

## رئولوژیکی دینامیک (نوسانی) پنیرپیتزای پروسس آنالوگ حاوی نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات

فرناز رضائیان عطار<sup>۱</sup>، جواد حصارى<sup>۲\*</sup> و حسین جدیری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۹۳/۲/۱۵

<sup>۱</sup> دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی پردیس بین المللی ارس دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> مدیر تحقیق و توسعه شرکت شیر پاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی

\*مسئول مکاتبه: Email: jhesari@tabrizu.ac.ir

### چکیده

پنیر پیتزای آنالوگ، محیطی مناسب را برای بررسی برهم کنش‌های نشاسته-کازئین، از دیدگاه رئولوژیکی فراهم می‌سازد. افزودن نشاسته می‌تواند اقدامی مفید و مقرون به صرفه برای بهبود ویژگیهای عملکردی پنیر پیتزای آنالوگ باشد. پنیرهای آنالوگ حاوی ۲، ۳ و ۵٪ وزنی-وزنی نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات تولید شدند و رئولوژی دینامیک این محصولات تحت آزمون روبش دما در مقایسه با نمونه کنترل (بدون نشاسته) مطالعه گردید. ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک پنیرهای آنالوگ حاوی سطوح گوناگون نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده با استفاده از یک رئومتر تحت کرنش ثابت بررسی گردید. مدول ذخیره ( $G'$ )، مدول افت ( $G''$ ) و زاویه افت ( $\text{Tan}\delta$ ) به عنوان تابعی از دما ( $100^{\circ}\text{C}$ - $35^{\circ}\text{C}$ ) اندازه گیری شدند. مدول ذخیره و مدول افت پنیرهای آنالوگ، به طور معنی داری در تمامی دماهای آزمون ( $100^{\circ}\text{C}$ - $35^{\circ}\text{C}$ ) با افزودن نشاسته افزایش یافتند ( $P \leq 0.05$ ). افزودن نشاسته به طور معنی داری مقدار حداکثر  $\text{Tan}\delta$  را در مقایسه با نمونه کنترل کاهش داد ( $P \leq 0.05$ ) و افزودن ۵٪ وزنی-وزنی نشاسته در جایگزینی جزئی کازئینات، بزرگترین تاثیر را داشت. در ارزیابی حسی از نظر بافت و احساس دهانی، بالاترین امتیاز به نمونه‌ی کنترل تعلق گرفت، درحالی که نمونه‌ی حاوی ۵٪ وزنی-وزنی نشاسته دارای پائین ترین امتیاز بود و نمونه‌ها از این نظر با یکدیگر تفاوت آماری معنی داری نداشتند ( $P \geq 0.05$ ). نتایج این پژوهش نشان داد که افزودن نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، ویژگیهای رئولوژیکی دینامیک را به عنوان تابعی از دما و در نتیجه ویژگیهای عملکردی (برای مثال، ذوب پذیری)، و همچنین ویژگی‌های حسی پنیر پیتزای آنالوگ را تحت تاثیر قرار داد.

**واژگان کلیدی:** پنیر پیتزای پروسس آنالوگ، نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، رئولوژی دینامیک (نوسانی)، آزمون روبش دما، ارزیابی حسی

## مقدمه

پنیرهای آنالوگ یا شبه پنیرها، با پنیرهای طبیعی متفاوت هستند، زیرا در تولید آنها به جای پروتئین طبیعی شیر، از کازئینات یا دیگر منابع پروتئینی و همچنین روغن های گیاهی، نمک های امولسیفایر و آب (بدون اضافه کردن رنت یا باکتری های استارتر) استفاده می شود. عموماً، یک سیستم طعمی تا حد امکان مشابه به پنیر طبیعی نیز در پنیرهای آنالوگ ایجاد می گردد (بچمن ۲۰۰۱ و مولویپیل و مک کارتی ۱۹۹۳). همچنین، روش فرآوری مناسبی برای فراهم سازی ویژگیهای مورد نیاز بافتی و عملکردی محصول ضروری است. پنیرهای آنالوگ ممکن است به عنوان محصولات مهندسی شده شناخته گردند. تولید پنیر آنالوگ از جنبه های مختلف حائز اهمیت است. نخست آنکه، تولید یک شبه پنیر، به تولید کنندگان اجازه ای ایجاد قلمروی بزرگتر در دستکاری ترکیبات، در جهت اهداف تغذیه ای، بافتی و طعمی را می دهد. تنوع گسترده ای از شبه پنیرهای فرموله شده که در آنها اجزای جامد غیر چربی شیر و چربی شیر با کازئینات ها و روغن های گیاهی جایگزین شده اند، در آمریکا در دسترس هستند (کیلی و همکاران ۱۹۹۱). همچنین، به دلیل افزایش سریع قیمتها، پنیر به تدریج در حال خارج شدن از رژیم غذایی گروه های با درآمد کمتر می باشد. تولید محصولات شبه پنیر، با جایگزینی ترکیبات مشتق شده از شیر دارای قیمت بالا با ترکیبات دارای قیمت پائین تر از منابع گیاهی، ممکن است راه حل احتمالی برای این مشکل اقتصادی باشد (جرجیس و همکاران ۱۹۸۵). هزینه ای تولید پنیر آنالوگ می تواند به طور قابل توجهی کمتر از همتای طبیعی خود باشد. علاوه بر صرفه جویی در فرآیند تولید، مواد خام نیز به طور قابل توجهی ارزان تر از شیر هستند (شو ۱۹۸۴). از سوی دیگر، دسترسی کمتر به منابع محصولات شیری در برخی از مناطق جهان، موجب افزایش علاقه به استفاده از ترکیبات جایگزین از منابع گیاهی، در تولید برخی پنیرهای آنالوگ شده است (احمد و همکاران ۱۹۹۵ و مک نات ۱۹۸۹). در کشور های در حال توسعه که

محصولات لبنی گران هستند یا کیفیت ناکافی را دارند، جایگزین های لبنی آماده شده از گیاهان، گزینه ای مغذی دیگری را فراهم می کنند (سنتوس و همکاران ۱۹۸۹ و حبیبی نجف آبادی و همکاران ۱۳۹۰). همچنین، علاقه روز افزون و همیشگی در میان مصرف کنندگان به محصولات غذایی حاوی مقدار کمتر چربی کل، چربی اشباع، کلسترول و کالری وجود دارد. چنین محصولاتی در کنترل وزن بدن و کاهش خطر ابتلا به بیماری های قلبی و عروقی مفید می باشند (کونگ-چن و همکاران ۱۹۹۱ و مورتسنس و مک کارتی ۱۹۹۱).

فروش پنیر آنالوگ ارتباط نزدیکی با توسعه در بخش غذاهای فوری دارد (بی نام ۱۹۹۹). در واقع ترجیح مصرف کننده به غذاهای فوری دارای پنیر ذوب شده مانند پای پیتزا و سس ها، تولید پنیرهای آنالوگ را ضروری کرده است، در این میان، پنیر موزارای آنالوگ از جایگاه ویژه ای برخوردار است (جانا و اوپادهیای ۲۰۰۳). صنایع شیر کشور باید توجه نمایند که محصولات آنالوگ، نتیجه ای توسعه ای فن آوری تولید برای پاسخ به نیازهای بازار می باشند، بنابراین عدم اهتمام به آنها به معنی کم کردن نوآوری محصول و فرصت های بازار است (بچمن ۲۰۰۱).

ویژگی های عملکردی پنیر آنالوگ بوسیله مواد متشکله کنترل می گردند (مک ماهون و اوبرگ ۱۹۹۸). بنابراین تغییر فرمولاسیون پنیر آنالوگ نیازمند شناخت رفتار عملکردی اجزای آن در کاربردهای عملی مانند پیتزا و لازانیا است. برای چنین کاربردهایی، پیش بینی سختی به منظور رنده کردن، ریز کردن، خرد کردن پنیر و ذوب پذیری ضروری است. مشتقات کازئین در محصولات پنیر آنالوگ به طور عمده ای به دلیل ویژگیهای عملکردی، مانند هیدراسیون، امولسیفیکاسیون چربی و همچنین ویژگیهای تغذیه ای استفاده می گردند (ورنون ۱۹۷۲). در هر حال، کاربرد این ترکیبات به دلیل هزینه ای بالا و نقایص عملکردی معین محدود است. پروتئین های گیاهی ارزان (چن و همکاران ۱۹۷۹ و یانگ و تارانتو ۱۹۸۲)، صمغ ها

پنیرهای آنالوگ حاوی سطوح مختلف انواع نشاسته‌ی طبیعی (ذرت، ذرت مومی، گندم و سیب زمینی) (مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱؛ یه و هویت ۲۰۰۹؛ مونسی ۲۰۰۹؛ مونسی و اوریوردان ۲۰۰۸b) و اصلاح شده (برنج، ذرت، ذرت مومی، گندم، برنج) (آریمی و همکاران ۲۰۱۱؛ آریمی و همکاران ۲۰۱۲؛ مونسی و اوریوردان ۲۰۰۸a؛ مونسی و اوریوردان ۱۹۹۹) در اثر حرارت را دارد، که می‌تواند در مرحله تولید و استفاده نهایی، برای مثال در محصولات پیتزا، مفید باشد. هدف از این مطالعه تعیین اثرات افزودن نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده (استیله شده و دارای اتصال عرضی) به عنوان جایگزین گیاهی و جزئی کازئینات، بر ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک طی اعمال حرارت، و ویژگی‌های حسی پنیر پیتزای پروسس آنالوگ بود.

#### مواد و روش‌ها

مواد اولیه‌ی مورد استفاده در فرمول بندی پنیر پیتزای آنالوگ بدین شرح بودند: نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده (دارای اتصال عرضی و استیله شده) (ADAMYL، KMC، CN-cod: 3505.10.50، EC-cod: E 1422 دانمارک) که سفید رنگ و دارای pH ۶-۸ بود؛ کازئینات سدیم با مارک تجاری DMV تولید کشور هلند (رطوبت ۶٪، میزان پروتئین ۸۸٪ و چربی و خاکستر ۶٪)؛ پودر طعم دهنده‌ی آویشن (شرکت زیلان، آمل، ایران)؛ و روغن گیاهی بادام زمینی که به روش پرس سرد تهیه گردید. کلیه مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه ساخت شرکت مرک آلمان و با درجه خلوص تجزیه ای بودند.

#### تهیه پنیر

تولید پنیر پیتزای آنالوگ (APC<sup>۲</sup>)، که مشابه تولید سایر محصولات پنیر پروسس (PCPs<sup>۳</sup>) می‌باشد، شامل فرمولاسیون، فرآوری و بسته بندی محصول ذوب شده‌ی داغ است، در حالی که فرمولاسیون APC با فرمولاسیون

و انواع نشاسته (گینی و همکاران ۲۰۰۴؛ مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶؛ مونسی و اوریوردان ۱۹۹۹؛ مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱ و زوئیرکن و همکاران ۱۹۸۷) پتانسیل متفاوتی را به عنوان جایگزین کازئین در پنیر آنالوگ نشان داده‌اند. از میان آنها، نشاسته کارآمدترین جایگزین کازئین با قیمت پائین است (گینی و همکاران ۲۰۰۴). نشاسته به دلایل هزینه ای و سلامتی بخشی به پنیر آنالوگ اضافه می‌شود (گینی و همکاران ۲۰۰۴؛ مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶ و مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱ و کونسیدین و همکاران ۲۰۱۰).

پنیر یکی از اولین غذاهایی بود که بوسیله روش‌های رئولوژیکی بنیادی بررسی گردید (تانیک ۲۰۱۰). ویژگی‌های رئولوژیکی پنیرهای آنالوگ به دلیل اینکه به طور گسترده ای به عنوان یکی از اجزا در غذاهای آماده مانند انواع پیتزا، برگر و ساندویچ‌های توست شده استفاده می‌گردند، بسیار مهم می‌باشند (گینی و همکاران ۲۰۰۴). رئولوژی دینامیک، روشی اساسی است که برای اهداف مختلفی در تحقیقات پنیر استفاده شده است. این تکنیک برای تشخیص پنیر موزارلای آنالوگ از طبیعی (نولان و همکاران ۱۹۸۹) و پنیر چشیر<sup>۱</sup> و چدار (تانیک و همکاران ۱۹۹۰) و درک رفتار رئولوژیکی مرتبط با کاهش چربی در پنیر چدار (اوستونول و همکاران ۱۹۹۵) بکار رفته است. آنالیزهای دینامیک، برای ارزیابی تاثیر روشهای انبارداری (آک و گوناسکاران ۱۹۹۶ و دیفیس و همکاران ۱۹۹۳) و دماهای پخت (یون و همکاران ۱۹۹۴) بر رئولوژی پنیر موزارلا نیز استفاده شده‌اند. همچنین، رئولوژی پنیر ذوب شده به طور موفقیت آمیزی با استفاده از اندازه گیری‌های دینامیک مشخص شده است (دیفیس و همکاران ۱۹۹۳؛ هسیه و همکاران ۱۹۹۳؛ نولان و همکاران ۱۹۸۹ و اوستونول و همکاران ۱۹۹۴). علاوه بر این، رئولوژی دینامیک، پتانسیل فراهم سازی اطلاعات مرتبط با تغییرات ایجاد شده در خواص ویسکوالاستیک

<sup>۳</sup>Pasteurized processed cheese products

<sup>۱</sup>Cheshire

<sup>۲</sup>Analogue pizza cheese

گردید. با استفاده از این فرآیند، ۳ نوع پنیر پیتزای آنالوگ حاوی ۲، ۳ و ۵٪ وزنی-وزنی نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده از طریق جایگزینی این مقادیر کارئینات با نشاسته و یک نمونه کنترل (بدون نشاسته) آماده شدند. سه بچ ۱۰۰ گرمی از هر نوع پنیر تولید گردید.

فرآیند استفاده شده برای تهیه‌ی پنیر (حرارت غیرمستقیم در یک حمام آب ۷۸ درجه‌ی سلسیوس همزمان با همزنی در ۱۰۰ دور در دقیقه با استفاده از یک همزن دستی) سبب مخلوط شدن کافی در حین شدت نسبتاً پائین برش مکانیکی، در مقایسه با اثرات هموژنیزه کردن برخی از دیگ‌های پنیر پروسس می‌گردد (فاکس و همکاران ۲۰۰۰) و بنابراین سبب درجه پایین پراکندگی روغن و اندازه نسبتاً بزرگ گلبول آن می‌شود.

اضافه کردن طعم دهنده در انتهای فرآیند تولید، از دست رفتن طعم‌های فرار را حداقل می‌کند. درجه‌ی pH محصول نهایی، با اضافه کردن نمک امولسیفایر، که pH مخلوط را طی فرآوری تنظیم و بافاری می‌کند، تنظیم می‌گردد. اضافه کردن اسید در حدود انتهای فرآوری، روشی مرسوم برای تعدیل pH محصول پخته شده تا میزان مورد نیاز در محصول نهایی می‌باشد.

#### ترکیب شیمیایی

نمونه‌های پنیر آنالوگ، تحت آزمون‌های اندازه‌گیری رطوبت (استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۵۳)، چربی (استاندارد ملی ایران شماره ۷۶۰)، پروتئین (استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۱۱)، و pH (pH متر Knick، مدل ۷۶۶، آلمان) (استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۵۲) قرار گرفتند. تمامی آنالیزها در ۳ تکرار انجام شدند.

**ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک به عنوان تابعی از دما**

اندازه‌گیری‌های رئولوژیکی دینامیک (نوسانی) با استفاده از یک رئومتر (مدل Paar Physica UDS 200، ساخت Universal Dynamic Spectrometer، اتریش) تحت کرنش ثابت ۰/۵٪ (زیر ۱٪) برای ایجاد ناحیه ویسکوالاستیک خطی و در فرکانس ثابت ۱ هرتز، ۵ روز

PCPs متفاوت است، زیرا به طور معمول در فرمولاسیون پنیر پیتزای آنالوگ، پنیر وجود ندارد، گرچه ممکن است مقداری پنیر به عنوان عامل طعم دهنده اضافه گردد. نمونه‌های پنیر آنالوگ در کارخانه شیر پاستوریزه پگاه تبریز تهیه شدند. نمونه‌ها با ۲۸/۵٪ آب؛ ۳۰٪ کارئینات سدیم که در درصدهای ۲، ۳ و ۵٪ وزنی-وزنی (مونسی ۲۰۰۹؛ مونسی و اوریوردان ۲۰۰۸b؛ یه و هویت ۲۰۰۹؛ نورونها و همکاران ۲۰۰۸؛ مونسی ۲۰۰۹) با مقادیر متناظر از نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در فرمولاسیون تولید جایگزین گردید (جدول ۱)؛ ۲۵٪ روغن بادام زمینی؛ ۱/۹۸٪ نمک امولسیفایر سیترات سدیم؛ ۰/۰۲٪ نمک کلسیم کلرید (تقویت خصوصیت کشسانی) (بچمن ۲۰۰۱)؛ ۰/۴٪ لاکتیک اسید؛ ۰/۱٪ نگهدارنده پتاسیم سوربات؛ ۲٪ نمک طعام (تشدید کننده طعم) و ۲٪ پودر آویشن (طعم دهنده)؛ با استفاده از حرارت غیرمستقیم در یک حمام آب ۷۸ درجه‌ی سلسیوس همزمان با همزنی در ۱۰۰ دور در دقیقه با استفاده از یک همزن دستی تولید شدند. تمامی مواد خشک (کارئینات سدیم، نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، سیترات سدیم، کلسیم کلرید، نمک طعام و پتاسیم سوربات) و آب، در ظرف استیل در دمای آزمایشگاه مخلوط شدند، سپس روغن بادام زمینی اضافه گردید و پخت در دمای ۷۸ درجه سلسیوس حین همزنی تا زمانی که یک توده‌ی نوب شده‌ی همگن حاصل گردید (۶ دقیقه) صورت گرفت (pH ~ ۸/۵). سپس لاکتیک اسید و پودر آویشن اضافه شد و مخلوط کردن به مدت ۲ دقیقه (تا زمانی که یک توده‌ی پنییری همگن و به خوبی امولسیفیه شده تشکیل گردید) ادامه یافت. در ادامه، توده‌ی داغ نوب شده قالب گذاری شد و برای کند کردن توسعه اضافی بافت، که رئولوژی نهایی پنیر آنالوگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد، به سرعت به یک فریزر با دمای ۱۰ درجه‌ی سلسیوس زیر صفر منتقل شد (مونسی ۲۰۰۹)، پس از حدود ۲۰ دقیقه از فریزر خارج گردید، با سلفون بسته بندی گشت و سپس به یخچال با دمای ۴ درجه‌ی سلسیوس منتقل شد و در این دما تا هنگام نیاز انبار

میلی متر بود. دمای نمونه ها از ۳۵ تا ۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس با سرعت ۵ درجه‌ی سلسیوس در دقیقه افزایش یافت. پارامترهای اندازه گیری شده به عنوان تابعی از دما، شامل مدول نخیر ( $G'$ )، مدول افت ( $G''$ ) و زاویه افت ( $Tan\delta (G' / G'')$ ) بودند.

پس از تولید نمونه، در دانشکده مهندسی پلی مر دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام شدند. برطبق روش مونسی و اوربوردان (۱۹۹۹)، تعیین ویژگیهای رئولوژیک نمونه های دیسک شکل (با شعاع ۲۵ میلی متر و ضخامت ۱/۹ میلی متر)، با استفاده از ژئومتری صفحه-صفحه (Plate and Palate) با قطر ۲۵ میلی متر انجام شد و میزان (فاصله بین صفحه گردان و صفحه ثابت) معادل با ۱/۸

جدول ۱- مقدار ترکیبات مورد استفاده در فرمولاسیون نمونه های مختلف پنیر (درصد وزنی)

ترکیبات	شاهد	St28-2	St27-3	St25-5
آب	۳۸/۵	۳۸/۵	۳۸/۵	۳۸/۵
کارئینات سدیم	۳۰	۲۸	۲۷	۲۵
نشاسته سیب زمینی اصلاح شده	—	۲	۳	۵
روغن بادام زمینی	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
سیترات سدیم	۱/۹۸	۱/۹۸	۱/۹۸	۱/۹۸
کلسیم کلرید	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
لاکتیک اسید	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴
پتاسیم سوربات	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
نمک طعام	۲	۲	۲	۲
پودر آویشن	۲	۲	۲	۲

حدود ۱۰ دقیقه، مکعب های پنیر دارای پوشش آلومینیوم، با قرار گرفتن در یک آون  $200^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴ دقیقه تحت حرارت قرار گرفتند و سپس به مدت حدود ۱ دقیقه تا  $60^{\circ}\text{C}$  بر روی میز خنک شدند و سپس به پنلیست ها داده شدند. دمای نمونه های پنیر با واردسازی یک ترموکوپل نوع T (Tempsens Instruments، هند) در مرکز قطعه پنیر به مدت ۲۰ ثانیه ثبت شد. پنلیست ها برای ارزیابی نمونه های داغ بلافاصله پس از باز کردن بسته بندی، تحت آموزش قرار گرفتند. طی آزمون به پنلیست ها بیسکویت و آب داده شد. نتایج فرم ها پس از جمع آوری جهت آنالیز آماری استفاده گردید.

#### تحلیل آماری

نتایج این مطالعه در قالب طرح کاملاً تصادفی و با استفاده از نرم افزار SPSS v.19 تجزیه و تحلیل گردید. برای

#### ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی از ۱۰ نفر (۵ مرد و ۵ زن) از دانشجویان آموزش دیده دانشگاه تبریز در رنج سنی ۱۸-۲۵ سال خواسته شد تا با آزمون کیفی نمونه های پنیر آنالوگ تولیدی که به طور تصادفی رمزگذاری شماره ای شده بودند، نظر خود را پیرامون بافت و احساس دهانی ۴ نمونه متفاوت پنیر با درج رتبه ای بین ۱ تا ۴ (یک=مطلوب ترین و چهار= نامطلوب ترین) در فرم مربوطه بر طبق روش میلگارد و همکاران (۱۹۹۱) بیان کنند. نمونه های مورد ارزیابی پس از ۵ روز انبار پس از تولید بدست آمدند. پنلیست ها در مکان های جداگانه نشانده شدند. قبل از ارزیابی، هر پنیر به شکل مکعب های ۱۰ گرمی بریده شد، در دمای اتاق ( $21^{\circ}\text{C}$ ) به تعادل رسید و در دمای اتاق ( $21^{\circ}\text{C}$ ) در فویل آلومینیوم قرار داده شد. پس از وقفه‌ی

میزان چربی با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند ( $P \geq 0/05$ ). مقادیر چربی به طور پیوسته از  $0/10 \pm$  تا  $25/06$  گرم (شاهد) تا  $0/39 \pm$  تا  $24/96$  گرم ( $St25-5$ ) با افزایش سطح نشاسته (۰٪ تا ۵٪ وزنی-وزنی) کاهش یافت. بیشترین و کمترین میزان رطوبت به ترتیب در نمونه های شاهد و  $St25-5$  مشاهده گردید و نمونه ها از نظر میزان رطوبت با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند ( $P \geq 0/05$ ). بیشترین و کمترین میزان pH نیز به ترتیب در نمونه های شاهد و  $St25-5$  مشاهده شد و از نظر میزان pH، تفاوت معنی داری میان نمونه ها مشاهده گردید ( $P \leq 0/05$ ).

$St25-5$  به دلیل جدا شدن چربی و رطوبت طی مرحله پخت، مقدار رطوبت و چربی کمتری را نسبت به محصولات دیگر داشت. این محصول، در زمان افزودن اسید لاکتیک، به دلیل مقدار کمتر کازئینات و ظرفیت بافری اش، دچار افت pH گردید. نتیجتاً، pH این نمونه پنیر، اساساً با محصولات دیگر متفاوت بود که با مطالعات مونسو و اورپوردان (۲۰۰۸b) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین تیمارها از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel صورت گرفت. کلیه تیمارها و آزمایش ها در ۳ تکرار انجام گرفتند.

## نتایج و بحث

### ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی پنیرهای آنالوگ حاوی سطوح متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، در جدول ۲ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود، بیشترین و کمترین میزان پروتئین، در نمونه های شاهد و  $St25-5$  مشاهده گردید و نمونه‌ها از این نظر با یکدیگر اختلاف معنی داری نداشتند ( $P \leq 0/05$ ). در واقع، محصولات حاوی نشاسته، به دلیل جایگزینی کازئینات با نشاسته، مقادیر پروتئین پایین تری را نسبت به نمونه شاهد داشتند. بیشترین و کمترین میزان چربی، به ترتیب در نمونه های شاهد و  $St25-5$  مشاهده شد، در حالی که نمونه ها از نظر

جدول ۲- ترکیب شیمیایی نمونه های پنیر

نمونه	% پروتئین	% چربی	% رطوبت	pH
شاهد	$20/46 \pm 0/12^a$	$25/06 \pm 0/10^a$	$37/01 \pm 0/25^a$	$5/99 \pm 0/02^a$
$St28-2$	$28/43 \pm 0/31^b$	$25/21 \pm 0/30^{ab}$	$37/95 \pm 0/30^a$	$5/94 \pm 0/02^b$
$St27-3$	$27/48 \pm 0/34^c$	$25/11 \pm 0/32^{ab}$	$36/91 \pm 0/34^a$	$5/93 \pm 0/03^b$
$St25-5$	$25/07 \pm 0/37^d$	$24/96 \pm 0/39^b$	$36/82 \pm 0/39^a$	$5/89 \pm 0/03^b$

مقادیر، نشان دهنده میانگین سه تکرار می باشند. حروف مشابه درستون، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار (در سطح ۵ درصد) است.

دینامیک وابسته به دمای پنیر آنالوگ می گردد (مونسو و اورپوردان ۲۰۰۱). اثرات جداگانه انواع نشاسته طبیعی بر پنیر آنالوگ، تحت تاثیر ویژگیهایی مانند اندازه گرانول، دمای ژلاتینیزاسیون و میزان آمیلوز می باشد (مونسو و اورپوردان ۲۰۰۱).

مدول ذخیره  $G'$  شاخص توانایی ماده برای ذخیره‌ی انرژی و خصوصیت الاستیک آن است، در حالیکه مدول افت ( $G''$ ) شاخص توانایی ماده برای پراکنده سازی

ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک به عنوان تابعی از دما مطالعات قبلی نشان داده است که برهم کنش میان نشاسته‌ی افزوده شده و کازئین، ویژگیهای رئولوژیکی پنیر آنالوگ را تحت تاثیر قرار می‌دهد (مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶؛ مونسو و اورپوردان ۱۹۹۹ و مونسو و اورپوردان ۲۰۰۱). افزودن انواع نشاسته طبیعی و اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئین، سبب تغییرات معنی داری در ویژگی‌های بافتی، نوبی و ویژگی‌های رئولوژیکی

انرژی است (که خصوصیت ویسکوز آن است).  $Tan\delta$  است، که مقادیر کمتر از ۱ نشان دهنده رفتاری شبیه ژل شاخص مناسبی از خصوصیت ویسکوالاستیک ماده است.

جدول ۳- تاثیر افزودن مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات بر مقادیر  $G'$ ،  $G''$  و  $Tan\delta$  در  $35^{\circ}C$ : و بر مقدار ماکزیم  $Tan\delta$  در رنج  $35-100^{\circ}C$ ، در پنیر آنالوگ

Tan $\delta$ (Max) ( $35-100^{\circ}C$ )	Tan $\delta$ ( $35^{\circ}C$ )	$G''$ (KPa) ( $35^{\circ}C$ )	$G'$ (KPa) ( $35^{\circ}C$ )	نوع پنیر
$1/43 \pm 0/04^a$	$0/31 \pm 0/05^a$	$31/3 \pm 1/2^c$	$100 \pm 1/8^d$	شاهد
$1/33 \pm 0/06^b$	$0/25 \pm 0/06^{ab}$	$32/1 \pm 0/7^{bc}$	$124 \pm 2/3^c$	St28-2
$1/28 \pm 0/03^b$	$0/21 \pm 0/04^{bc}$	$33/4 \pm 1/1^{ab}$	$155 \pm 4/1^b$	St27-3
$1/19 \pm 0/02^c$	$0/15 \pm 0/02^c$	$34/7 \pm 0/9^a$	$222 \pm 3/4^a$	St25-5

مقادیر، نشان دهنده میانگین سه تکرار می باشند. حروف یکسان درستون، نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی دار (در سطح ۵ درصد) است.

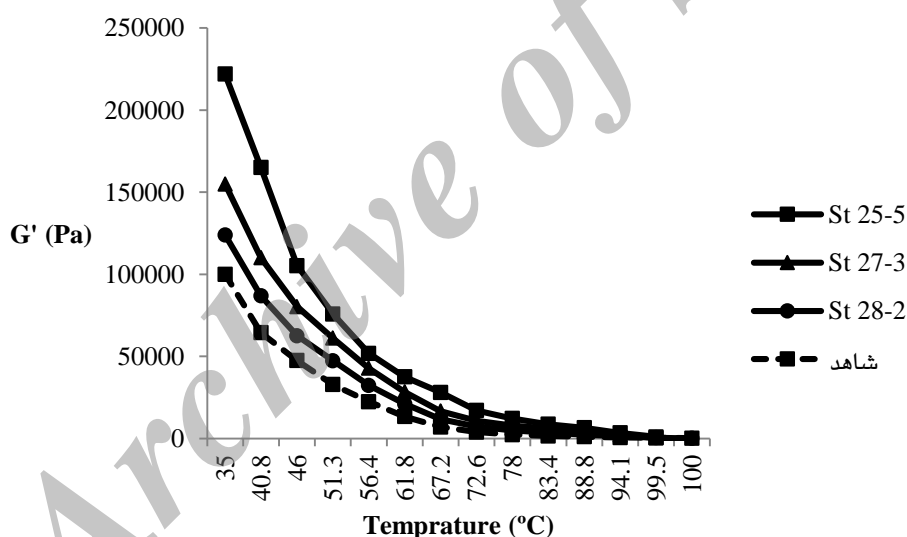
حرارتدهی در رنج  $35-100^{\circ}C$ ، مقدار ماکزیم  $Tan\delta$  برای محصولات حاوی نشاسته، با افزایش سطح نشاسته کاهش یافت، که نشان دهنده‌ی قدرت ژلی بالاتر می باشد و منعکس کننده‌ی گرایش نشاسته به کم کردن ذوب پذیری است (مونسی و اورپوردان 2008b). نمونه St25-5، مقدار ماکزیم  $Tan\delta$  خود را که برابر  $1/19 \pm 0/02$  بود، در دمای  $83/4^{\circ}C$  داشت، نمونه های شاهد، St28-2 و St27-3 مقدار ماکزیم  $Tan\delta$  خود را به ترتیب در دماهای  $94/1$ ،  $88/7$ ،  $88/8$  درجه‌ی سلسیوس داشتند.

مقادیر  $G'$  و  $G''$  نمونه های پنیر حاوی غلظت های متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات به عنوان تابعی از دما نشان داده شده اند (شکل ۱ و ۲). مقادیر  $G'$  و  $G''$  تمامی نمونه ها بطور معنی داری با افزایش دما از ۳۵ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس کاهش یافت ( $P \leq 0/05$ )، که نشان دهنده نرم شدن شبکه پنیر است. زمانی که پنیر آنالوگ حرارت داده می شود، احتمال دارد که شبکه کازئین تخریب گردد و گلبول های چربی مایع گون شوند که سبب پلاستیزاسیون ماتریکس پروتئین شده و به آن اجازه می دهد تغییر شکل داده و جریان یابد. این مطلب می تواند ارتباط معکوس مدول ها با دما را توضیح دهد. در حالی که  $G'$  و  $G''$  تمامی نمونه های پنیر آنالوگ با افزایش دما کاهش یافت، تغییرات در مدول ها

با توجه به جدول ۳، مدول ذخیره  $G'$  نمونه St25-5 در  $35^{\circ}C$  ( $222 \pm 3/4$  kPa)، به طور معنی داری بالاتر از نمونه های دیگر بود ( $P \leq 0/05$ ). مونسی و اورپوردان (2001) گزارش کردند که استفاده از انواع نشاسته‌ی دارای آمیلوز بالا، سختی پنیر آنالوگ را افزایش داد، که ناشی از پیوند هیدروژنی مولکول های آمیلوز که از ذرات نشاسته طی پخت پنیر نشت می کنند بود، بنابراین افزایش  $G'$  پنیر با جایگزینی پروتئین توسط نشاسته، می تواند بدین وسیله توضیح داده شود (مونتسینوس و همکاران 2006 و مونسی و اورپوردان 2001). همچنین نشاسته بر تحرک آب نیز تاثیرگذار است، بطوریکه پنیرهای حاوی نشاسته بیشتر اتصال محکم تری به آب دارند، در حالی که آب در پنیرهای حاوی درصد پائین تر نشاسته متحرک تر است و هرچه آب متصل تر باشد، میزان  $G'$  بالاتر می رود (نورونها و همکاران 2008). برای تمامی نمونه ها در  $35^{\circ}C$ ، مقدار  $G'$  از  $G''$  بزرگتر بود که نشان دهنده‌ی غالب بودن رفتار الاستیک پنیرهای آنالوگ می باشد. همچنین، با افزایش سطح نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، هر دوی مقادیر  $G'$  و  $G''$  در یک دمای معین، افزایش یافتند (یه و هویت 2009). علاوه بر این، نمونه St25-5 کمترین مقدار  $Tan\delta$  را در  $35^{\circ}C$  داشت، که به طور معنی داری با نمونه های دیگر متفاوت بود ( $P \leq 0/05$ ). طی

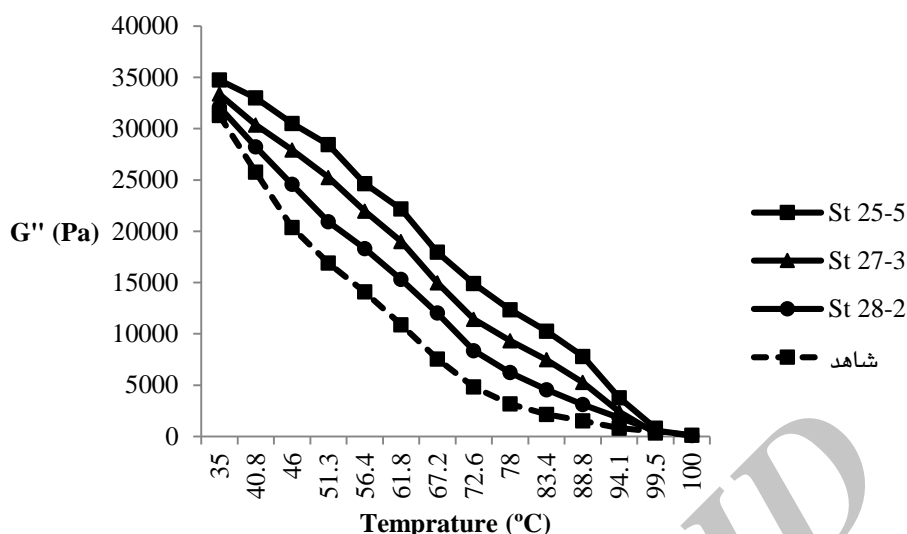
طی فرآوری یا انبارداری، ممکن است با اختلال ترموپلاستیسیته محصولات پنیر آنالوگ طی حرارت مجدد مرتبط باشد (مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱). پنیر آنالوگ St28-2 مقادیر  $G'$  و  $G''$  نزدیک تری را نسبت به نمونه های دیگر به شاهد، در رنج دمایی ۳۵ تا ۱۰۰ درجه‌ی سلسیوس داشت. این نتایج با پژوهش های مشابهی که در رابطه با پنیر طبیعی (هسیه و همکاران ۱۹۹۳ و روزنبرگ و همکاران ۱۹۹۵) و پنیر آنالوگ (مونسی و اوریوردان ۱۹۹۹ و ژو و مولوانی ۱۹۹۸) انجام شدند، مطابق بود. این نتایج برای پیش بینی ویژگی‌های عملکردی (برای مثال، ذوب پذیری) پنیر پیتزای آنالوگ، مفید خواهد بود.

نسبت به نمونه کنترل بوسیله مقادیر متفاوت نشاسته تحت تاثیر قرار گرفت. تمامی محصولات حاوی نشاسته، به طور معنی داری مقادیر  $G'$  و  $G''$  بالاتر را در مقایسه با شاهد، طی رنج دمایی حفظ کردند ( $P \leq 0.05$ ). همچنین، تفاوت های  $G'$  و  $G''$  میان محصولات حاوی نشاسته، در تمامی دماها حفظ شدند ( $P \leq 0.05$ ). این آزمون رئولوژیکی دینامیک، که در ناحیه ویسکوالاستیک خطی انجام شد، نشان داد که محصولات حاوی سطوح بالاتر نشاسته، الاستیسیته خود را طی حرارتدهی بیشتر از شاهد حفظ کردند. احتمالاً به این علت که آمیلوز از گرانول های نشاسته طی فرآوری پنیر آنالوگ نشت می کند، در نتیجه پیوند عرضی (رتروگراداسیون) آمیلوز نشت کرده



شکل ۱- تاثیر دما بر مدول ذخیره  $G'$  پنیرهای آنالوگ حاوی مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات



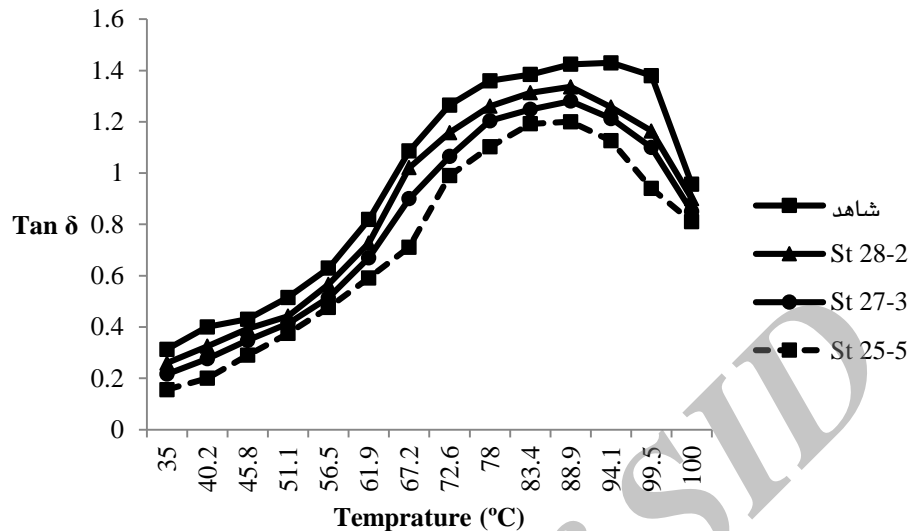


شکل ۲- تاثیر دما بر مدول افت  $G''$  پنیرهای آنالوگ حاوی مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات

مقادیر  $\tan \delta$  نمونه های پنیر حاوی مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات به عنوان تابعی از دما در شکل ۳ نشان داده شده‌اند. مقادیر  $\tan \delta$  برای تمامی نمونه های پنیر آنالوگ با افزایش دما تا میزان معینی (بسته به نوع نمونه)، افزایش یافتند که نشان دهنده‌ی این است که جزء الاستیک نمونه در مقدار بیشتری نسبت به جزء ویسکوز کاهش می یابد و بیانگر ضعیف شدن آرایش شبکه و افزایش جریان پذیری پنیر آنالوگ در دماهای بالا است (سانچز و همکاران ۱۹۹۴) و این مقادیر پس از رسیدن به میزان ماکزیم خود، به تدریج کاهش یافتند. افزایش  $\tan \delta$  احتمالاً اختلال برهم کنش میان پروتئین ها، همراه با اثر روان کنندگی روغن را منعکس می کند. ماتریکس پروتئینی طی حرارتدهی انرژی جذب می کند که بر تعادل میان برهم کنش های آنتروپیک و آنتالپیک تاثیر می گذارد، بطوری که مورد اول قوی تر می گردد، درحالی مورد دوم با حرارت تا دمای معین، ضعیف تر می شود. تخریب برهم کنش های پروتئینی دارای آنتالپی کنترل شده، همراه با اثرات روان کنندگی فاز روان روغن، به محصول اجازه‌ی

بر طبق گزارش مونسو و اوربوردان (۲۰۰۱) نتایج رئولوژی دینامیک در توافق با مقادیر سختی قرار دارند، به طوری که محصولات الاستیک تر (با  $G'$  بالاتر)، سخت تر نیز هستند. هلی و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که در نتایج TPA، میان سختی (x) نمونه ها و مقادیر  $G'$  در  $22^\circ\text{C}$  رابطه مستقیمی وجود داشت، بطوری که:  $y = 0.0012x^2 - 0.388x + 51.202$  ( $r^2 = 0.99$ ) مطالعه، دمای تلاقی برای نمونه‌ی کنترل ( $G''=G'$ )،  $\tan \delta = 1$  برابر  $67/2^\circ\text{C}$  بود، که نشان دهنده‌ی این است که ساختار ژلی پروتئینی پنیر، در این دما ذوب می شود (مونسو و اوربوردان ۱۹۹۹). دمایی که در آن  $\tan \delta = 1$  است، به عنوان شاخص "نقطه ذوب" پنیر آنالوگ استفاده می گردد (مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶؛ مونسو و اوربوردان ۱۹۹۹ و نورونها و همکاران ۲۰۰۷). همانطور که در شکل ۳ مشخص است، افزایش غلظت نشاسته در پنیر آنالوگ سبب افزایش نقطه ذوب می گردد. نقطه ذوب بوسیله در دسترس بودن آب تحت تاثیر قرار می گیرد (مک ماهون و همکاران ۱۹۹۶).

تغییر شکل و جریان می دهد (پائولسون و همکاران ۱۹۹۸).



شکل ۳- تاثیر دما بر زاویه افت ( $Tan\delta$ ) پنیرهای آنالوگ حاوی مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات

موضوع بطور ویژه بوسیله پائین آمدن میزان ماکزیم  $Tan\delta$  توسط نمونه های حاوی ۲-۵٪ (w/w) نشاسته مشخص می گردد. به طور کلی، کاهش مقادیر  $Tan\delta$  پنیر آنالوگ بوسیله نشاسته که نشان دهنده رفتار ساختاری الاستیک تر است، می تواند به دلیل فاکتورهایی مانند رتروگراداسیون نشاسته و دهیدراسیون ماتریکس پروتئین باشد. در دماهای بالا نیز مقادیر  $Tan\delta$  نمونه های پنیر حاوی نشاسته از شاهد پائین تر بود. برای مثال، مقادیر  $Tan\delta$  در  $100^{\circ}C$  با افزایش غلظت نشاسته کاهش یافت ( $P \leq 0/05$ ). این نتایج با نتایج گزارش شده توسط مونسو و اوربوردان (۲۰۰۱) برای پنیر آنالوگ حاوی نشاسته‌ی سیب زمینی طبیعی در توافق است. آنها گزارش کردند که پنیر آنالوگ حاوی نشاسته‌ی سیب زمینی به طور معنی‌داری مقادیر  $Tan\delta$  پائین تری را در تمامی دماها در مقایسه با کنترل داشت، گرچه غلظت نشاسته در مطالعه آنها تنها ۳٪ بود.

مونسو و اوربوردان (۱۹۹۹) رابطه میان مقادیر ماکزیم  $Tan\delta$  و ذوب پذیری انواع پنیر آنالوگ را در رنج  $100^{\circ}C$

این رفتار وابسته به دما در زمانی که پنیر آنالوگ برای کاربردهای شبیه به پیتزا طراحی می شود، بحرانی است. مقادیر  $Tan\delta$  محصول ۲-۲۸ St در تمامی دماها نسبت به نمونه های دیگر، به نمونه شاهد نزدیک تر بود، در حالی که مقادیر  $Tan\delta$  برای این نمونه به طور معنی داری در تمامی دماها پائین تر از شاهد بود ( $P \leq 0/05$ ). نمونه های حاوی نشاسته به طور معنی داری مقادیر  $Tan\delta$  کمتری را نسبت شاهد در تمامی دماها داشتند ( $P \leq 0/05$ ), که نشان دهنده رفتار ساختاری سخت تر بوده و در توافق با یافته‌های قبل برای وارد سازی نشاسته در سطوح ۳٪ و بالاتر جایگزینی پروتئین می باشد (مونسو و اوربوردان ۲۰۰۱). کاهش مقادیر  $Tan\delta$  و ذوب پذیری، با وارد سازی نشاسته حیرت آور نیست، زیرا ماتریکس ذوب پذیر کازئین با ماتریکس ترموپلاستیک نشاسته جایگزین می گردد. مولکول های آمیلوز که به دماهای بالای  $160^{\circ}C$  - برای ذوب نیاز دارند، احتمالاً مانع نرمی ماتریکس پروتئین، و نهایتاً ویژگیهای ذوب و جریان پذیری پنیر آنالوگ می شوند (مونسو و اوربوردان ۲۰۰۸b). این

و ویژگی‌های رئولوژیکی پنیر آنالوگ را در دماهای پایین تر تحت تاثیر قرار دهد.

بر طبق مونسی و اوریوردان (۲۰۰۱) پنیر آنالوگ حاوی نشاسته‌ی سیب زمینی، بالاترین مقادیر  $G'$  را در دامنه‌ی دمایی  $۲۲-۸۵\text{ }^{\circ}\text{C}$  داشت، که احتمالاً به دلیل رتروگراداسیون شدید نشاسته بود، که از جریان کازئین ممانعت می‌کند. به دلیل عدم رتروگراداسیون آمیلوز در پنیر آنالوگ حاوی نشاسته ذرت مومی، کاهش بزرگتری در مقادیر  $G'$  این محصول با افزایش دما در مقایسه با نشاسته‌های با آمیلوز بالاتر (نشاسته ذرت، سیب زمینی و گندم) انتظار می‌رود. در هر حال، حیرت آور است که پنیر آنالوگ حاوی نشاسته برنج با میزان آمیلوز متوسط، بالاترین کاهش را در  $G'$  طی حرارت دهی داشت. پنیر آنالوگ حاوی نشاسته ذرت مومی یا برنج در شکل طبیعی (گرانولی) کاهش معنی داری را در  $G'$  نسبت به شاهد طی حرارت‌دهی داشتند.

بر طبق مونسی و اوریوردان (۲۰۰۸a) مقادیر بیشینه  $\text{Tan}\delta$  محصولات حاوی انواع نشاسته پیش ژلاتینه در مقایسه با نمونه کنترل طبق ترتیب ارائه شده بود: شاهد < ذرت مومی < برنج < ذرت < گندم = سیب زمینی. این محققان در تحقیق قبلی (مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱) نتایج مشابهی بدست آوردند، که طی آن اثبات گردید که مقادیر آمیلوز انواع نشاسته‌ی طبیعی استفاده شده، بطور معکوسی با مقادیر بیشینه  $\text{Tan}\delta$  در ارتباط بود. در هر حال، پنیرهای آنالوگ حاوی انواع نشاسته طبیعی، به طور نسبی مقادیر بیشینه  $\text{Tan}\delta$  بالاتری را نسبت به محصولات حاوی انواع نشاسته پیش ژلاتینه‌ی با منابع مشابه داشتند. پروفایل  $\text{Tan}\delta$  پنیر آنالوگ حاوی نشاسته ذرت مومی، احتمالاً به دلیل مینیمم رتروگراداسیون آمیلوز، بسیار به نمونه کنترل نزدیک بود.

مونسی و اوریوردان (۱۹۹۹) پنیرهای آنالوگ حاوی مقادیر متفاوت نشاسته‌ی پیش ژلاتینه ذرت را تولید کردند و کاهش ذوب پذیری را همراه با افزایش میزان نشاسته مشاهده کردند. غیر از ذوب پذیری، تمامی انواع نشاسته،

۲۲ با استفاده از روش تجربی بررسی کردند. رابطه بالایی ( $r^2=0.96$ ) میان دو اندازه گیری یافت شد ( $P<0.01$ )، که نشان دهنده‌ی این است که مقدار ماکزیم  $\text{Tan}\delta$  می‌تواند در پیش بینی رفتار ذوب پنیر آنالوگ مفید باشد. مدول کمپلکس  $G^*$  که بوسیله رئولوژی دینامیک تعیین می‌گردد، به عنوان پیش بینی کننده‌ی مفید ذوب پذیری پنیر چدار گزارش شده است (اوستونول و همکاران ۱۹۹۵). در نتیجه، رئولوژی دینامیک می‌تواند به عنوان یک روش اساسی برای ارزیابی ذوب پذیری محصولات پنیر آنالوگ باشد، که قادر است مقایسه نتایج مطالعات مختلف را تسهیل سازد و درک ما را از ویژگیهای ذوب پنیر بهبود بخشد (مونسی و اوریوردان ۱۹۹۹). بنابراین، فاکتورهای موثر بر ذوب پذیری در محصولات حاوی نشاسته (مانند افزایش امولسیفیکاسیون چربی، هیدراسیون اندک ماتریکس پروتئین و حضور آمیلوز رتروگراده شده) احتمالاً سبب کاهش مقادیر  $\text{Tan}\delta$  در مقایسه با شاهد، در رنج دمایی مورد نظر می‌گردند (مونسی و اوریوردان ۲۰۰۱).

تاثیر ترکیبات و شرایط فرآوری گوناگون بر ویژگیهای رئولوژیکی پنیرهای آنالوگ به طور گسترده‌ای با استفاده از روش های بررسی گوناگون، مانند آزمون های رئولوژیکی در کرنش های بزرگ و کوچک، مطالعه شده است (بولند و فوئگدینگ ۱۹۹۹؛ بولند و فوئگدینگ ۲۰۰۱؛ گینی و همکاران ۲۰۰۴، لی و همکاران ۱۹۹۶ و شیراشوجی و همکاران ۲۰۰۶). گینی و همکاران (۲۰۰۴) نتیجه گیری کردند که انواع نشاسته دارای نسبت بالای آمیلوز به آمیلوپکتین گرایش به رتروگراداسیون دارند و سریعتر از آنهایی که سطح پائین تری از آمیلوز را دارند، طی انبارداری پنیر آنالوگ تشکیل ژل می‌دهند. این ژله‌ای شدن نشاسته در ساختار پنیر آنالوگ طی انبارداری، ممکن است به دلیل برگشت ناپذیری از ذوب پذیری پنیر آنالوگ در دماهایی که محصول طی پخت تحت آن قرار می‌گیرد، ممانعت کند. به علاوه، این پدیده ممکن است بافت

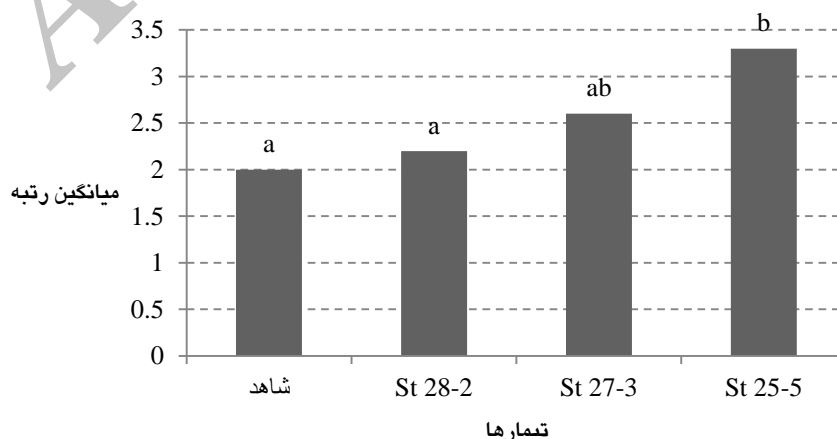
### ارزیابی حسی

نتایج بدست آمده از ارزیابی حسی نمونه های پنیر تهیه شده در این پژوهش، در شکل ۴ نمایش داده شده است. در نمونه های شاهد و دارای ۲، ۳ و ۵٪ وزنی-وزنی نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات، مقادیر میانگین رتبه برای بافت و احساس دهانی به ترتیب ۲/۰۰، ۲/۲۰، ۲/۶۰ و ۳/۳۰ بود.

زمانی که نمونه های پنیر به شکل گرم تست شدند (۶۰ درجه‌ی سلسیوس)، نمونه شاهد از نظر بافت و احساس دهانی با بالاترین ترجیح توسط پنلیست ها رتبه بندی شد و با افزایش میزان نشاسته ترجیح پنلیست ها کاهش یافت، گرچه میانگین رتبه ها در تمامی نمونه ها از نظر آماری به طور معنی داری متفاوت نبودند ( $P \geq 0.05$ ). با افزایش میزان نشاسته از مطلوبیت کاسته شد، این موضوع ممکن است به دلیل تورم ذرات نشاسته طی حرارت باشد، که سبب می شود پنیر به سقف دهان بچسبد (نورونها و همکاران ۲۰۰۷) (مانند پدیده گزارش شده در استفاده از هیدروکلوئیدها در پنیرهای چدار با چربی کم) (کنوکلار و همکاران ۲۰۰۴). افزایش میزان رطوبت پنیر آنالوگ، مشکل سختی پنیر در دماهای پائین تر، که با تلقیح نشاسته مرتبط است، را کاهش می دهد (مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶).

پیوستگی پنیرهای آنالوگ را به دلیل تغییر در توزیع اندازه گلبول چربی و تخریب ماتریکس پروتئین کاهش دادند. سختی بوسیله نشاسته گندم، سیب زمینی یا ذرت افزایش یافت، ولی بوسیله نشاسته ذرت مومی یا برنج کاهش پیدا کرد. به نظر می رسد که نشاسته برنج برای جایگزینی قسمتی از کازئین در پنیر آنالوگ تواناترین بود (بچمن ۲۰۰۱). مونسو و اوربوردان (۱۹۹۹) از آزمون روبش کرنش (۰/۱ تا ۱۰٪) برای تعیین محدوده‌ی رفتار ویسکوالاستیک خطی پنیر آنالوگ استفاده کردند. نتایج نشان داد که زمانی که مقادیر کرنش کمتر از ۱٪ بود، تنش با کرنش متناسب بود. این نتایج با یافته های پیرامون پنیرهای طبیعی موافق بود. نولان و همکاران (۱۹۸۹) و آک و گوناسکاران (۱۹۹۶) تنش/کرنش خطی را برای چندین نوع پنیر در کرنش های کمتر از ۲٪ گزارش کردند.

در مطالعه حاضر، تغییرات  $G'$ ،  $G''$  و  $Tan\delta$  در دامنه‌ی دمایی ۳۵ تا ۱۰۰°C برای انواع پنیر آنالوگ با افزودن مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده، در تطابق با نتایج تحقیقات قبلی در رابطه با پنیرهای آنالوگ حاوی نشاسته‌ی طبیعی سیب زمینی بود (مونتسینوس و همکاران ۲۰۰۶؛ مونسو و اوربوردان ۲۰۰۱ و یه و هویت ۲۰۰۹).



شکل ۴- آزمون رتبه بندی برای ارزیابی حسی انواع نمونه های پنیر آنالوگ (۶۰°C)

- حروف مشابه درستون، نشان دهنده‌ی عدم اختلاف معنی دار (در سطح ۵ درصد) است.

کاهش یافت. نتایج این مطالعه در درک تاثیر افزودن نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده در جایگزینی جزئی کازئینات بر ویژگیهای رئولوژیکی دینامیک به عنوان تابعی از دما و بالتبع ویژگیهای عملکردی (برای مثال، ذوب پذیری) و همچنین ویژگی های حسی پنیر پیتزای آنالوگ می‌تواند مفید باشد.

### تشکر و قدردانی

فرصت را مغتنم شمرده و قدردان همکاری و راهنمایی‌های ارزنده آقایان دکتر سید هادی پیغمبردوست، دکتر میرکریم رضوی و دکتر حسین نازک‌دست؛ همچنین پشتیبانی‌های دفتر هدایت استعدادهای درخشان دانشگاه تبریز، که این پژوهش را تحت حمایت مالی خود قرار داد، خواهیم بود. از مدیریت محترم شرکت شیر پاستوریزه پگاه آذربایجان شرقی جناب آقای مهندس گودرزی و کارشناسان محترم شرکت به خاطر حمایت و مساعدت بیدریغی که در اجرای این پژوهش مبذول داشتند، کمال تشکر را داریم.

نتایج ارزیابی حسی نشان داد که کازئینات در ترکیب با نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده (۲-۵٪ وزنی-وزنی) دارای پتانسیل بالایی برای استفاده در فرمولاسیون پنیر آنالوگ پروسس پیتزا به عنوان جایگزین کازئینات می‌باشد.

### نتیجه گیری کلی

ویژگی‌های رئولوژیکی دینامیک به عنوان تابعی از دما در پنیر پیتزای آنالوگ بر پایه کازئینات، با جایگزینی جزئی کازئینات با مقادیر متفاوت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده تغییر یافت و تغییرات وابسته به غلظت نشاسته بود. اساساً، افزایش غلظت نشاسته‌ی سیب زمینی اصلاح شده با افزایش  $G'$ ،  $G''$  و کاهش  $\tan\delta$  همراه بود. طی آزمون رئولوژیکی دینامیک روبش دما در دامنه دمایی  $100^{\circ}\text{C}$ - $35$ ، برای تمامی نمونه‌ها، مقادیر  $G'$  و  $G''$  به تدریج کاهش یافت، در حالی که مقادیر  $\tan\delta$  تا دمای معین و وابسته به نوع نمونه تا میزان حداکثر افزایش و سپس به تدریج کاهش پیدا کرد. ارزیابی حسی مشخص کرد که با افزایش میزان نشاسته، مطلوبیت بافت و احساس دهانی

### منابع مورد استفاده

- استاندارد ملی ایران شماره ۱۷۵۳، روش تعیین ماده خشک پنیر و پنیرهای ذوب شده.  
 استاندارد ملی ایران شماره ۷۶۰، اندازه گیری چربی در ماده خشک.  
 استاندارد ملی ایران شماره ۱۸۱۱، تعیین مقدار پروتئین پنیر و پنیرهای ذوب شده.  
 استاندارد ملی ایران شماره ۲۸۵۲، روش تعیین اسیدیته کل و pH و تراکم یون های H در شیر و فرآورده های آن.  
 حبیبی نجفی م، حاجی محمدی فریمانی ر و میری م. ۱۳۹۰. تاثیر جایگزینی چربی شیر با روغن های گیاهی بر خواص فیزیکوشیمیایی پنیر پیتزای پروسس. علوم و صنایع غذایی ایران، ۸: ۹۰-۹۷.  
 Ahmed NS, Hassan FAM, Salama FMM and Enb AKM, 1995. Utilization of plant proteins in the manufacture of cheese analogs. Egyptian Journal of Food Science 23: 37-45.  
 Ak MM and Gunasekaran S, 1996. Dynamic rheological properties of Mozzarella cheese during refrigerated storage. Journal of Food Science 61: 566-568.  
 Anonymous, 1999. Flexible, functional, flavourful cheese. Food Engineering International 12: 30-31.  
 Arimi JM, Duggan E, O'Sullivan M, Lyng J and O'Riordan ED, 2011. Effect of protein:starch ratio on microwave expansion of imitation cheese-based product. Food Hydrocolloids 25: 1069-1076.  
 Arimi JM, Duggan E, O'Sullivan M, Lyng JG and O'Riordan ED, 2012. Crispiness of a microwave-expanded imitation cheese: Mechanical, acoustic and sensory evaluation. Journal of Food Engineering 108: 403-409.

- Bachmann HP, 2001. Cheese analogues: a review. *International Dairy Journal* 11: 505-515.
- Bowland EL and Foegeding EA, 1999. Factors determining large-strain (fracture) rheological properties of model processed cheese. *Journal of Dairy Science* 82: 1851-1859.
- Bowland EL and Foegeding EA, 2001. Small strain oscillatory shear and microstructural analyses of a model processed cheese. *Journal of Dairy Science* 84: 2372-2380.
- Chen SL, Wan PJ, Lusas EW and Rhee KC, 1979. Utilization of peanut protein and oil in cheese analogs. *Food Technology* 33: 88-93.
- Considine T, Noisuwan A, Hemar Y and Wilkinson B, 2010. Rheological investigations of the interactions between starch and milk proteins in model dairy systems: A review. *Food hydrocolloids* 1-10.
- Diefes HA, Rizvi SSH and Bartsch JA, 1993. Rheological behavior of frozen and thawed low-moisture, part-skim Mozzarella cheese. *Journal of Food Science* 58: 764-769.
- Fox PF, Guinee TP, Cogan TM and McSweeney PLH, 2000. *Fundamentals of cheese science*. Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, MD. 429p.
- Guinee TP, Caric M and Kalab M, 2004. Pasteurized processed cheese and substitute/imitation cheese products. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology, Volume 2* (eds Fox PF, McSweeney PLH, Cogan TM and Guinee TP), pp. 349-394, Elsevier, London.
- Guirguis AH, Abdel Baky AA, El-Neshawy AA and El-Shafy NM, 1985. Peanut curd in the manufacture of processed cheese like spread. *Dairy Industries International* 50: 37-41.
- Hennelly PJ, Dunne PG, O'Sullivan M and O'Riordan D, 2005. Increasing the moisture content of imitation cheese: effects on texture, rheology and microstructure. *European Food Research and Technology* 220: 415-420.
- Hsieh YL, Yun JJ and Rao MA, 1993. Rheological properties of Mozzarella cheese filled with dairy, egg, soy proteins, and gelatin. *Journal of Food Science* 58: 1001-1004.
- Jana AH and Upadhyay KG, 2003. Mozzarella cheese analogue—A review. *Journal of Food Science Technology (Mysore)* 40: 1-10.
- Kiely LJ, McConnell SL and Kindstedt PS, 1991. Observations on the melting behavior of imitation Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 74: 3568-3572.
- Kong-Chan JLY, Hellyer JA and Tafuri MW, 1991. Simulated cheese products with reduced animal fat and calories. *United States Patent*, 5,061,503 (pp. 1-14).
- Konuklar G, Inglett GE, Warner K and Carriere CJ, 2004. Use of a b-glucan hydrocolloidal suspension in the manufacture of low-fat Cheddar cheeses: textural properties by instrumental methods and sensory panels. *Food Hydrocolloids* 18: 535-545.
- Lee SK, Klostermeyer H, Schrader K and Buchheim W, 1996. Rheological properties and microstructure of model processed cheese containing low molecular weight emulsifiers. *Nahrung/Food* 40: 189-194.
- McMahon DJ and Oberg CJ, 1998. Influence of fat, moisture and salt on functional properties of mozzarella cheese. *Australian Journal of Dairy Technology* 53:98-101.
- McMahon DJ, Payne MC, Fife RL and Oberg CJ, 1996. Use of fat replacers in low fat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 70:1911-1921.
- McNutt K, 1989. Cheese analogs. *Food Engineering* 61: 76-79.
- Meilgaard MM, Civille GV and Carr T, 1991. *Descriptive analysis techniques*. In: *Sensory evaluation techniques* (3rd ed.). New York, NY, USA: CRC Press.
- Montesinos C, Cottell DC, O'Riordan ED and O'Sullivan M, 2006. Partial replacement of fat by functional fibre in imitation cheese. Effects of rheology and microstructure. *International Dairy Journal* 16: 910-919.
- Mortensen H and McCarthy J, 1991. Imitation cheese products will gain importance. *Scandinavian Dairy Information* 5: 14-15.
- Mounsey JS, 2009. Effect of wheat starch on imitation cheese texture. *Journal of food technology* 7: 30-33.
- Mounsey JS and O'Riordan ED, 1999. Empirical and dynamic rheological data correlation to characterize melt characteristics of imitation cheese. *Journal of Food Science* 64: 701-703.

- Mounsey JS and O'Riordan ED, 2001. Characteristics of imitation cheese containing native starches. *Journal of Food Science* 66: 586-591.
- Mounsey JS and O'Riordan ED, 2008a. Modification of imitation cheese structure and rheology using pre-gelatinised starches. *European Food Research and Technology* 226: 1039-1046.
- Mounsey JS and O'Riordan ED, 2008b. Alteration of imitation cheese structure and melting behaviour with wheat starch. *European Food Research and Technology* (Published online 14/04/2007).
- Mulvihill DM and McCarthy A, 1993. Relationships between plasmin levels in rennet caseins and proteolytic and rheological changes in storage of cheese analogues from these caseins. *Journal of Dairy Research* 60: 431-438.
- Nolan EJ, Holsinger VH and Shieh JJ, 1989. Dynamic rheological properties of natural and imitation Mozzarella cheese. *Journal of Texture Studies* 20: 179-189.
- Noronha N, Duggan E, Ziegler GR, O'Riordan ED and O'Sullivan M, 2008. Inclusion of starch in imitation cheese: Its influence on water mobility and starch functionality. *Food Hydrocolloids* 22:1612-1621.
- Noronha N, O'Riordan ED and O'Sullivan M, 2007. Replacement of fat with functional fibre in imitation cheese. *International Dairy Journal* 17: 1073-1082.
- Paulson BM, McMahon DJ and Oberg CJ, 1998. Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangements in nonfat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 81:2053-2064.
- Rosenberg M, Wang Z, Chuang SL and Shoemaker CF, 1995. Viscoelastic property changes in Cheddar cheese during ripening. *Journal of food science* 60: 640-644.
- Sanchez C, Beauregard JL, Chassagne MH, Duquenoy A and Hardy J, 1994. Rheological and textural behaviour of double cream cheese. Part II: effect of curd cooling rate. *Journal of Food engineering* 23:595-607.
- Santos BL, Resurreccion AVA and Garcia VV, 1989. Quality characteristics and consumer acceptance of a peanut-based imitation cheese spread. *Journal of Food Science* 54: 468-471.
- Shaw M, 1984. Cheese substitutes: threat or opportunity. *Journal of the Society of Dairy Technology* 37: 27-31.
- Shirashoji N, Jaeggi JJ and Lucey JA, 2006. Effect of trisodium citrate concentration and cooking time on the physicochemical properties of pasteurized process cheese. *Journal of Dairy Science* 89: 15-28.
- Tunick MH, 2010. Activation energy measurements in rheological analysis of cheese. *International dairy journal* 20: 680-685.
- Tunick MH, Nolan EJ, Shieh JJ, Basch JJ, Thompson MP, Maleeff BE and Holsinger VH, 1990. Cheddar and Cheshire cheese rheology. *Journal of Dairy Science* 73: 1671-1675.
- Ustunol Z, Kawachi K and Steffe J, 1994. Arnott test correlates with dynamic rheological properties for determining Cheddar cheese meltability. *Journal of food science* 59: 970-971.
- Ustunol Z, Kawachi K and Steffe J, 1995. Rheological properties of Cheddar cheeses influenced by fat reduction and ripening time. *Journal of food science* 60: 1208-1210.
- Vernon RH, 1972. Non-dairy cheese: A unique reality. *Food Product Development* 6:22-26.
- Yang CST and Taranto MV, 1982. Textural properties of Mozzarella cheese analogs manufactured from soya beans. *Journal of Food Science* 47: 906-910.
- Ye A and Hewitt SH, 2009. Phase structures impact the rheological properties of rennet-casein-based imitation cheese containing starch. *Food hydrocolloids* 23: 867-873.
- Yun JJ, Hsieh YL, Barbano DM and Rohn CL, 1994. Rheological and chemical properties of Mozzarella cheese. *Journal of Texture Studies* 25: 411-420.
- Zhou N and Mulvaney SJ, 1998. The effect of milk fat, the ratio of casein to water, and temperature on the viscoelastic properties of rennet casein gels. *Journal of Dairy Science* 81:2561-2571.
- Zwiercan GA, Lacourse NL and Lenchin JM, 1987. United States patent 4: 695,475.

## The dynamic (oscillatory) rheological properties of imitation pizza cheese containing modified potato starch as a partial caseinate substitute

F Rezaiyan Attar<sup>1</sup>, J Hesari<sup>\*2</sup> and H Jodeiri<sup>3</sup>

Received January 17, 2014: Accepted: May 05, 2014

<sup>1</sup>Graduated MSc Student, Department of Food Science and Technology, Aras International Campus, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Food Science and Technology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Research and Development Manager of East Azerbaijan Pegah Company, Tabriz, Iran

\*Corresponding author: Email: jhesari@tabizu.ac.ir

### Abstract

Imitation pizza cheese provides a useful model system to examine starch–casein interactions from a rheological perspective. Increasing starch content may be a practical and cost-effective means to control the functional properties of imitation pizza cheese. Imitation cheeses containing 2, 3 and 5% (w/w) modified potato starch as a partial caseinate substitute were manufactured and dynamic rheology of these products were compared to a control (0% w/w starch) in temperature sweep analysis. The dynamic rheological properties of caseinate-based imitation cheeses containing various concentrations of modified potato starch were investigated using a strain-controlled rheometer. The storage modulus ( $G'$ ), the loss modulus ( $G''$ ) and the loss angle ( $\tan\delta$ ) were measured as a function of temperature (35–100°C). The storage modulus and loss modulus of imitation cheeses was significantly increased ( $P \leq 0.05$ ) at all examined temperatures (35–100°C) with the inclusion of modified potato starch. Inclusion of starch significantly reduced imitation cheese peak  $\tan\delta$  values compared to control ( $P \leq 0.05$ ), and the inclusion of 5% (w/w) starch as a partial caseinate substitute had the greatest effect. In sensory evaluation, in terms of texture and mouthfeel, the highest score belonged to control, while in all of samples lowest score observed in sample containing 5% w/w starch. The results of this study showed that varying the level of modified potato starch altered dynamic rheological properties as a function of temperature and thus the functionality (for example, meltability), as well as sensory attributes of imitation pizza cheeses.

**Keywords:** Imitation pizza cheese, Modified potato starch, Dynamic (Oscillatory) rheology, Temperature sweep analysis, sensory analysis