهای عنوان شده بر پارامتر کار لازم برای برش از لحاظ آماری معنادار نبودند ($P > 0.05$). مدلی که برای پیش بینی مورد استفاده قرار گرفت، یک مدل معنی‌دار با Lack of Fit غیر معنی‌دار، R^2 و $Adj-R^2$ به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۵ و ضریب تغییرات (CV) پایین بود که نشان دهنده کارایی مدل است.

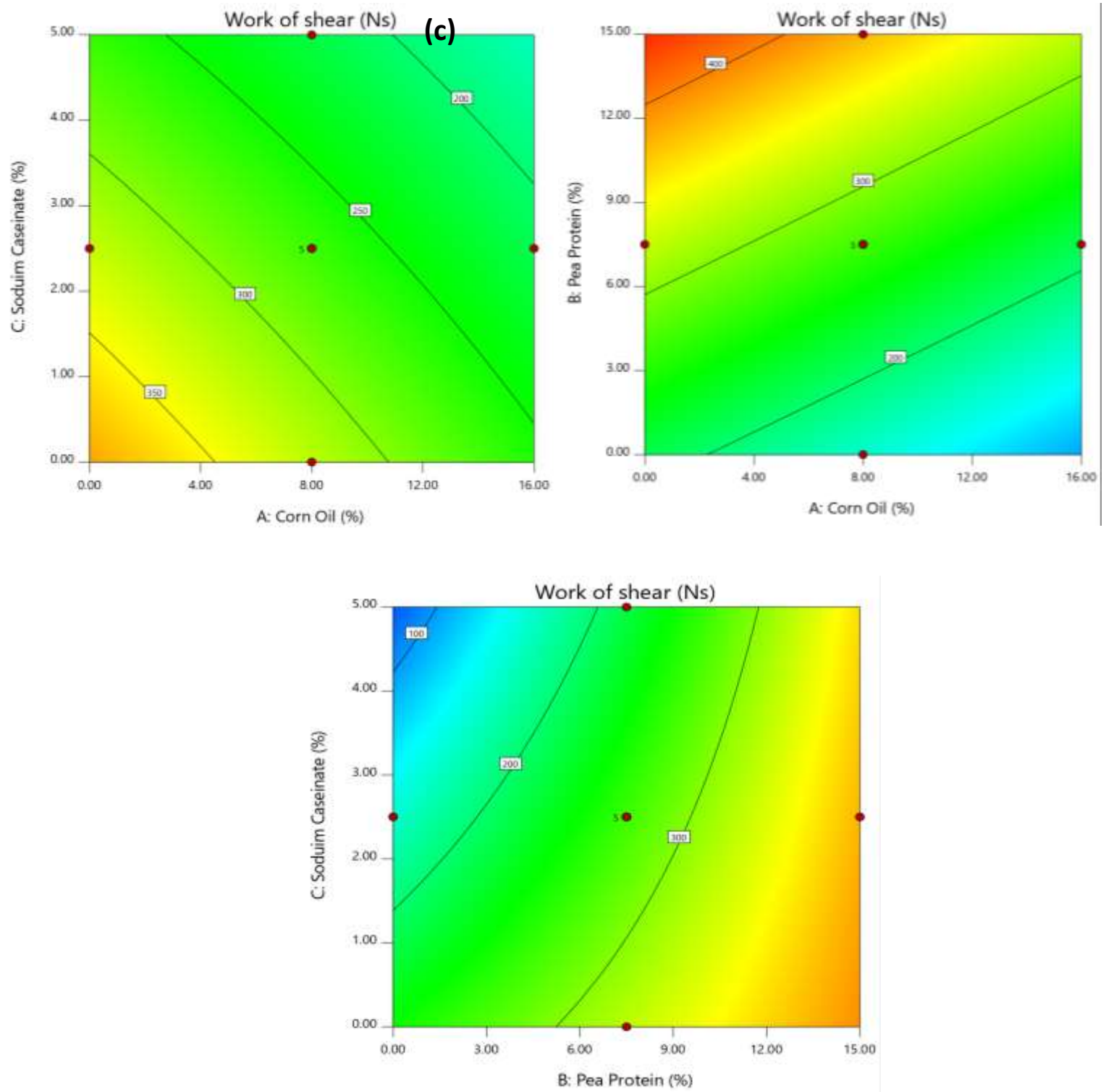


Fig 3: (a, b, c) Counterplot effect of pea protein, corn oil and sodium caseinate on the Work of shear processed cheese

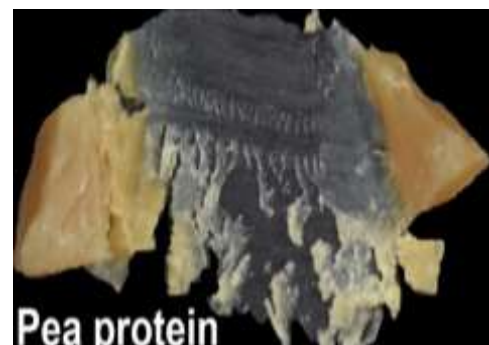
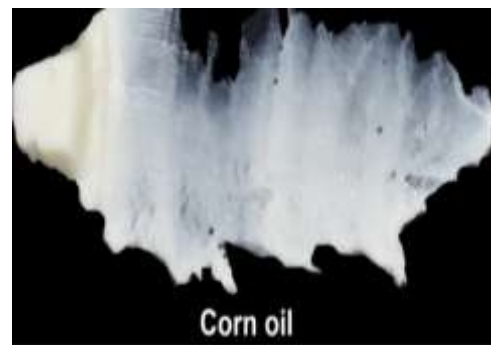
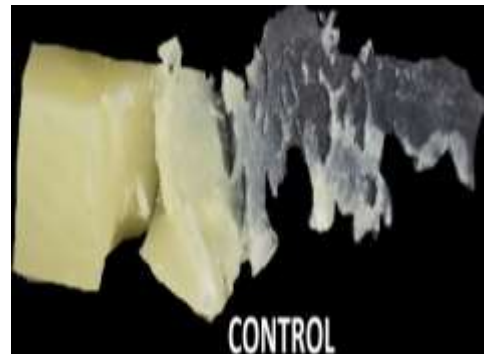


Fig 5: A view of the shear stress of the cheese texture of the control process, with corn oil, pea protein and sodium caseinate

Fig 4: A view of the shear stress of processed cheese tissue containing the interactions of corn oil, pea protein and sodium caseinate.

۴-۴- چسبندگی^۳

مطابق (جدول ۳) و نتایج آنالیز واریانس، اثر تکی روغن ذرت، پروتئین نخود، کازئینات سدیم و برهمکنش روغن ذرت/ کازئینات سدیم بر میزان چسبندگی پنیر پروسس معنادار بود ($P \leq 0.05$). همانطور که در (شکل ۶) نشان داده شده است؛ در برهمکنش روغن ذرت/ کازئینات سدیم، با افزایش درصد افزودن روغن ذرت میزان چسبندگی نمونه- های پنیر کاهش یافت؛ همچنین با افزودن کازئینات سدیم تغییر قابل توجهی در چسبندگی نمونه‌های پنیر مشاهده نشد؛ علت این امر را می‌توان به درجه برهمکنش بین ماتریکس پروتئین و فاز لیپیدی نسبت داد که با افزایش درصد روغن ذرت برهمکنش بین دوفاز کمتر شده و لذا چسبندگی کاهش

می‌یابد [۲۴]. نتایج مشابهی درخصوص کاهش چسبندگی توسط Szafrńska & Sołowiej (2020) [۲۵]، با افزودن فیبرهای مختلف (بامبو، افاقیا، سیب زمینی یا مرکبات) به عنوان جایگزین چربی در سس‌های پنیر فرآوری شده برپایه کازئین اسیدی بیان شده است. از طرفی در برهمکنش پروتئین نخود/روغن ذرت و پروتئین نخود/ سدیم کازئینات با افزایش سطوح فاکتورهای عنوان شده پارامتر چسبندگی نمونه‌ها از لحاظ آماری معنادار نبود ($P > 0.05$). مدل مورد استفاده برای پیش‌بینی، یک مدل معنی‌دار با Lack of Fit غیر معنی‌دار، R^2 و $Adj-R^2$ به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۹۱ و ضریب تغییرات (CV) پایین بود که نشان دهنده کارایی و مناسب بودن مدل بدست آمده است.

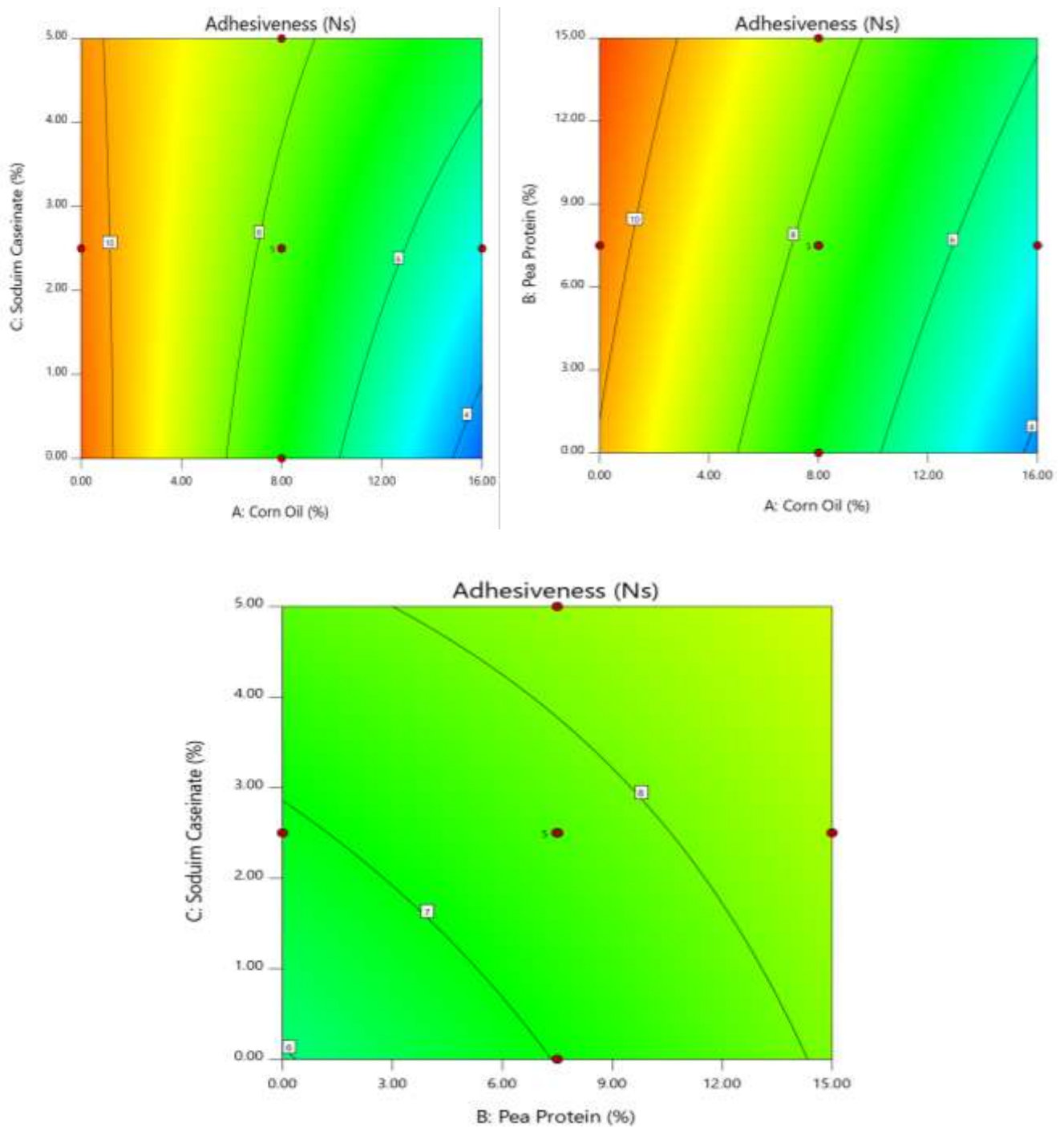


Fig 6: (a, b, c) Counterplot effect of pea protein, corn oil and sodium caseinate on the Adhesiveness processed cheese

Table 3: Regression coefficients of the extensibility properties of processed cheese

Factor	Adhesiveness	Work of adhesion	Work of shear
Model	1109.27**	56.15**	3155.43**
Intercept	-22.02	-9.16	311.35
A- corn oil	-0.15**	0.1**	-7.82**
B- Pea protein	-2.35**	1.2**	9.97**
C- Sodium caseinate	-6.45**	-1.18**	-38.24**
AB	0.09*	$-6.87 \times 10^{-0.03}$	-0.02
AC	0.3*	-0.08**	0.37
BC	-0.24	$8 \times 10^{-0.04}$	1.91**
A ²	0	-0.01	0
B ²	0	-0.03**	0
C ²	0	-0.06	0
R ²	0.93	0.99	0.97
Adj-R ²	0.89	0.98	0.95
Lack of Fit	2.17 ^{ns}	0.34 ^{ns}	4.46 ^{ns}
C.V%	0.77	0.94	0.91

p ≥ 0.05 :ns(non-significant) p < 0.01:*** p ≤ 0.05:*

معناداری افزایش یافت؛ درحالیکه افزودن کازئینات سدیم منجر به کاهش پارامتر مورد بررسی گردید؛ همچنین با افزایش درصد روغن ذرت و کازئینات سدیم کار مورد نیاز برای غلبه بر چسبندگی نمونه‌های پنیر به طور معناداری کاهش یافت. بنابراین، کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت مکمل‌های خوبی برای کاهش اثرات منفی همدیگر بر خواص پس دهی روغن، گسترش پذیری و کار لازم برای برش پنیر پروسس غنی شده هستند و استفاده همزمان این دو در پنیر پروسس در نهایت باعث بهبود ویژگی‌های ذکر شده آن درمقایسه با نمونه شاهد شد. نتایج این مطالعه برای توسعه پنیر و محصولات لبنی فراسودمند حاوی کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت مطلوب است.

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه به بررسی ویژگی‌های میزان پس دهی روغن، گسترش پذیری (چسبندگی) - کار لازم برای غلبه بر چسبندگی) و کار لازم برای برش پنیر پروسس تولیدی از کازئینات سدیم، پروتئین نخود و روغن ذرت پرداخته شد. با توجه به نتایج به دست آمده میزان افزایش روغن ذرت سبب افزایش در میزان پس دهی روغن پنیر پروسس تولیدی دارد و افزایش کازئینات سدیم نتیجه عکس به همراه دارد. همچنین با افزایش درصد روغن ذرت میزان چسبندگی نمونه‌های پنیر کاهش یافت و با افزودن کازئینات سدیم تغییر قابل توجهی در چسبندگی نمونه‌های پنیر مشاهده نشد. در برهکشی پروتئین نخود/ کازئینات سدیم با افزایش درصد پروتئین نخود کار لازم برای برش نمونه‌های پنیر به طور

۶- منابع

- [1] Vásquez, N., Magán, C., Oblitas, J., Chuquizuta, T., Avila-George, H., & Castro, W. (2018). Comparison between artificial neural network and partial least squares regression models for hardness modeling during the ripening process of Swiss-type cheese using spectral profiles. *Journal of Food Engineering*, 219, 8-15.
- [2] Mohd Shukri, A., Alias, A. K., Murad, M., Yen, K. S., & Cheng, L. H. (2022). A review of natural cheese and imitation cheese. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), e16112.
- [3] Solhi, P., Azadmard-Damirchi, S., Hesari, J., & Hamishehkar, H. (2020). Production of the processed cheese containing tomato powder and evaluation of its rheological, chemical and sensory characteristics. *Journal of food science and technology*, 57, 2198-2205.
- [4] Mozuraityte, R., Berget, I., Mahdalova, M., Grønsberg, A., Øye, E. R., & Greiff, K. (2019). Sodium reduction in processed cheese spreads and the effect on physicochemical properties. *International Dairy Journal*, 90, 45-55.

- [5] Jahromi, M., Niakousari, M., Golmakani, M. T., Ajallouecian, F., & Khalesi, M. (2020). Effect of dielectric barrier discharge atmospheric cold plasma treatment on structural, thermal and techno-functional characteristics of sodium caseinate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102542.
- [6] Kumar, C. M., Sabikhi, L., Singh, A. K., Raju, P. N., Kumar, R., & Sharma, R. (2019). Effect of incorporation of sodium caseinate, whey protein concentrates and transglutaminase on the properties of depigmented pearl millet-based gluten free pasta. *LWT*, 103, 19-26.
- [7] Moreira, T. C. P., Pereira, R. N., Vicente, A. A., & da Cunha, R. L. (2019). Effect of Ohmic heating on functionality of sodium caseinate-A relationship with protein gelation. *Food research international*, 116, 628-636.
- [8] Cheng, H., Fan, Q., Liu, T., & Liang, L. (2020). Co-encapsulation of α -tocopherol and resveratrol in oil-in-water emulsion stabilized by sodium caseinate: Impact of polysaccharide on the stability and bioaccessibility. *Journal of Food Engineering*, 264, 109685.
- [9] Lu, Z. X., He, J. F., Zhang, Y. C., & Bing, D. J. (2020). Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(15), 2593-2605.
- [10] Ge, J., Sun, C. X., Corke, H., Gul, K., Gan, R. Y., & Fang, Y. (2020). The health benefits, functional properties, modifications, and applications of pea (*Pisum sativum* L.) protein: Current status, challenges, and perspectives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(4), 1835-1876.
- [11] Ranjbar, M., & Sajadi, K. (2019). Evaluation of the Oxidative Stability of Frying Oil, Mixed with Purslane and Corn Seed Oil. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 7(4), 393-408.
- [12] Barrera-Arellano, D., Badan-Ribeiro, A. P., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Corn oil: composition, processing, and utilization. In *Corn* (pp. 593-613). AACC International Press.
- [13] Ortiz-Islas, S., García-Lara, S., Preciado-Ortiz, R. E., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Fatty acid composition and proximate analysis of improved high-oil corn double haploid hybrids adapted to subtropical areas. *Cereal Chemistry*, 96(2), 182-192.
- [14] Yang, M., Li, N., Tong, L., Fan, B., Wang, L., Wang, F., & Liu, L. (2021). Comparison of physicochemical properties and volatile flavor compounds of pea protein and mung bean protein-based yogurt. *Lwt*, 152, 112390.
- [15] Narala, V. R., Orlovs, I., Jugbarde, M. A., & Masin, M. (2022). Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. *Applied Food Research*, 2(1), 100066.
- [16] Waziri, M., Mazaheri Tehrani, M., Mortazavi, S.A. and Ismaili, M. (2017). Evaluation of the formulation of expandable process cheese produced from coupe cheese, soy isolates and inulin. *Iran Journal of Food Sciences and Industries*, No. 80, Volume 15, Pages 171-188.
- [17] Guiné, R. P., Fontes, L., & Lima, M. J. (2019). Evaluation of texture in Serra da Estrela cheese manufactured in different dairies. *Open Agriculture*, 4(1), 475-486.
- [18] Shabani, J., Sarfarazi, M., Mirzaei, H., & Jafari, S. M. (2016). Influence of the sunflower oil content, cooking temperature and cooking time on the physical and sensory properties of spreadable cheese analogues based on UF white-brined cheese. *International Journal of Dairy Technology*, 69(4), 576-584.
- [19] Ahmed, S. O., Awad, R. A., Ali, M. A., & Rashid, M. R. (2019). Chemical and biological studies on spreadable processed cheese made using flaxseed oil as butter substitute. *Al-Azhar Journal of Agricultural Research*, 44(2), 35-48.
- [20] Giri, A., & Kanawjia, S. K. (2019). Functionality Enhancement in Cheese. In *Engineering Practices for Milk Products* (pp. 45-61). Apple Academic Press.
- [21] Giri, A., Kanawjia, S. K., & Khetra, Y. (2014). Textural and melting properties of processed cheese spread as affected by incorporation of different insulin levels. *Food and bioprocess technology*, 7, 1533-1540.
- [22] Teng, J. (2019). Application of different vegetable oils in processed cream cheese. *Food and Fermentation Industries*, 45(5), 101-107.
- [23] Nishinari, K., Fang, Y., Guo, S., & Phillips, G. O. (2014). Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. *Food hydrocolloids*, 39, 301-318.
- [24] Cunha, C. R., Grimaldi, R., Alcântara, M. R., & Viotto, W. H. (2013). Effect of the type of fat on rheology, functional properties and sensory acceptance of spreadable cheese analogue. *International journal of dairy technology*, 66(1), 54-62.
- [25] Szafrńska, J. O., Muszyński, S., & Sołowiej, B. G. (2020). Effect of whey protein concentrate on physicochemical properties of acid casein processed cheese sauces obtained with coconut oil or anhydrous milk fat. *LWT*, 127, 109434.



Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage: www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Evaluation of the rheological characteristics of processed cheese produced from sodium caseinate, pea protein and corn oil

Ghaneie, P. ¹, Vaziri, M. ^{*2}, Tamjidi, F. ³

1- PhD Student, Department of Food Science & Technology, College of Agriculture, Islamic Azad University Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Food Science & Technology, College of Agriculture, Islamic Azad University Sanandaj Branch, Sanandaj, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Food Science & Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received: 2023/04/24

Accepted: 2023/05/30

Keywords:

processed cheese
corn oil
pea protein
sodium caseinate
Rheological properties

DOI: 10.48311/fsct.2025.83448.0.

*Corresponding Author E-

moharam.vaziri@gmail.com

In this research, the effects of sodium caseinate, pea protein, and corn oil on oiling off, stickiness, Work of adhesion, and Work of shear process cheese were investigated. The results were modeled and analyzed using the response surface method in the form of central composite design. Optimization of processed cheese formulation using central compound design for three independent variables including pea protein powder (0, 7.5, 15%W/W), corn oil (0, 8, 16%W/V) and sodium caseinate (0, 2.5, 5%W/W) was done. In general, the effect of all variables on oil return characteristics, stickiness, Work of adhesion and Work of shear were significant. Based on the obtained results, the oiling off cheese samples increased with the increase of corn oil levels. In the corn oil/sodium caseinate interaction, with the increase in the percentage of corn oil and sodium caseinate, the Work of adhesion of the cheese samples decreased significantly. In the interaction of pea protein/sodium caseinate, with the increase in the percentage of pea protein, the work required to cut the cheese samples increased significantly. In the interaction of pea protein/sodium caseinate, with increasing the percentage of pea protein, the work required to cut the cheese samples increased significantly; while the addition of sodium caseinate led to a decrease in the studied parameter. Therefore, sodium caseinate, pea protein, and corn oil are good supplements to reduce each other's negative effects on the properties of oil return, expandability, and the work required to cut enriched processed cheese, and the simultaneous use of these three in processed cheese ultimately improves the properties of processed cheese. It was mentioned in comparison with the witness sample. The results of this study are favorable for the development of cheese and ultra-profitable dairy products containing sodium caseinate, pea protein and corn oil.