

## بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالوده از طریق تلفیق پروتئین‌های تغلیظ شده آب‌پنیر و تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز

عرفان دانش<sup>۱</sup>، حسین جوینده<sup>۲\*</sup>، مصطفی گودرزی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۷/۲۲)

### چکیده

پنیر فتای فراپالوده به عنوان محصول لبنی با ارزش، دارای بیشترین مصرف سرانه در بین انواع پنیر در ایران می‌باشد. با این وجود این نوع پنیر دارای مقادیر بالایی چربی است که تهدیدی برای سلامتی مصرف‌کنندگان می‌باشد. از سوی دیگر، کاهش میزان چربی این محصولات، با افت کیفیت رئولوژیک آنها همراه خواهد بود. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بهبود ویژگی‌های رئولوژیک پنیر فراپالایش کم‌چرب از طریق تلفیق پروتئین‌های کنستاتره پروتئین آب‌پنیر (WPC) (سطوح مختلف جایگزینی حجمی/حجمی ۰ تا ۱۶٪ محلول WPC با رتنتیت کم‌چرب) همراه با تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز (درمحدوده ۰ تا ۲ واحد آنزیم به‌ازای هر گرم پروتئین) صورت پذیرفت. یافته‌های آماری نشان داد کاهش چربی باعث افزایش پارامترهای تنش در نقطه‌گسیختگی، مدول یانگ، مدول ذخیره و مدول افت پنیر و به طور کلی نامطلوب شدن بافت پنیر فراپالایش کم‌چرب می‌شود. این در حالی بود که با تلفیق WPC در شبکه پنیر، نسبت رطوبت به پروتئین به‌گونه معنی‌داری افزایش پیدا کرد که به‌نوبه خود منجر به بهبود ویژگی‌های رئولوژیک شد. نتایج حاکی از آن بودند که تیمار آنزیمی ناتراوه بویژه در غلظت‌های بالای ترانس‌گلوتامیناز منجر به نامطلوب شدن بافت پنیر حاصله از نقطه نظر پارامترهای رئولوژیک مورد بررسی می‌شود. نتایج بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر فراپالایش کم‌چرب با روش سطح‌پاسخ نشان داد که تلفیق ۱۲/۷۵٪ محلول WPC به فرمولاسیون پنیر فراپالایش حاوی ۵/۵۳٪ چربی و تیمار آنزیمی آن با ۰/۴۰۵ واحد، منجر به تولید محصولی کم‌چرب با ویژگی‌های رئولوژیک مطلوب خواهد شد. ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه بهینه نزدیک به نمونه پرچرب (حاوی ۱۶ درصد چربی) بود و ریزساختار آن تخلخل بیشتری نسبت به نمونه شاهد کم‌چرب داشت. همچنین نتایج ارزیابی حسی نشان داد که نمونه بهینه نسبت به همتای کم‌چرب خود، از مقبولیت به مراتب بالاتری نزد مصرف‌کنندگان برخوردار می‌باشد.

**کلید واژگان:** پنیر فراپالایش کم‌چرب، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، کنستاتره پروتئین آب‌پنیر، رئولوژی، روش سطح‌پاسخ

## ۱- مقدمه

در طول دهه گذشته با توجه به تمایل مصرف‌کنندگان به مواد غذایی کم‌چرب، تولید پنیرهای با چربی کاهش یافته یا کم‌چرب به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است [۱]. با این حال پنیرهای کم‌چرب اغلب به دلیل بافت سفت و لاستیکی، و همچنین طعم، ظاهر و احساس دهانی ناخوشایند، با عدم پذیرش مصرف‌کنندگان مواجه می‌شوند [۲]. اعتقاد بر این است که با کاهش چربی، نسبت پروتئین پنیر افزایش و نسبت رطوبت به پروتئین آن کاهش می‌یابد که یکی از نتایج عمده آن، افزایش پیوندهای عرضی بین پروتئین‌ها و به دنبال آن، ایجاد یک بافت سخت و جویدنی برای پنیر خواهد بود. بر این اساس، گفته می‌شود افزایش میزان رطوبت تا حدی که که نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم‌چرب برابر یا بیشتر از نوع پرچرب آن بشود، می‌تواند در بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی و بافت این محصولات مؤثر واقع شود [۳]. پروتئین‌های آب‌پنیر به دلیل برخورداری از قابلیت جذب آب قابل ملاحظه، از پتانسیل بالایی برای استفاده در پنیرهای کم‌چرب به عنوان جایگزین چربی برخوردار می‌باشند [۴]. در یکی از پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه، Romeih و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که استفاده از پروتئین آب‌پنیر به عنوان جایگزین چربی در پنیر آب‌نمکی کم‌چرب باعث افزایش رطوبت، ارتقای راندمان تولید و همچنین بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی می‌گردد [۱]. در پژوهشی دیگر، Kavas و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که با استفاده از دو جایگزین چربی تجاری بر پایه پروتئین آب‌پنیر، ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر کم‌چرب بهبود یافته و از این نقطه نظر، بین این نمونه‌ها و نمونه پرچرب، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد [۵]. نتایج حاصل از پژوهش Zalazar و همکاران (۲۰۰۲) نیز نشان داد که از پروتئین‌های آب‌پنیر به خوبی می‌توان به عنوان جایگزین چربی استفاده کرد [۶].

یکی دیگر از استراتژی‌های کارآمد در زمینه افزایش نسبت رطوبت به پروتئین در پنیرهای کم‌چرب، تیمار آنزیمی شیر پنیرسازی با ترانس‌گلوتامیناز می‌باشد. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی ( $MTGase^1$ , EC 2.3.2.13) یک آسیل ترانسفراز است که می‌تواند با تسهیل انتقال آسیل بین اسیدآمین‌های لیزین و گلوتامین پروتئین‌های شیر، زمینه برقراری پیوندهای کوالان بین پروتئین‌های شیر را فراهم کند که در نتیجه آن یک ژل مقاوم به حرارت و پایدار تشکیل خواهد شد که با به دام انداختن آب بیشتری در شبکه پنیر و ارتقای نسبت رطوبت به پروتئین، علاوه بر بهبود ویژگی‌های پنیر کم‌چرب، راندمان تولید را نیز بیشتر خواهد کرد [۷]. افزایش نسبت رطوبت به پروتئین و در پی آن، بهبود ویژگی‌های بافتی و رئولوژیکی در نتیجه تیمار آنزیمی با ترانس‌گلوتامیناز میکروبی، در ارتباط با پنیرهای کم‌چرب سفید ایرانی [۷]، پنیر دانبو [۸]، و پنیر سفید آب نمکی [۹] گزارش شده است.

پنیر سفید ایرانی تولیدی به شیوه فراپالایش دارای بیشترین سرانه مصرف در کشور می‌باشد [۱۰]. با این حال تا کنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه توسعه و تولید فرمولاسیون‌های کم‌چرب آن از طریق تلفیق پروتئین‌های کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر ( $WPC^2$ ) همراه با تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز صورت نگرفته است. بر این اساس، هدف پژوهش پیش‌رو، بهبود ویژگی‌های پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالایش و به طور ویژه خصوصیات رئولوژیکی آن، از طریق تلفیق محلول کنسانتره پروتئین‌های آب‌پنیر همراه با تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز میکروبی می‌باشد. لازمه دستیابی به سطوح بهینه مورد نیاز از پروتئین آب‌پنیر و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز برای تولیدی پنیری با ویژگی‌های مطلوب، تولید تیمارهای فراوان و انجام آزمون و خطا می‌باشد. طی سال‌های اخیر، روش سطح پاسخ<sup>۳</sup> (RSM) به عنوان روشی کارآمد برای

1. Microbial transglutaminase  
2. Whey protein concentrate  
3. Response surface methodology

## ۲-۲- روش‌ها

### ۲-۲-۱- تولید پنیر

نمونه های پنیر مطابق روش متداول مورد استفاده جهت تولید پنیر فراپالوده در کارخانجات پنیرسازی کشور و با بهره‌گیری از روش کرمی و همکاران (۲۰۰۹) تولید گردید [۱۰]. تمامی نمونه‌های پنیر با سطوح مختلف چربی با ماده خشک کل ۳۲٪ تولید شدند. به منظور تولید پنیرهای فراپالوده کم‌چرب، از رتنتیت یا ناتراوه پرچرب (حاوی ۱۶٪ چربی و ۳۲٪ ماده خشک) و محلول کنسانتره پروتئینی شیر یا MPC (با ماده خشک برابر ۳۲٪) استفاده گردید. برای تهیه محلول کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر، پودر WPC تا حصول ماده خشک ۳۲٪ با آب مقطر مخلوط و به مدت یک ساعت با همزن در دور پایین همگن شد. پس از اعمال فرایند حرارتی (۸۵°C به مدت ۵ دقیقه)، جهت هیدراته شدن بهتر پروتئین، محلول آماده شده به مدت یک شب در دمای یخچال نگهداری گردید [۷]. در ادامه محلول کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر در سطوح مختلف ۰ تا ۱۶٪ (حجمی/حجمی) جایگزین رتنتیت کم‌چرب گردید. با توجه به تأثیر چربی محلول WPC بر مقدار چربی ناتراوه کم‌چرب، مقدار محلول MPC افزوده شده به ناتراوه پرچرب به اندازه‌ای بود که پس از جایگزینی محلول WPC، درصد چربی ناتراوه به مقدار مورد نظر تنظیم گردد. سپس مخلوط در فشار ۷۰ بار با استفاده از یک دستگاه هم‌زنایزر Ronghe machinery (مدل JHG-Q60-P60، ساخت چین)، هم‌وزن و در دمای ۷۵°C به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه شد. در ادامه، استارتر (۰/۰۱ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) و رنت (۰/۰۳ گرم بر کیلوگرم ناتراوه) در مقدار کمی آب استریل با دمای ۳۰°C حل شده و به ناتراوه اضافه شد. تیمار آنزیمی ترانس‌گلوتامیناز هم‌زمان با افزودن رنت انجام گرفت. پس از قرار گرفتن ناتراوه در ظروف پنیر ۲۰۰°C، ظروف به تونل انعقاد انتقال داده شد. بعد از سپری شدن مدت زمان لازم و تشکیل لخته، عمل نمک‌زنی (۲٪ وزنی/وزنی) و درب‌بندی

بهینه‌سازی فرمولاسیون محصولات غذایی نوین معرفی شده است. روش سطح پاسخ، تعداد تیمارهای مورد نیاز برای یک آزمون را کمینه می‌کند و با ارائه مدل‌های ریاضی توصیف‌کننده رابطه بین اجزای فرمولاسیون و ویژگی‌های محصول، علاوه بر تعیین اثر مستقل و متقابل اجزای فرمولاسیون بر ویژگی‌های فرآورده، سطوح بهینه هرکدام از اجزای فرمولاسیون برای تولید محصولی با اهداف از پیش تعریف شده را نیز معرفی می‌کند [۱۱]. از این رو، هدف پژوهش جاری، بهینه‌سازی اجزای فرمولاسیون پنیر سفید ایرانی کم‌چرب فراپالایش با استفاده از روش سطح پاسخ و در جهت تولید محصولی با ویژگی‌های رئولوژیکی مطلوب و در مرحله بعد مقایسه ریزساختار و رفتار رئولوژیکی نمونه بهینه با نمونه شاهد پرچرب و کم‌چرب می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

ناتراوه فراپالایش پرچرب در کارخانه پگاه خوزستان (۳/۱۲٪ پروتئین، ۲/۵٪ لاکتوز، ۱/۲٪ خاکستر و ۱۶٪ چربی) تولید گردید. پودر ناتراوه<sup>۱</sup> (دارای ۷۰٪ پروتئین، ۱۶/۵٪ لاکتوز، ۸٪ خاکستر و ۰/۵٪ چربی) از شرکت پگاه خراسان، پودر کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر یا MPC<sup>۲</sup> (دارای ۸۰٪ پروتئین، ۹٪ لاکتوز، ۵/۵٪ خاکستر و ۱٪ چربی) از شرکت NZMP نیوزلند و آنزیم ترانس‌گلوتامیناز میکروبی (EC ۲،۱۳،۲،۳) از شرکت BDF Natural Ingredients اسپانیا خریداری شد. مایه پنیر یا رنت با نام تجاری Chy-Max از شرکت لبنی هانسن دانمارک و آغازگر مزوفیل (CHOOZIT 230) محتوی سویه‌های لاکتوکوکوس لاکتیس زیرگونه کرموریس و لاکتیس و ترموفیل (MIX(YO-532) (محتوی سویه‌های استریپتوکوکوس ترموفیلوس و لاکتوباسیلوس دلبروکی زیرگونه بولگارکوس) از شرکت لبنی دانیسکوی آلمان خریداری گردید.

1. Milk protein concentrate powder
2. Whey protein concentrate

کشسانی یانگ به صورت مدول سکانت در نقطه گسیختگی به دست آمد [۷].

#### ۲-۲-۲- اندازه‌گیری نوسانی پویا

نمونه‌ها همانند روش آماده‌سازی نمونه به روش آزمون فشرش تک‌محوری آماده شدند. اندازه‌گیری‌های نوسانی پویا با استفاده از رئومتر یونیورسال داینامیک اسپکترومتر Paar Physica (Paar Physica Messtechnik GmbH) USD200، اشتوتگارت، آلمان) انجام گرفت. شکل هندسی سامانه اندازه‌گیرنده، ازدو صفحه‌ی موازی هم با قطر ۲۵ میلی‌متر و فاصله‌ی ۱ میلی‌متر (ضخامت نمونه) تشکیل شده است. نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه روی رئومتر به حال خود رها شدند تا اثر تنش‌های وارد شده بر آنها از بین برود. گستره‌ی ویسکوالاستیک خطی با انجام آزمایش تغییر رویشی کرنش تعیین شد. برای این منظور بسامد در ۰/۱ هرتز تنظیم شده و درصد کرنش از ۰/۱ تا ۲ تغییر پیدا کرد. سپس کرنشی در گستره‌ی خطی (۰/۰۲) انتخاب شده و آزمایش تغییر رویشی بسامد انجام گرفت، به این ترتیب که کرنش در ۰/۰۲ تنظیم شده و بسامد از ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز تغییر یافت. سنجه‌ی واره‌های محاسبه شده عبارت بودند از  $G'$  و  $G''$ ، که نشان دهنده ویژگی‌های کشسانی و گرانیوی می‌باشند [۱۰].

#### ۲-۲-۴- ریز ساختار

بررسی ریزساختار نمونه‌های پنیر بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی<sup>۳</sup> (Tescan، مدل Vega، ساخت جمهوری چک) با پیروی از روش Madadlou و همکاران (۲۰۰۷) صورت پذیرفت [۱۳]. قطعه‌های پنیر با کاردی برنده به مکعب‌هایی به طور تقریبی پنج تا شش میلی‌متر بریده شده و در گلوترآلدئید (۲٪/۵) شرکت مرک آلمان) به مدت سه ساعت غوطه‌ور شدند تا تثبیت گردند. مکعب‌ها شش بار با آب مقطر شستشو داده شده و با استفاده از سری درجه‌بندی شده‌ی اتانول (۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۹۰ و ۹۶ درصد) به مدت ۳۰ دقیقه برای هر درجه، آبدایی شدند. در ادامه، نمونه‌ها سه بار (ده دقیقه در هر

ظروف پنیر در دستگاه روتامین انجام گرفت. در پایان، ظروف کارتن گذاری شده و پس از گرمخانه‌گذاری (دمای  $37^{\circ}\text{C}$ ) و رسیدن به  $\text{pH} = 4/8$ ، به سردخانه با دمای ( $9 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) منتقل شدند. تمام نمونه‌های پنیر تولید شده در روز پنجم پس از تولید تحت آزمون‌های شیمیایی و رئولوژی قرار گرفتند.

#### ۲-۲-۲- آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی

ویژگی‌های شیمیایی با استفاده از دستورالعمل‌های AOAC (۲۰۰۰) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری  $\text{pH}$  با استفاده از دستگاه  $\text{pH}$  متر دیجیتال (مدل 827، مترام<sup>۱</sup> ساخت سوئیس) انجام گرفت. درصد ماده جامد کل توسط خشک کردن به روش آون تحت خلاء و تا رسیدن به وزن ثابت اندازه‌گیری شد. چربی به روش ژربر و پروتئین توسط روش کلدال (حاصلضرب مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده در فاکتور ۶/۳۸) تعیین شد [۱۲].

#### ۲-۲-۳- آزمون‌های رئولوژیکی

##### ۲-۲-۳-۱- آزمون فشرش تک محوری

فشرش تک‌محوری با استفاده از دستگاه سنجش بافت (Stable Micro System<sup>۲</sup>، مدل TA.XT.PLUS، ساخت انگلستان) انجام گرفت. برای انجام آزمایش، قطعه‌های پنیر به مکعب‌هایی با اضلاع ۱۵ میلی‌متری در دمای  $6^{\circ}\text{C}$  بریده شده و به منظور جلوگیری از دست دادن رطوبت، به سرعت در داخل ظرف پلی‌اتیلن غیر قابل نفوذ به هوا قرار داده شد. نمونه‌های پنیر دست کم از عمق دو میلی‌متری قطعه‌های پنیر انتخاب شدند. برای هم‌دما شدن نمونه‌ها با محیط ( $25^{\circ}\text{C}$ )، نمونه‌های برش خورده به مدت دو ساعت پیش از آزمایش در دمای محیط نگهداری شدند. نمونه‌ها به صورت تک‌محوری به وسیله پیستونی با قطر ۳۶ میلی‌متر با پیشانی پیشرونده‌ی با سرعت ۵۰ میلی‌متر بر دقیقه تا ۵۷٪ (۸/۵ میلی‌متری) از ارتفاع اولیه در یک گاز فشرده شدند. تنش‌گسیختگی از تقسیم کردن نیروی ثبت شده در نقطه‌ی گسیختگی منحنی- بدریختی بر روی سطح مقطع نمونه و مدول

1. Metrohm  
2. Texture Analyzer

3. Scanning Electron Microscopy

سطوح هر کدام از آنها در جدول ۱ بصورت کددار و غیرکددار مشخص شده است. طرح مختلط مرکزی با استفاده از ۳ فاکتور ۵ سطحه، ۲۰ تیمار پنیر کم چرب با فرمول بندی های مختلف ارائه کرد که شامل سه گروه مجزا می باشند. گروه تیمارهای مرکزی شامل ۶ نمونه بوده که همگی متغیرها در سطح صفر تعریف شده اند. گروه تیمارهای های محوری شامل ۶ نمونه بوده که هر کدام از آنها شامل دو سطح صفر و یک سطح  $1/68$  یا  $-1/68$  می باشند و گروه تیمارهای مکعبی شامل ۸ نمونه است که ترکیبی از سطوح ۱- و ۱+ می باشند. نمونه های مرکزی امکان بررسی خمش در پاسخ، نمونه های محوری امکان برآورد جملات درجه دوم و نقاط مکعبی امکان بررسی برهمکنش ها و تاثیرات خطی را فراهم می کنند [۱۵]. نمونه های پنیر کم چرب بر اساس فرمولاسیون های مشخص شده در طرح آزمون تولید شدند و از نقطه نظر ویژگی های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفتند یک مدل چند جمله ای درجه دوم (رابطه ی شماره ۱) به داده های تجربی برازیده شد:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^3 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1, j \neq i}^3 \beta_{ij} X_i X_j + \epsilon_{ij}$$

که  $Y$  پاسخ (میانگین خطای مطلق) و  $\beta_{ii}$ ،  $\beta_i$ ،  $\beta_0$  و  $\beta_{ij}$  ضرایب رگرسیونی به ترتیب برای عرض از مبدا، خطی، درجه دوم و برهمکنش ها بوده و  $X_i$  و  $X_j$  متغیرهای مستقل می باشند. تحلیل سطح پاسخ و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۹ (شرکت Design Expert، ایالات متحده) انجام شد. همچنین در مرحله بعد برای مقایسه ویژگی های ارگانولپتیک نمونه بهینه با نمونه پرچرب و کم چرب از طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. نتایج با استفاده از برنامه GLM از نرم افزار (SAS Version 9.3) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. از آزمون دانکن برای مقایسه میانگین های ویژگی های- های مختلف استفاده شد و مقادیر در سطح معنی داری  $p < 0.05$  مورد ارزیابی قرار گرفتند.

بار) در کلروفورم چربی زدایی شده و سپس نمونه های چربی زدایی شده سرد گردیدند و تا زمانی که در ازت مایع به تکه های به طور تقریبی یک میلی متری انجمادشکنی بشوند با اتانول پوشانده و در دمای  $4^\circ\text{C}$  نگه داری شدند. تکه های پنیر، به کمک چسب نقره بر روی پایه های آلومینیومی نصب گردیده، در یک پوشش دهنده- پاشنده (Blazers, type K450x, Bal Tec, ساخت انگلیس) تا نقطه ی بحرانی خشک شده و به مدت شش دقیقه با طلا پوشش داده شدند. ریزساختار نمونه های شاهد کم چرب و پرچرب و نمونه بهینه پنیر در سه بزرگنمایی ۱۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۵۰۰۰ عکس برداری شدند [۱۳]. برای به تصویر کشیده شدن بهتر تخلخل نمونه های پنیر، تصاویر دو بعدی نمونه ها با استفاده از نرم افزار تحلیل گر تصاویر Image J به تصاویر سه بعدی تبدیل شد [۱۰].

## ۲-۲-۵- ارزیابی حسی

مهمترین خصوصیات حسی نمونه های پنیر سفید ایرانی فرآپالایش شامل رنگ و ظاهر، طعم و رایحه، و قوام و بافت توسط توسط ۱۰ نفر از دانشجویان صنایع غذایی دانشگاه رامین خوزستان ارزیابی گردید. نمونه ها از طریق یک آزمون ترجیحی ده نقطه ای با یکدیگر مقایسه شدند. بر اساس اهمیت هر یک از صفات کیفی مورد نظر، برای هر یک از صفات ضریبی در نظر گرفته شد، بدین گونه که نتایج مربوط به طعم و رایحه که بیشترین اهمیت را دارد در ضریب ۵، بافت در ضریب ۴ و ظاهر و رنگ در ضریب ۱ ضرب شدند که در مجموع هر تیمار حداکثر ۱۰۰ امتیاز به عنوان پذیرش کلی می توانست به دست آورد [۱۴].

## ۲-۲-۶- تجزیه و تحلیل آماری

بهینه سازی فرمولاسیون پنیر فرآپالایش کم چرب، با استفاده از روش سطح پاسخ و در قالب یک طرح مرکب مرکزی<sup>۱</sup> صورت پذیرفت. طرح مورد نظر با استفاده از سه فاکتور و هر فاکتور دارای پنج سطح راه اندازی شد. فاکتورها شامل غلظت چربی، آنزیم ترانس گلو تامیناز و کنسانتره پروتئینی آب پنیر بودند که

1. Central composite

**Table 1** Coded and un-coded levels of independent variables according to a central composite design

Independent variable	Level				
	- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
MTGase (unit/g protein)	0	0.4	1	1.59	2
Fat (%)	0	2.03	5	7.97	10
WPC (%)	0	3.24	8	12.76	16

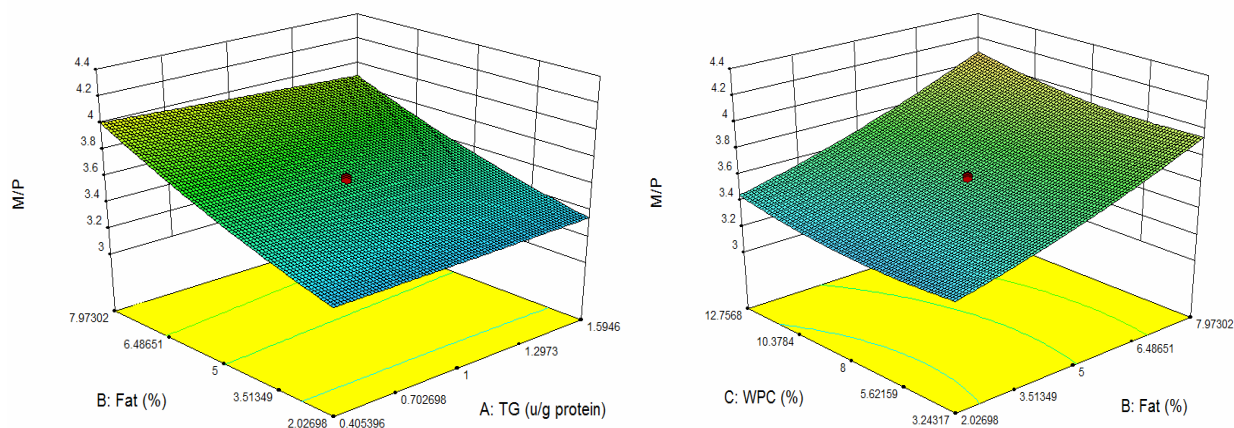
یکی از رهیافت‌های مهم برای بهبود خواص پنیر با چربی کمتر افزایش رطوبت به اندازه‌ای است که نسبت رطوبت به پروتئین آن برابر یا بالاتر از همتای پرچربش شود [۳]. افزودن WPC با حفظ رطوبت بیشتر در پنیر، باعث افزایش نسبت رطوبت به پروتئین و نرم شدن بافت پنیر شد که با نتایج Zalazar و همکاران (۲۰۰۲) و Sahan و همکاران (۲۰۰۸) همخوانی داشت [۶ و ۱۹]. آنزیم ترانس‌گلوتامیناز اثر معنی‌داری بر نسبت رطوبت به پروتئین نمونه‌های پنیر نداشت ( $p > 0.05$ ). برخلاف این یافته، Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که آنزیم ترانس‌گلوتامیناز موجب افزایش نسبت رطوبت به پروتئین در پنیر سفید کم‌چرب تهیه شده به روش سنتی می‌شود [۷].

نتایج ارزیابی‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که متغیرهای مستقل اثر معنی‌داری بر اسیدیته و pH نمونه‌های پنیر نداشتند.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی

نتایج حاصل از آنالیز آماری نشان داد که چربی و کنسانتره پروتئینی آب‌پنیر از اثر خطی معنی‌داری بر نسبت رطوبت به پروتئین نمونه‌های پنیر برخوردار می‌باشند ( $p \leq 0.01$ ) (جدول ۲). در تفسیر نتایج جدول تجزیه واریانس مقدار مثبت ضریب رگرسیونی نشان دهنده تأثیر افزایشی متغیر مستقل بر روی پارامتر مورد بررسی است درحالی که ضریب منفی تأثیر مخالفی دارد. این موضوع در نمودارهای رویه‌های سه‌بعدی ارائه شده نیز بخوبی نمایان است (شکل ۱). در تحقیق حاضر کاهش چربی در پنیر موجب کاهش نسبت رطوبت به پروتئین شد (شکل ۱)، که منطبق با نتایج Rahimi و همکاران (۲۰۰۷)، Madadlou و همکاران (۲۰۰۵) و Koca & Metin (۲۰۰۴) است [۱۶-۱۸].



**Fig 1** Response surface plots for interaction effects of formulation ingredients on M/P content of low-fat ultrafiltered cheese incorporated with whey protein concentrate and treated with transglutaminase

### ۳-۲- ارزیابی رئولوژیکی

#### ۳-۲-۱- فشرش تک محوری

برای پی بردن به ویژگیهای بافتی تیمارها، دو پارامتر تنش در نقطه گسیختگی و مدول کشسانی یانگ پنیرها مورد بررسی قرار گرفت. تنش در نقطه گسیختگی با سفتی پنیر ارتباط مستقیم دارد [۲۰]. میزان تنش در نقطه گسیختگی بیشتر نشان-دهنده سفتی بیشتر می‌باشد و با کم شدن آن پنیر نرمتر می‌شود. مدول کشسانی یا الاستیسیته برای نشان دادن رابطه بین تنش و کرنش مواد غذایی میباشد و همانند تنش در نقطه گسیختگی هرچه مدول کشسانی بالاتر باشد نشان‌دهنده سفت بودن بافت پنیر می‌باشد [۲۱]. نتایج حاصل از آنالیز آماری ارائه شده در جدول ۲ نشان داد که کاهش مقدار چربی در پنیر باعث افزایش مقدار تنش در نقطه گسیختگی و مدول الاستیسیته شده است. چربی و رطوبت نقش پرکننده در شبکه پنیر دارند و به پنیر بافتی نرم می‌دهند در حالی که شبکه کازئینی خصوصیات الاستیک به بافت پنیر می‌دهد [۱۷]. در تطابق با این نتایج، Rahimi و همکاران (۲۰۰۷) و Madadlou و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که پنیر کم‌چرب دارای تنش در نقطه گسیختگی و مدول یانگ بیشتری نسبت به نمونه پرچرب می‌باشد که دلیل آن را به نقش روان‌کنندگی چربی در پنیر و ساختار کازئینی فشرده در اثر کاهش چربی نسبت دادند [۱۶ و ۱۷]. همانطور که در جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد آنزیم ترانس-گلوتامیناز به صورت خطی و معنی‌داری مقدار تنش در نقطه گسیختگی و مدول یانگ را افزایش داده است. آنزیم ترانس-گلوتامیناز با تشکیل پیوندهای ایزوپپتیدی در شبکه پنیر موجب تشکیل یک شبکه پروتئینی منسجم و متعاقب آن افزایش سینرژیس می‌شود [۲۲]. به عبارتی دیگر آنزیم ترانس‌گلوتامیناز از طریق پیوندهای عرضی بین میسل‌های پروتئینی یک شبکه پروتئینی پایدار ایجاد کرده که در برابر نیروهای وارده توسط پروپ دستگاه مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. Mleko و همکاران (۲۰۰۴) در یافته‌هایی مشابه، نشان دادند که آنزیم

ترانس‌گلوتامیناز خصوصیات مکانیکی پنیر دانبو را تغییر می‌دهد و با افزایش غلظت آنزیم ترانس‌گلوتامیناز، زمان و میزان انرژی لازم برای فرورفتگی پنیر افزایش می‌یابد [۸]. نتایج حاصل از پژوهش Ozer و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان از سفت شدن پنیر در اثر افزودن آنزیم بود [۲۲]. افزودن WPC با افزایش نسبت رطوبت به پروتئین موجب کاهش سفتی پنیر شد و در نتیجه مقدار پارامترهای تنش در نقطه گسیختگی و مدول یانگ به طور معنی‌داری کاهش پیدا کردند (جدول ۲). منطبق با نتایج پژوهش جاری، Romieh و همکاران (۲۰۰۲) گزارش کردند که جایگزین‌های چربی بر پایه‌ی پروتئین آب‌پنیر با افزایش میزان رطوبت در شبکه پنیر میزان سفتی را در پنیر کم‌چرب کاهش می‌دهند [۱].

#### ۳-۲-۲- آزمون نوسانی پویا

یافته‌های بررسی آماری اثر مقادیر مختلف چربی، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و WPC بر مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های پنیر در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که در جدول می‌توان مشاهده کرد افزایش آنزیم بر خلاف افزایش چربی و WPC، باعث افزایش مدول ذخیره و افت شده است. مدول ذخیره ( $G'$ ) و مدول افت ( $G''$ ) به ترتیب نشان‌دهنده خواص الاستیک و ویسکوز مواد غذایی می‌باشند. این دو پارامتر نیز مرتبط با نرمی پنیر می‌باشند و بالاتر بودن میزان آنها برای یک نمونه پنیر، سفتی بیشتر و نامطلوب بودن بافت راه به همراه خواهد داشت [۱۷]. در مطالعه حاضر غالب بودن مدول ذخیره نسبت به مدول افت نشان‌دهنده ماهیت الاستیکی نمونه‌ها می‌باشد [۲۱]. کاهش میزان چربی در این تحقیق، به طور معنی‌داری  $G'$  و  $G''$  را افزایش داد. نتایج مشابه‌ای توسط دیگر محققان Madadlou و همکاران (۲۰۰۵) و Kaya & Kahyaoglu (۲۰۰۳) گزارش شده است [۱۷] و [۲۱]. افزودن محلول WPC دنا توره شده به پنیر فرابالایش با تقلید نقش چربی در پنیر و نرم کردن پنیر موجب کاهش معنی‌دار این پارامترها شد.

**Table 2** Regression coefficients of predicted quadratic polynomial models for different responses

Coefficients	M:P	Fracture stress ( $\sigma_f$ )	Young's modulus (E)	Storage modulus (G')	Loss modulus (G'')
Constant	3.58**	45.59*	139.78*	63.90**	31.81*
Linear					
$\beta_1$	ns	2.63*	7.35*	10.67**	3.73
$\beta_2$	0.31**	-3.90*	-11.31**	-29.99**	-12.47**
$\beta_3$	0.05	-1.96	-5.25	-11.25**	-3.67
Interaction					
$\beta_{12}$	ns	ns	ns	ns	ns
$\beta_{13}$	ns	ns	ns	ns	ns
$\beta_{23}$	ns	ns	ns	ns	ns
Quadratic					
$\beta_{11}$	ns	1.51	4.46	ns	ns
$\beta_{22}$	0.05	ns	ns	11.86**	3.70*
$\beta_{33}$	0.07*	ns	ns	ns	ns
$R^2$	0.9607	0.8692	0.8820	0.9792	0.9310
$R^2$ -adjust	0.9253	0.7514	0.7758	0.9606	0.8689
Lack of fit	0.14	0.29	0.27	0.23	0.52
CV	2.11	5.26	4.60	8.14	12.85

$\beta_1$ ,  $\beta_2$ , &  $\beta_3$  are TG, fat and WPC, respectively.

ns: no significant effect at level  $<0.05$ ; Without star  $p < 0.05$ ; \* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$

از آنزیم، بر خصوصیات رئولوژیکی نمونه پنیر اثر می‌گذارد. ثابت شده که ژل تلفیق شده با غلظت‌های بالاتر آنزیم، ویسکو الاستیک‌تر می‌باشد [۲۴ و ۲۵].

### ۳-۳- تأیید آماری مدل‌های رگرسیونی

پارامتر ضریب تعیین<sup>۱</sup> یا همان  $R^2$  و پارامتر عدم برازش یا همان Lack of fit به عنوان مهمترین ابزارهای بررسی قابل اعتماد بودن مدل های رگرسیونی در پیشگویی پاسخ‌های مورد نظر (ویژگی-های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی پنیر) بر اساس تغییرات اجزای فرمولاسیون به شمار می‌آیند. معنی‌داری نبودن آماری فاکتور "عدم برازش" و همچنین نزدیک بودن  $R^2$  به عدد یک نشان-

Lobat-calleras و همکاران (۲۰۰۱) بیان کردند استفاده از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر در پنیر کم‌چرب باعث کاهش تراکم بافت می‌شود و خصوصیات بافتی پنیر کم‌چرب را به نوع پرچرب خود نزدیک می‌کند [۲۳]. نتایج حاصل از پژوهش Romieh و همکاران (۲۰۰۲) حاکی از بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی در نتیجه استفاده از پروتئین‌های آب‌پنیر در پنیر کم-چرب بود [۱]. یافته‌های آماری نشان داد افزایش مقدار آنزیم ترانس‌گلوتامیناز موجب افزایش پارامترهای مدول ذخیره و افت نمونه‌های پنیر می‌شود. زمانی که این آنزیم در تولید پنیر به کار برده می‌شود، با ایجاد اتصالات عرضی امکان افزایش نیروی ژل و ویسکوزیته‌ی سطحی را فراهم می‌کند و بسته به میزان استفاده

1. Coefficient of determination



### ۳-۴- بهینه سازی

بهینه‌سازی فرمولاسیون پنیر کم‌چرب فرآپالایش با هدف دستیابی به محصولی با ویژگی‌های رئولوژیکی مشابه با نمونه پرچرب صورت پذیرفت. بدین منظور، حد بالا و پایین و مطلوب هر یک از صفات (پاسخ‌ها) و اهمیت آن‌ها تعیین شد. نتایج نشان داد که با بکارگیری مقدار  $0/405$  واحد آنزیم به ازاء هر گرم پروتئین ناتراوه، جایگزینی  $12/75\%$  محلول WPC با رنتتین و مقدار  $5/53\%$  چربی بهترین حالت حاصل می‌شود. تیمار پیشنهادی با شرایط یکسان همانند سایر تیمارها تولید و نتایج حاصل از آن با نتایج پیشگویی شده توسط مدل مقایسه گردید (جدول ۳). عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال  $95\%$  بین نتایج پیشگویی شده و نتایج به دست آمده، کارایی مدل‌ها را به خوبی اثبات نمود.

### ۳-۵- مقایسه رفتار رئولوژیکی نمونه بهینه با

#### نمونه پرچرب و کم‌چرب

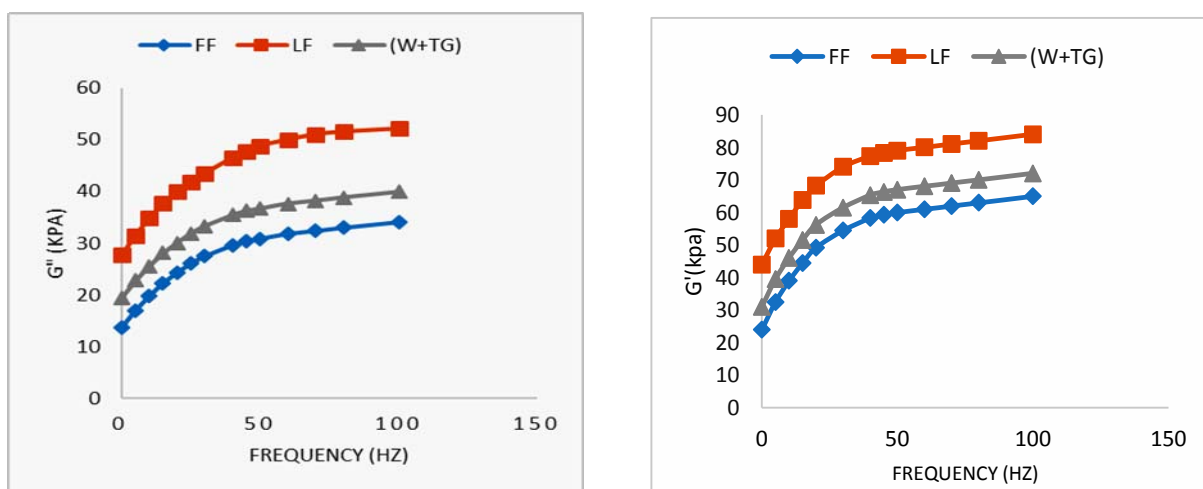
آزمون نوسانی پویا به منظور تعیین رفتار ویسکوالاستیک نمونه‌های پنیر فرآپالایش انجام شد. این آزمون متداول‌ترین آزمون نوسانی است که رفتار ویسکوز و الاستیک مواد را در تنش یا کرنش‌های مختلف نشان می‌دهد [۱۰]. شکل ۲ مقایسه تغییرات مدول ذخیره و مدول افت نمونه‌های مختلف پنیر فرآپالایش در فرکانس‌های مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل قابل مشاهده می‌باشد میزان  $G'$  و  $G''$  نمونه کم‌چرب در تمام بسامدها بیشتر از نمونه پرچرب می‌باشد. با افزودن سطح بهینه WPC به همراه تیمار آنزیمی، میزان این پارامترها کاهش پیدا کرد و میزان  $G'$  و  $G''$  به نمونه پرچرب نزدیک شد. با افزایش فرکانس مقادیر  $G'$  و  $G''$  در تمامی نمونه‌ها روند افزایشی داشت که این امر می‌تواند به نوعی نشان دهنده بازآرایی پیوندهای شبکه پنیر به موازات افزایش زمان اعمال تنش باشد [۷].

دهنده کارآمدی بالای مدل ریاضی تعریف‌شده برای پیش‌بینی پاسخ موردنظر می‌باشد [۱۵]. همانطور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، فاکتور عدم برازش برای تمامی مدل‌های به دست آمده در این پژوهش، در سطح اطمینان  $95\%$  معنی‌دار نمی‌باشد. معنی‌دار نبودن آماری فاکتور عدم برازش بر این مهم دلالت دارد که متغیرهای مورد بررسی (چربی، آنزیم ترانس‌گلوتامیناز و WPC) برای پیش‌بینی تغییرات نسبت رطوبت به پروتئین و ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر کم‌چرب فرآپالایش کفایت می‌کنند و نیاز به گنجاندن متغیر دیگری در مدل‌های رگرسیونی بدست‌آمده نمی‌باشد [۱۵]. بر اساس نتایج،  $R^2$  مدل‌های بدست آمده، بین تقریباً  $0/87$  تا  $0/98$  متغیر می‌باشد این میزان  $R^2$  نشان‌دهنده این است که حدوداً بین  $87$  تا  $98\%$  تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی پنیرهای کم‌چرب مورد بررسی در این پژوهش بوسیله تغییرات اجزای فرمولاسیون آنها قابل توضیح است [۱۵]. گفته می‌شود که برای یک مدل با برازش خوب، مقدار  $R^2$  بایستی حداقل  $0/8$  باشد [۲۶]. البته باید توجه داشت که مقدار بالای  $R^2$  همیشه حاکی از آن نیست که مدل رگرسیون مناسب است چرا که اضافه کردن یک متغیر به مدل بدون در نظر گرفتن این که آیا متغیر افزوده شده از نظر آماری معنی‌دار است یا نه، همیشه  $R^2$  را افزایش می‌دهد بنابراین بهتر است که از  $R^2$  تعدیل‌شده<sup>۱</sup> برای ارزیابی مناسب بودن مدل استفاده کرد [۲۷]، که البته میزان آن نیز برای مدل‌های بدست‌آمده به گونه رضایت‌بخشی بالا می‌باشد. همچنین، ضریب پراکندگی (CV) که اشاره به پراکندگی نسبی نقاط تجربی از پیش‌بینی‌های مدل دارد، برای تمام پاسخ‌ها مقدار بالایی نمی‌باشد که نشان دهنده دقت بالا در آزمایش می‌باشد [۲۸].

1. Adjusted- R2

**Table 3** Performance of models in predicting the optimum formulation ingredients

	M:P	Fracture stress (kPa)	Young's modulus (kPa)	Storage modulus (kPa)	Loss modulus (kPa)	Desirability
Predicted	3.81	42.70	131.63	40.60	22.20	0.72
Experimental	3.75±0.08	43.96±1.92	133.66±3.04	42.33±2.05	23.66±1.51	-----

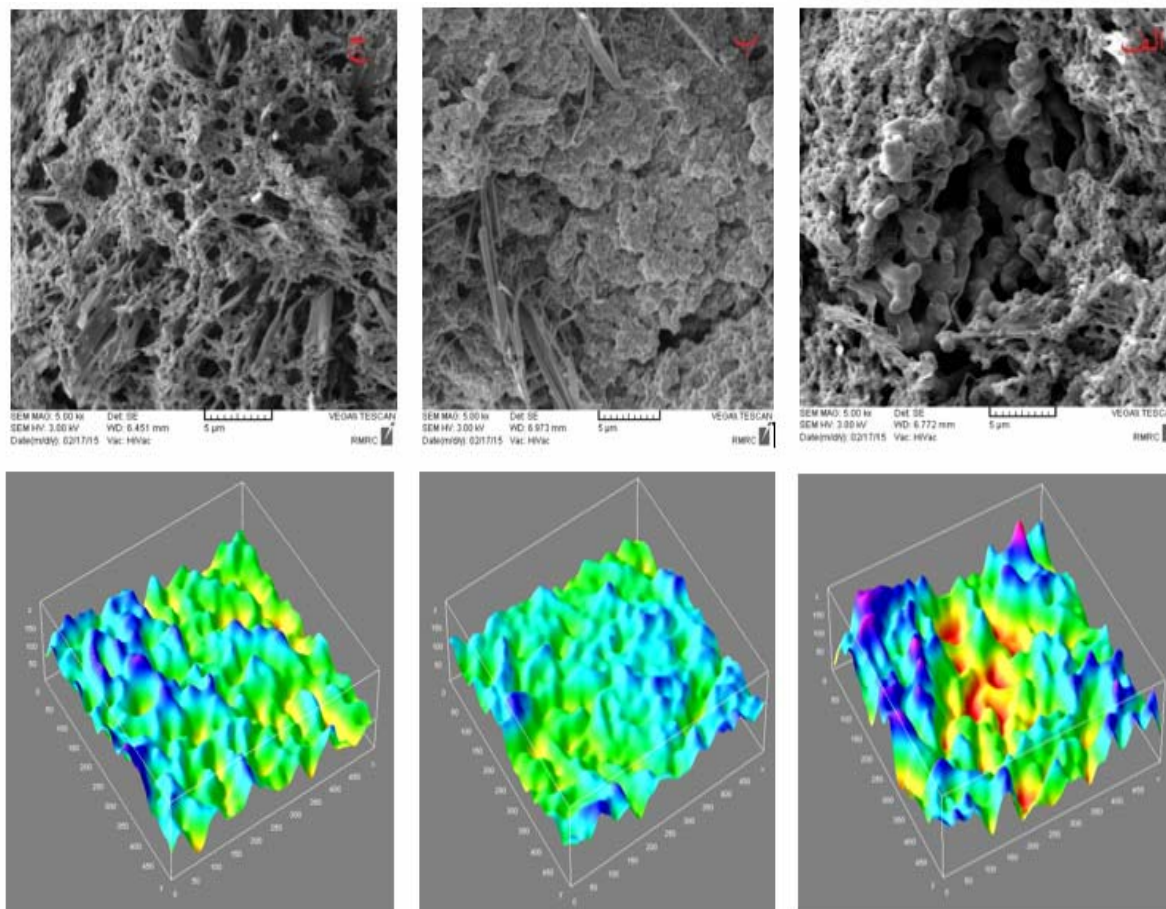
**Fig 2** Storage and loss moduli of ultrafiltered cheese: ◆, control full-fat; ■, control low-fat; ▲, optimized low-fat.

که پیامد آن را می‌توان در فشردگی بیشتر و تخلخل کمتر بافت پنیر کم‌چرب مشاهده کرد. بر خلاف نمونه کم‌چرب، نمونه پرچرب دارای بافتی متخلخل است که تعداد زیادی گلبول چربی در آن پراکنده شده است. غنی‌سازی ریتنتیت با WPC به همراه تیمار آنزیمی با ترانس‌گلوتامیناز تعداد حفره‌های سرمی موجود در ریزساختار پنیر را افزایش داده است که موجب افزایش تخلخل نمونه بهینه شده نسبت به نمونه کم‌چرب و سفتی کمتر آن شد. Sayadi و همکاران (۲۰۱۳) برای بهبود ویژگیهای بافتی پنیر سفید ایرانی از تیمار آنزیمی به همراه غنی‌سازی با WPI استفاده کردند. حفظ رطوبت توسط WPI و تیمار آنزیمی موجب نرمی بافت و کاهش فشردگی ریزساختار در پنیر کم‌چرب شد [۷].

### ۳-۶- مقایسه ریزساختار نمونه بهینه با نمونه کم-

#### چرب و پرچرب

تصاویر ریزساختار نمونه‌های پنیر شاهد کم‌چرب و پرچرب و نمونه بهینه کم‌چرب در شکل ۳ ارائه شده‌اند. همانطور که در شکل قابل مشاهده است، ریزساختار نمونه کم‌چرب به طور واضحی متفاوت از نمونه‌های دیگر بود. نمونه کم‌چرب دارای یک بافت متراکم و همگن و تعداد کمی گلبول چربی می‌باشد و این شبکه فشرده، خود شاهدی بر مقدار بیشتر تنش در نقطه گسیختگی، مدول یانگ و مدول ذخیره نمونه کم‌چرب می‌باشد [۱۳]. در واقع، در حضور کم‌رنگ چربی، زمینه نزدیکی بیشتر پروتئین‌های شیر و ایجاد پیوندهای عرضی بین آنها فراهم می‌شود



**Fig 3** Microstructure of (A) control full-fat, (B) control low-fat and (C) and optimized low-fat ultrafiltered cheese. Tri-dimensional (3D) images of SEM micrographs are shown below the original images.

امتیازها را از دید تمامی صفت‌ها کسب کرد. با تلفیق مقدار بهینه WPC به همراه تیمار آنزیمی، ویژگی‌های حسی نمونه کم‌چرب به گونه چشمگیری بهبود پیدا کرد و در نتیجه آن، اختلاف معنی‌داری از نظر رنگ و ظاهر، بافت و پذیرش کلی بین نمونه پرچرب و نمونه بهینه مشاهده نشد. تنها از نقطه نظر عطر و طعم بود که نمونه پرچرب به گونه معنی‌داری ( $p \leq 0.05$ ) بیشتر مورد پسند مصرف‌کنندگان قرار گرفت (جدول ۴).

### ۳-۷- مقایسه ویژگی‌های ارگانولپتیک نمونه بهینه

#### با نمونه کم‌چرب و پرچرب

نتایج حاصل از ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر فرآپالوده در جدول ۴ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت کاهش میزان چربی به طور قابل توجهی، بافت، ظاهر، طعم و پذیرش کلی پنیر سفید ایرانی را تحت تأثیر قرار داد و پنیر کم‌چرب کمترین

**Table 4** Means $\pm$ SD of sensory attributes of different cheese samples

	Flavor	Texture	color	total point
Control full-fat	7.8 $\pm$ 0.83 <sup>a</sup>	7.1 $\pm$ 1.02 <sup>a</sup>	7.5 $\pm$ 0.55 <sup>a</sup>	74.9 $\pm$ 5.8 <sup>a</sup>
Control low-fat	2.6 $\pm$ 1.14 <sup>c</sup>	4.1 $\pm$ 1.4 <sup>b</sup>	2.2 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	31.6 $\pm$ 4.2 <sup>b</sup>
Optimized low-fat	6.0 $\pm$ 0.73 <sup>b</sup>	6.9 $\pm$ 0.9 <sup>a</sup>	6.8 $\pm$ 0.63 <sup>a</sup>	64.4 $\pm$ 5.3 <sup>a</sup>

<sup>a-c</sup> Means within the same column with different superscripts differ ( $P < 0.05$ )

- [2] Skeie, S., Alseth, G. M., Østlie, H., Abrahamsen, R. K., Johansen, A. G., & Øyaas, J. (2013). Improvement of the quality of low-fat cheese using a two-step strategy. *International Dairy Journal*, 33(2): 153-162.
- [3] Broadbent, J. R., McMahon, D. J., Oberg, C. J., & Welker, D. L. (2001). Use of exopolysaccharide-producing cultures to improve the functionality of low fat cheese. *International Dairy Journal*, 11(4): 433-439.
- [4] De Wit, J. N. (1998). Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, 81: 597-608.
- [5] 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(3): 381-388.
- [6] Zalazar, C. A., Zalazar, C. S., Bernal, S., Bertola, N., Bevilacqua, A., & Zaritzky, N. (2002). Effect of moisture level and fat replacer on physicochemical, rheological and sensory properties of low fat soft cheeses. *International Dairy Journal*, 12(1): 45-50.
- [7] Sayadi, A., Madadlou, A., & Khosrowshahi, A. (2013). Enzymatic cross-linking of whey proteins in low fat Iranian white cheese. *International Dairy Journal*, 29: 88-92.
- [8] Mleko, S., Gustaw, W., Glibowski, P., & Pielecki, J. (2004). Stress relaxation study of UF-milk cheese with transglutaminase. *Egyptian Journal of Dairy Science*, 32: 237-244.
- [9] Ozer, B., Adnan Hayaloglu, A., Yaman, H., Gürsoy, A., & Sener, L. (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. *International Dairy Journal*, 33: 129-134.
- [10] Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K., & Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food Chemistry*, 112(3): 539-544.
- [11] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E. & Emam-Djomeh, Z., (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate

## ۴- نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که پروتئین‌های آب‌پنیر با جذب آب و ارتقای نسبت رطوبت به پروتئین، منجر به کاهش پارامترهای رئولوژیکی پنیر کم‌چرب و به دنبال آن نرم شدن بافت می‌شوند. در حالیکه تیمار آنزیمی ناتراوه کم‌چرب با آنزیم ترانس-گلوتامیناز، به سبب ایجاد یک ساختار مستحکم در شبکه پنیر، افزایش سفتی بافت را به همراه خواهد داشت. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که با تلفیق میزان بهینه کنسانتره پروتئین آب‌پنیر به شبکه پنیر کم‌چرب فرآپالایش، به همراه تیمار آنزیمی شیر آن با غلظت بهینه‌ای از ترانس‌گلوتامیناز، می‌توان محصولی با ویژگی‌های مطلوب فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی تولید کرد. نتایج بررسی ریزساختار پنیرهای مورد پژوهش نشان داد که نمونه بهینه معرفی شده بوسیله روش سطح‌پاسخ، به مراتب متخلخل‌تر از نمونه شاهد کم‌چرب می‌باشد و از این نظر، از بافتی مشابه با نمونه پرچرب برخوردار می‌باشد همچنین ویژگی‌های رئولوژیکی نمونه بهینه نزدیک به نمونه پرچرب بود و نتایج ارزیابی حسی نیز حاکی از مقبولیت بیشتر نمونه بهینه نسبت به هم‌تای کم‌چرب خود بود.

## ۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بدینوسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه بابت حمایت مالی و معنوی و همچنین از شرکت شیر پاستوریزه پگاه خوزستان به‌ویژه جناب آقای دکتر منصور شاکریان و جناب آقای مهندس پیمان فرهنگ به دلیل حمایت‌های بی‌دریغ و انجام هماهنگی‌های لازم جهت انجام این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

## ۶- منابع

- [1] Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G., & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *International Dairy Journal*, 12(6): 525-540.

- sensory properties of low-fat Kashar cheese. *Journal of Dairy Research*, 75(01): 1-7.
- [20] Mohsenin, N.N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials*, 2nd rev, Gordon and Breach. Science publisher, Inc. us.
- [21] Kahyaoglu, T., & Kaya, S. (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal*, 13: 867-875.
- [22] Ozer, B., Adnan Hayaloglu, A., Yaman, H., Gürsoy, A., & Sener, L. (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. *International Dairy Journal*, 33: 129-134
- [23] Lobato-Calleros, C., Robles-Martinez, J. C., Caballero-Perez, J. F., Vernon-Carter, E. J., & Aguirre-Mandujano, E. (2001). Fat Replacers in Low-Fat Mexican Manchego Cheese. *Journal of Texture Studies*, 32(1): 1-14.
- [24] Bönisch, M. P., Heidebach, T. C., & Kulozik, U. (2008). Influence of transglutaminase protein cross-linking on the rennet coagulation of casein. *Food Hydrocolloids*, 22(2): 288-297.
- [25] Clarke, D. D., Mycek, M. J., Neidle, A., & Waelsch, H. (1959). The incorporation of amines into protein. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 79: 338-354.
- [26] Koocheki, A., Taherian, A. R., Razavi, S. M. A., & Bostan, A. (2009). Response surface methodology for optimization of extraction yield, viscosity, and hue and emulsion stability of mucilage extracted from *Lepidium perfoliatum* seeds. *Food Hydrocolloids*, 23: 2369-2379.
- [27] Samavati, V., & manoochehrizadeh, A. (2013). *Dodonaea viscosa* var. *angustifolia* leaf: New source of polysaccharide and its anti-oxidant activity. *Journal of Carbohydrate Polymer*, 13: 1020-1048.
- [28] Samavati, V. (2013). Polysaccharide extraction from *Abelmoschus*: Optimization by response surface methodology. *Journal of Carbohydrate Polymers*, 95: 588-597.
- based on sensory and physicochemical analysis. *International Journal of Dairy Technology*, 68 (1): 70-78.
- [12] AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis*. 17<sup>th</sup> ed, Association of Official Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, USA.
- [13] Madadlou, A., Ebrahim Zadeh Musavi, M., Khosrowshahi, A., Emam-Djomeh, Z., & Zargaran, M. (2007). Effect of cream homogenization on textural characteristics of low fat Iranian white cheese. *International Dairy Journal*, 17: 547-554.
- [14] Katsiari, M. C., Voutsinas, L. P., Kondyli, E., & Alichanidis, E. (2002). Flavour enhancement of low-fat Feta-type cheese using a commercial adjunct culture. *Food Chemistry*, 79(2): 193-198.
- [15] Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., & Emam-Djomeh, Z. (2012). Optimized preparation of ACE-inhibitory and antioxidative whey protein hydrolysate using response surface method. *Dairy Science and Technology*, 92: 641-653
- [16] Rahimi, J., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Aziznia, S. (2007). Texture of Low-Fat Iranian White Cheese as Influenced by Gum Tragacanth as a Fat Replacer. *American Dairy Science Association*, 90: 4058-4070.
- [17] Madadlou, A., Khosroshahi, A., & Mousavi, M. E. (2005). Rheology, microstructure, functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet. *Journal Dairy Science*, 88: 3052-3062.
- [18] Koca, N., & Metin, N. (2004). Textural, melting and sensory properties of low-fat fresh Kashar cheese produced by using fat replacers. *International Dairy Journal*, 14: 365-373.
- [19] Sahan, N., Yasar, K., Hayaloglu, A. A., Karaca, O. B., & Kaya, A. (2008). Influence of fat replacers on chemical composition, proteolysis, texture profiles, meltability and

## Improving the rheological properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese by incorporation of whey protein concentrate and enzymatic treatment of transglutaminase

Danesh, E. <sup>1</sup>, Jooyandeh, H. <sup>2\*</sup>, Goudarzi, M. <sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. M.Sc., Department of Food Science & Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: 2015/08/18 Accepted: 2015/10/14)

Ultrafiltered Feta Cheese has the highest per capita consumption amongst cheese varieties in Iran; however, there is mounting concern about the adverse health effects associated with high fat content of such products. On the other hand, fat reduction in cheese is usually accompanied by loss of rheological quality. The present research was thus aimed at improving the rheological properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese by incorporation of whey protein concentrate (WPC) (0-16 per cent replacement of WPC solution with retentate, V/V) and enzymatic treatment of transglutaminase (0-2 units/g protein). The results revealed that lowering the fat content adversely influenced the textural characteristics of UF-Feta cheese through increasing rheological parameters including fracture stress and Young's, storage and loss moduli. Incorporating the whey protein into the cheese matrix significantly promoted the moisture to protein (M: P) ratio which in turn led to improving the rheological properties of low-fat Iranian UF-Feta cheese. It was observed that enzymatic treating of the retentate particularly at the higher concentration of transglutaminase would result in cheese samples with firmer texture in terms of investigated rheological parameters. Response surface optimization showed that desired rheological properties for low-fat Iranian UF-Feta cheese were obtainable using 5.53% fat, 0.405 TG and 12.75 WPC. The low-fat Iranian UF-Feta cheese with optimum formulation exhibited the rheological properties similar to full-fat control cheese (containing 16% fat) and had a more porous structure in comparison with low-fat control sample. Sensory evaluation revealed that the optimized sample was considerably more appreciated by consumers than its low-fat counterpart.

**Keywords:** Low-fat Ultrafiltered cheese, Transglutaminase enzyme, Whey protein concentrate, Rheology, Response Surface Methodology.

---

\* Corresponding Author E-Mail Address: hosjooy@yahoo.com