مقاله کامل علمی-پژوهشی

نشریه فرآوری و نگهداری مواد غذایی
جلد سیزدهم، شماره اول، ۱۴۰۰
۱۳۹-۱۵۴
http://ejfpp.gau.ac.ir

DOI: 10.22069/EJFPP.2020.14548.1467

اثر غلظت‌های یون کلسیم، نمک کلرید سدیم و دمای آب‌نمک‌گذاری بر تغییرات بافت، تراوش و تورم پنیر فتای فراپالاش

کورش رحمانی[۱]، حبیب‌اله میرزایی[۱*]، امان محمد ضیایی‌فر[۱]، مهدی کاشانی‌نژاد[۱]، سیدمهدی جعفری[۱]، ناصر همدمی[۲]

[۱]گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

[۲]گروه علوم وصنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۳

چکیده

مقدمه: یکی از نواقص رایج پنیر فتای فرآپالایش در داخل ظروف بسته‌بندی، ایجاد بافت نرم است. این نقص عمدتاً در دماهای پایین و میزان نمک کم رخ می‌دهد. در صنعت با فراهم کردن شرایطی که موجب افزایش میزان تراوش لخته شود، تا حدود زیادی از این نقص جلوگیری می‌شود. تراوش یا جذب علاوه بر تأثیر بر نرمی بافت، در کمیت و کیفیت محصول نهایی نیز مؤثر است. در اثر تراوش یا جذب، مقدار رطوبت ماتریس (ماده زمینه) پنیر تغییر کرده و بنابراین سایر ترکیبات و ویژگی‌های فیزیکی ماتریس پروتئینی دچار تغییرات اساسی می‌شوند. مهم‌ترین عوامل مؤثر در ویژگی‌های بافتی و تراوش شامل دما، غلظت کلرید سدیم و یون کلسیم هستند. اصولاً هر عاملی که باعث افزایش تجمع پروتئین‌ها در ماتریس پنیر شود تراوش و سختی بافت را افزایش می‌دهد و برعکس تورم ماتریس سبب افزایش جذب آب نمک از محلول نمکی به داخل بافت این نوع پنیر می‌شود.

مواد و روش‌ها: در پژوهش حاضر میزان سختی بافت، تراوش و یا جذب در شش غلظت کلرید سدیم شامل ۰، ۲، ۸، ۱۰، ۱۸ و ۲۶ درصد و در سه سطح یون کلسیم شامل ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (۱۸ تیمار) و در چهار دمای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد (۷۲ تیمار) در قالب طرح واحدهای خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر هر یک از متغیرهای دما، غلظت نمک و یون کلسیم به‌تنهایی، اثر متقابل این عوامل و نیز برهمکنش هر سه متغیر در میزان سختی بافت، تراوش یا جذب، معنی‌دار بود ($P<0/01$). نتایج پژوهش نشان‌دهنده وقوع پدیده جذب در غلظت‌های کمتر از حدود ۸ درصد نمک و دماهای پایین‌تر از ۱۱ درجه سانتی‌گراد بود. در غلظت‌های بیش از ۸ درصد نمک و دماهای بیش از ۱۱ درجه سانتی‌گراد، تراوش و سختی بافت به‌تدریج افزایش یافت. بیشترین تورم بافت در محدوده ۸ تا ۱۰ درصد نمک اتفاق افتاد. افزایش کلسیم سبب کاهش جذب در تمامی دماهای مورد آزمون و نیز تغییر بیشینه تورم به سمت غلظت‌های پایین محلول آب نمک شد. همچنین نتایج سختی بافت و رطوبت پنیر، تأییدکننده تغییرات چروکیدگی و تورم بافت بود.

نتیجه‌گیری: برهمکنش اثرات دما، غلظت کلرید سدیم و یون کلسیم دارای دو مدل متفاوت در تغییرات ویژگی‌های بافتی و تراوش پنیر فتای فرآپالایش است. در دماهای کمتر از ۱۱ درجه سانتی‌گراد، با افزایش غلظت نمک تا ۸ درصد، بافت متورم و نرم می‌شود ولی با افزایش دما و غلظت نمک (بالاتر از ۸ درصد)، چروکیدگی و سختی بافت افزایش می‌یابد. همچنین افزایش

[*]مسئول مکاتبه: mirzaeihabib1@gmail.co

کلسیم سبب کاهش تورم و افزایش سختی در تمام دماها و غلظت‌های نمک می‌شود. بنابراین برای جلوگیری از نرمی بافت این نوع پنیر باید فرآیند تولید و انبارش صنعتی به نحوی طراحی شود تا از تورم بافت اجتناب گردد.

واژهای کلیدی: پنیر، فرآپالایش، کلسیم، کلرید سدیم، تراوش.

مقدمه

پنیر سفید تولیدشده به روش فرآپالایش (اولترافیلتراسیون) جزء پنیرهای تازه (۳) و نرم (۲۳) محسوب می‌شود. این نوع پنیر به‌طور گسترده‌ای در ایران تولید می‌شود. بااین‌وجود یکی از نواقص رایج در این نوع محصول، ایجاد بافت نرم در غلظت‌های کم نمک و در دماهای پایین نگهداری است(۱، ۲۹). نرمی سطح[1] در هنگام استفاده از آب‌نمک ضعیف، در پنیرهای عمل‌آوری شده با آب‌نمک، مشاهده شده است (۸) هرچند در پنیر فتای فرآپالایش بسته‌بندی‌شده، فرآیند آب‌نمک گذاری انجام نمی‌شود ولی در اثر تراوش آب‌پنیر و با وجود نمک افزوده‌شده در سطح (نمک پاشی خشک)، شرایطی مشابه فرآیند آب‌نمک گذاری به‌وجود می‌آید. بنابراین به‌نظر می‌رسد نقص نرمی بافت در این نوع پنیر مشابه نرمی سطح در سایر پنیرها بوده و با شرایط فرآیند آب‌نمک گذاری مرتبط باشد. در صنعت برای جلوگیری از این نقص، معمولاً تراوش آب پنیر از لخته پنیر را از طریق نگهداری در دماهای بالا و استفاده از نمک بیشتر، افزایش می‌دهند. از سوی دیگر، تراوش یا جذب با تأثیر بر روی مقدار[2] و ترکیبات شیمیایی محصول، همیشه برای تولیدکنندگان و عرضه‌کنندگان پنیر مهم بوده است (۲۰). به این صورت که با تراوش و جذب آب پنیر، به ترتیب مقدار محصول کاهش و افزایش می‌یابد. بنابراین دانستن میزان تراوش و عوامل تأثیرگذار بر روی آن علاوه بر کیفیت محصول از جنبه اقتصادی نیز دارای اهمیت ویژه است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که عوامل متعددی بر ویژگی‌های فیزیکی و تراوش پنیرها مؤثر هستند ولی عمده‌ترین این عوامل شامل دما، غلظت‌های کلرید سدیم و کلسیم در محلول آب‌نمک است (۶).

پنیر نگهداری شده در دمای بالا وزن بیشتری را ازدست‌داده و رطوبت کمتری خواهد داشت (۶، ۳۰). مک ماهان (۲۰۰۹) افزایش وزن در دمای ۳، ۶ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد را در پنیر فتا گزارش کرد؛ بطوریکه در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد ماتریس پنیر ۲۰ تا ۳۰ درصد انبساط داشت؛ درصورتی‌که در ۲۲ درجه سانتی‌گراد، به میزان ۱۳ تا ۱۸ درصد کاهش وزن مشاهده شد. با افزایش غلظت نمک (بیش از ۲۰ درصد نمک) در محلول آب‌نمک و براثر پدیده ترسیب نمکی[3]، میزان تخلخل کاهش و بنابراین چروکیدگی و تراوش افزایش می‌یابد؛ برعکس در غلظت‌های پایین نمک براثر پدیده انحلال نمکی[4]، تخلخل افزایش‌یافته و ماتریس تورم می‌یابد (۲۰).

عامل مهم دیگر، میزان نمک (کلرید سدیم) مورداستفاده در فرآیند نمک‌زنی است. بسته به میزان نمک افزوده‌شده به لخته پنیر، تراوش کاهش و یا افزایش می‌یابد. افزودن سدیم کلراید در غلظت‌های کم (مثلاً ۳ درصد)، تراوش را کاهش داده و با جریان آب‌نمک به داخل لخته، وزن لخته افزایش می‌یابد (۶، ۱۹). علت این پدیده جایگزین شدن سدیم با کلسیم در ماتریس پروتئینی و افزایش ظرفیت نگهداری آب، حجم و تعداد گروه‌های یونی و در نتیجه کاهش

1. Soft rind
2. Yield
3.Salting out
4.Salting in

تراوش است (۱۵، ۲۷) ولی در غلظت بالای نمک (برای مثال ۱۸ درصد و اشباع) وزن پنیر کاهش می‌یابد که می‌تواند نشان‌دهنده چروکیدگی و تراوش آب‌پنیر باشد (۲، ۹، ۱۸، ۱۹، ۲۲ و ۲۵).

عامل مؤثر دیگر در میزان تراوش، مقدار کلسیم پنیر و آب‌نمک است (۱۹). اهمیت کلسیم در کنترل ماتریس پروتئینی قبلاً توسط برخی از پژوهشگران گزارش‌شده است (۶، ۲۱، ۲۶). میزان کلسیم لخته پنیر، در توسعه تراوش آب‌پنیر پس از نمک‌زنی تأثیرگذار است (۱۹، ۲۷). همان‌طور که انتظار می‌رود مقدار کلسیم در لخته‌ی متصل به پاراکازئین متناسب با افزایش کلسیم محلول آب‌نمک افزایش می‌یابند. در غلظت پایین کلسیم، نسبت کلسیم متصل کم‌تر و در غلظت‌های بالا، کلسیم متصل بیشتر است (۱۹). غلظت بالای کلسیم در لخته برهمکنش هیدروفوبی پروتئین – پروتئین را افزایش داده و سبب اتصال عرضی بیشتر، سفتی بافت و خروج آب‌پنیر می‌شود (۶، ۱۹). وقتی کلسیم به آب‌نمک اضافه نشود، حجم و وزن پنیر راگوسانو در همه دماها افزایش می‌یابد (۶) و نرمی سطح پنیر در هنگام استفاده از آب نمک ضعیف با افزایش کلسیم به آب نمک جلوگیری می‌شود (۸).

پراساد و آلوارز (۱۹۹۱) نشان دادند با افزایش غلظت آب نمک، سختی و میزان نمک در بافت پنیر فتا افزایش می یابد (۲۸). همچنین روش‌های مختلف نمک زنی بر ویژگی‌های بافتی اثر قابل‌توجهی دارد؛ به طور مثال در بین شیوه‌های مختلف نمک زنی (سنتی، پنیر فرآپالایش و آب‌نمک گذاری، پنیر فرآپالایش و نمک‌پاشی خشک، مخلوط کردن نمک با لخته پنیر)، بیشترین سختی[1] بافت به ترتیب در پنیر اولترافیلتراسیون داخل آب‌نمک، نمک‌پاشی خشک و سپس پنیر سنتی رخ می‌دهد (۴).

اطلاعات اندکی در مورد اثر دما و غلظت‌های یون کلسیم و نمک بر تراوش و چروکیدگی یا تورم ماتریس پروتئینی پنیر فتا فرآپالایش در دسترس است. همان‌طور که اشاره شد، اثر عوامل مختلف بر تراوش یا جذب و چروکیدگی یا تورم در برخی پنیرهای بررسی‌شده است ولی اثرات این عوامل در دامنه کاربردی و وسیع مورداستفاده در صنعت و نیز اثرات متقابل آن‌ها در انواع پنیر، کمتر مورد پژوهش قرار گرفته است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر مستقیم و متقابل دما و غلظت‌های یون کلسیم و کلرید سدیم بر ویژگی‌های بافتی، تراوش و جذب ماتریس پروتئینی در پنیر فتای فرآپالایش و درک بهتر عوامل شرکت‌کننده در آن است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه: نمونه‌های پنیر فرآپالایش مورداستفاده در این پژوهش از خط تولید شرکت فرآورده‌های لبنی و پروتئینی سحر (روزانه) در سال ۹۶-۱۳۹۵ تهیه گردید. شیر گاو پس از استانداردسازی میزان چربی و پاستوریزاسیون جهت تغلیظ وارد سیستم اولترافیلتراسیون گردید. در این سیستم تحت فشار۵ مگاپاسگال ماده خشک به حدود ۳۴ درصد رسانده شد و پس از هموژنیزاسیون و پاستوریزاسیون به تانک ناتراویده[2] انتقال داده شد. آنگاه در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۳ –۲/۵ درصد استاتر به آن افزوده گردید. در مرحله بعد بوسیله دوزینگ پمپ در حین پر کردن ناتراویده در ظروف ۴۵۰ گرمی، به میزان ۱۵ میلی‌لیتر آنزیم رنت به آن افزوده شد. پس از افزودن ضدکف (آنتی‌فوم) روی سطح پنیر، پنیر به تونل انعقاد

1. Ragusano cheese

2. Retentate

به طول ۲۰ متر و دمای ۳۱-۳۰ درجه سانتی‌گراد وارد شد و ۱۲-۱۱ دقیقه در آن باقی ماند تا pH پنیر به ۶/۵-۶/۴ برسد. در هنگام خروج از تونل روی سطح پنیر کاغذ پارچمنت گذاشته و به میزان ۳-۲/۵ درصد نمک طعام روی آن ریخته شد. در حین دربندی به فضای خالی بالای ظرف گاز دی‌اکسید کربن تزریق و ظرف دربندی شد. ظرف حاوی لخته وارد گرمخانه ۲۷-۲۵ درجه سانتی‌گراد شد و پس از ۲۴-۱۸ ساعت که pH به زیر ۴/۸ رسید پنیرها به سردخانه ۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. در این تحقیق نمونه‌برداری از بسته‌های پنیری صورت گرفت که مرحله تونل انعقاد و پارچمنت‌گذاری را طی کرده و با حذف مرحله نمک‌پاشی و پس از دربندی انجام شد.

روش‌های آزمون ترکیبات: پس از نمونه‌برداری، ابتدا میزان ترکیبات اولیه پنیر (در سه تکرار) شامل پروتئین به روش کجلدال (۱۴) با استفاده از دستگاه کجلدال (Behr، مدل S4، آلمان)، چربی به روش ژربر (۱۲)، رطوبت به روش وزن‌سنجی (۱۳)، نمک به روش پتانسیومتری (۱۱) با استفاده از دستگاه تیتروپروسسور[1] (متروم[2] مدل ۷۹۶، سوئیس) با استفاده از الکترود نقره (Ag titrod 6. 0430. 100) و تیترانت نیترات نقره ۰/۱ نرمال و pH با استفاده از pH متر (متروم، مدل ۷۴۴، سوئیس) اندازه‌گیری شد.

تهیه محلول‌های آب‌نمک: برای تهیه غلظت‌های مختلف آب‌نمک، از نمک متبلور با خلوص ۹۹/۹ درصد مورداستفاده در صنعت تولید پنیر فرآپالایش استفاده شد. محلول‌های آب‌نمک با غلظت‌های ۰، ۲، ۸، ۱۰، ۱۸ و ۲۶ درصد جرمی-جرمی هر یک به وزن ۱۵۰۰ گرم تهیه و در ظرف‌های پلی‌اتیلن دردار نگهداری شدند. لازم به توضیح است که غلظت محلول آب‌نمک ۸ درصد، با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده در حین آزمون، اضافه شد. در هر غلظت نمک به میزان ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یون کلسیم به‌صورت کلرید کلسیم (مرک[3] آلمان) به محلول‌های آب‌نمک افزوده شد. به‌این‌ترتیب در هر غلظت آب‌نمک سه محلول با غلظت‌های متفاوت (مجموعاً ۱۸ محلول) ساخته شد. سپس pH محلول‌ها با استفاده از اسیدلاکتیک و یا سدیم هیدروکسید (مرک آلمان) روی pH=۶ به‌عنوان pH آغازین نفوذ تنظیم شد. به‌منظور دست یافتن به تعادل دمایی، محلول آب‌نمک تهیه‌شده، حداقل به مدت ۲۴ ساعت پیش از انجام هر آزمون در دمای موردنظر قرار گرفت. پس از تعادل دمایی، نمونه‌ها در چهار دمای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۷۲ تیمار). برای کنترل دما از انکوباتور یخچال‌دار (BINDER، مدل KB115، آلمان) با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد استفاده شد.

آنالیز تراوش آب‌پنیر: برای اندازه‌گیری میزان تراوش آب‌پنیر از روش معکوس (۱۹) استفاده شد؛ بدین ترتیب که مقدار ۱۰۰ گرم پنیر فرآپالایش، به ابعاد ۵۰×۵۰×۱۰ میلی‌متر برش و به داخل هر محلول نمکی انتقال داده شد. برای جلوگیری از تغییرات غلظت محلول‌ها، میزان مازاد یون کلسیم و کلرید سدیم، متناسب با غلظت هر محلول و بر اساس میزان نمونه پنیر افزوده‌شده به محلول و بر مبنای مقدار رطوبت نمونه‌ها اضافه و pH مجدداً تنظیم شد. پس از ۱۲۰ ساعت برقراری تعادل کامل بین نمونه و محلول‌ها، نمونه‌ها از محلول خارج و پس از جدا شدن کامل محلول نمکی از سطح نمونه‌ها و خشک‌کردن سطح با استفاده از کاغذ صافی، وزن ثانویه نمونه پس از دوره آب‌نمک گذاری، سنجش

1. Titroprocessor
2. Metrohm
3. Merk

شد. تفاوت وزن اولیه از وزن ثانویه به‌عنوان میزان تراوش برحسب درصد تعیین شد. جهت خنثی‌سازی و حذف اثر وزن نمک جذب‌شده، میزان نمک در غلظت‌های مختلف از میزان درصد تراوش کسر شد تا درصد تراوش استانداردشده، به دست آید.

آزمون بافت: برای به دست آوردن ویژگی‌های بافتی، ورقه‌های پنیر بدون نمک به ابعاد ۵۰×۵۰×۱۰ میلی‌متر در محلول‌های آب‌نمکی مطابق آزمون تراوش قرار داده شد و شرایط دمایی مختلف (۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد) اعمال شد. پس از طی ۱۲۰ ساعت، میزان سختی[1] بافت با استفاده دستگاه بافت سنج[2] (سری، مدل اکس تی ، انگلیس)[3] در سه تکرار، اندازه‌گیری شد. سختی به‌عنوان حداکثر نیرو در آزمون سوراخ شدگی[4] در نظر گرفته شد (۱۷). بدین منظور از پروپ استوانه‌ای ۱۲/۷ میلی‌متری و سرعت نفوذ ۰/۲ میلی‌متر در ثانیه و عمق نفوذ ۵ و لود سل[5] ۵۰ نیوتنی استفاده شد.

روش‌های آماری: نرم‌افزارهای مورد استفاده برای تجزیه‌وتحلیل آماری و رسم نمودارها شامل اوریجین ۹. ۳. ۲۲۶ b سال ۲۰۱۶ [6] و اکسل[7] سال ۲۰۱۳ بود. تمامی آزمون‌ها در قالب طرح واحدهای خردشده[8] بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. بلوک اصلی شامل چهار دمای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد و بلوک‌های فرعی شامل سطوح یون کلسیم و غلظت‌های نمک بود. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح اطمینان ۹۹ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

ترکیبات اولیه: پس از نمونه‌برداری و پیش از انجام آزمون‌های مختلف روی پنیر، درصد ترکیبات لخته اندازه‌گیری شد (جدول ۱). بر اساس نتایج جدول ۱ تفاوت معنی‌داری در مقادیر ترکیبات اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها وجود نداشت (P>۰/۰۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر مستقیم دما، غلظت نمک کلرید سدیم و یون کلسیم بر سختی بافت و تراوش معنی‌دار بود (P<۰/۰۱).

همچنین اثرات متقابل غلظت یون کلسیم با دما، غلظت کلرید سدیم با دما و غلظت کلرید سدیم با غلظت یون کلسیم معنی‌دار شدند (P<۰/۰۱). برهمکنش متقابل غلظت کلرید سدیم با غلظت یون کلسیم و دما نیز در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود. بنابراین هر سه عامل دما، نمک و یون کلسیم و نیز اثر متقابل آن‌ها در تغییرات بافتی و میزان تراوش مؤثر بودند.

اثر غلظت کلرید سدیم بر جذب و تراوش: برای تعیین مقدار تراوش یا جذب خالص (استانداردشده) غلظت کلریدسدیم اندازه‌گیری شده (در نتایج نشان داده نشد) از مقادیر محاسبه‌شده تراوش کسر گردید. نتایج نشان داد میزان تراوش در غلظت‌های ۲، ۸ و ۱۰ درصد نمک (به ترتیب ۱۵/۶، ۱۴/۵ و ۱۵/۸ درصد) اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (P>۰/۰۱) ولی افزایش غلظت نمک به ۱۸ و ۲۶ درصد، تراوشی با میانگین ۲۷/۷ و ۳۵/۹ درصد ایجاد کرد که تفاوت معنی‌داری با غلظت‌های کمتر نمک و نمونه فاقد نمک (۲۱/۷ درصد تراوش) نشان داد (P<۰/۰۱).

بر اساس نتایج در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یون کلسیم و دمای ۳ درجه سانتی‌گراد، در

1. Hardness
2. Texture Analyzer
3 .TA_XT Plus Stable Micro Systems Ltd. Surrey, UK
4. Puncture test
5. Load Cell
6. Origin 2016;b9.3.226
7. Excel 2013
8. Spilt-unit Design

غلظت‌های ۲، ۸ و ۱۰ درصد نمک کلرید سدیم، به ترتیب ۶/۷، ۹/۳ و ۷/۹ درصد جذب از محلول آب نمک به داخل به داخل بافت پنیر بدون تراوش رخ داد (شکل ۱). بیشترین مقدار تراوش در غلظت‌های اشباع نمک مشاهده شد (شکل ۱). مدل مشاهده‌شده در غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کلسیم در غلظت‌های بالای کلسیم (۱۷۰۰ و ۳۲۰۰) و در دماهای پایین، نیز مشاهده می‌شود ولی در دماهای بالا (۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد)، میزان تراوش تقریباً به خط راست تبدیل شد (شکل ۱). در ضمن در محلول‌های فاقد نمک، در همه دماها و سطوح کلسیم، پدیده جذب مشاهده نشد و با افزایش دما و مقدار یون کلسیم، معمولاً تراوش افزایش یافت.

جدول ۱- تجزیه تقریبی پنیر فراپالایش فتا قبل از فرایند نمک‌گذاری

Table 1. Analytical composition of ultrafiltered Feta cheese before salting process

مقدار در پنیر content	ترکیب Compound
68 ±1.46[a]	رطوبت (درصد وزنی) Moisture (w/w %)
0.2 ±0.06[a]	نمک (درصد وزنی) NaCl concentration (w/w %)
13.5 ±0.3[a]	چربی (درصد وزنی) Fat (w/w %)
12.47 ±0.46[a]	پروتئین (درصد وزنی) Protein (w/w %)
6.6 ±0.09[a]	pH

بر اساس نتایج (شکل ۲) با افزایش غلظت نمک، ابتدا تراوش کاهش و سپس افزایش می‌یابد. در غلظت‌های حدود ۸ تا ۱۰ درصد نمک، تقریباً در همه دماها کمترین تراوش مشاهده شد. جالب‌توجه این است که در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد و مقدار کلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم با افزایش غلظت نمک، میزان جذب به‌شدت افزایش یافت؛ بطوریکه در غلظت ۸ و ۱۰ درصد نمک، میزان جذب به ترتیب به مقدار به ۱۵/۴ و ۱۵/۳ می‌رسد. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار ($P>0/01$) بین این تراوش‌ها و شکل منحنی، می‌توان نتیجه گرفت اوج جذب در این محدوده اتفاق می‌افتد (شکل ۲).

در محلول فاقد نمک (۰ درصد) حتی در کمترین غلظت یون کلسیم (۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پایین‌ترین دما (۳ درجه سانتی‌گراد) هیچ‌گونه جذبی مشاهده نشد (شکل ۳). با افزایش غلظت نمک به ۲ درصد، مقادیر تراوش کاهش یافت و حتی در دمای ۳ درجه سانتی‌گراد در تمامی غلظت‌های یون کلسیم، جذب اتفاق افتاد. با افزایش بیشتر غلظت نمک تا ۸ و ۱۰ درصد این پدیده با شدت بیشتری روی داد (شکل ۳). با افزایش غلظت نمک به ۱۸ درصد و حالت اشباع (۲۶/۵ درصد) روند عکسی با فرآیند مشاهده‌شده تا غلظت ۱۰ درصد نمک مشاهده شد؛

بطوری‌که میزان تراوش به‌شدت افزایش یافت (شکل ۳). به‌طور خلاصه شکل‌های ۱ تا ۳ نشان دادند تراوش و یا جذب در پنیر فرآپالایش به‌عنوان تابعی از غلظت نمک دارای دو نوع مدل کاملاً متفاوت است. در مدل اول با افزایش غلظت نمک تا حدود ۸ درصد، تراوش کاهش‌یافته و جذب افزایش می‌یابد. این پدیده توسط برخی پژوهشگران نیز مشاهده شد(۶، ۱۵، ۱۹، ۲۰ و ۲۷) ولی هر یک از آن‌ها بر اساس شرایط انتخاب‌شده در آزمون، بیشینه تورم را در غلظت‌های مختلف گزارش کردند. در مدل دوم، با افزایش غلظت نمک، تراوش به‌شدت افزایش یافت. پدیده افزایش تراوش در غلظت‌های بالای نمک نیز توسط محققان مختلف گزارش‌شد (۲، ۹، ۱۸-۲۰، ۲۲ و ۲۵). در تفسیر این دو مدل می‌توان بیان کرد با افزودن کلرید سدیم، یون سدیم، جایگزین یون کلسیم در ماتریس پروتئینی شده (۱۵، ۱۹ و ۲۷) و نیز به

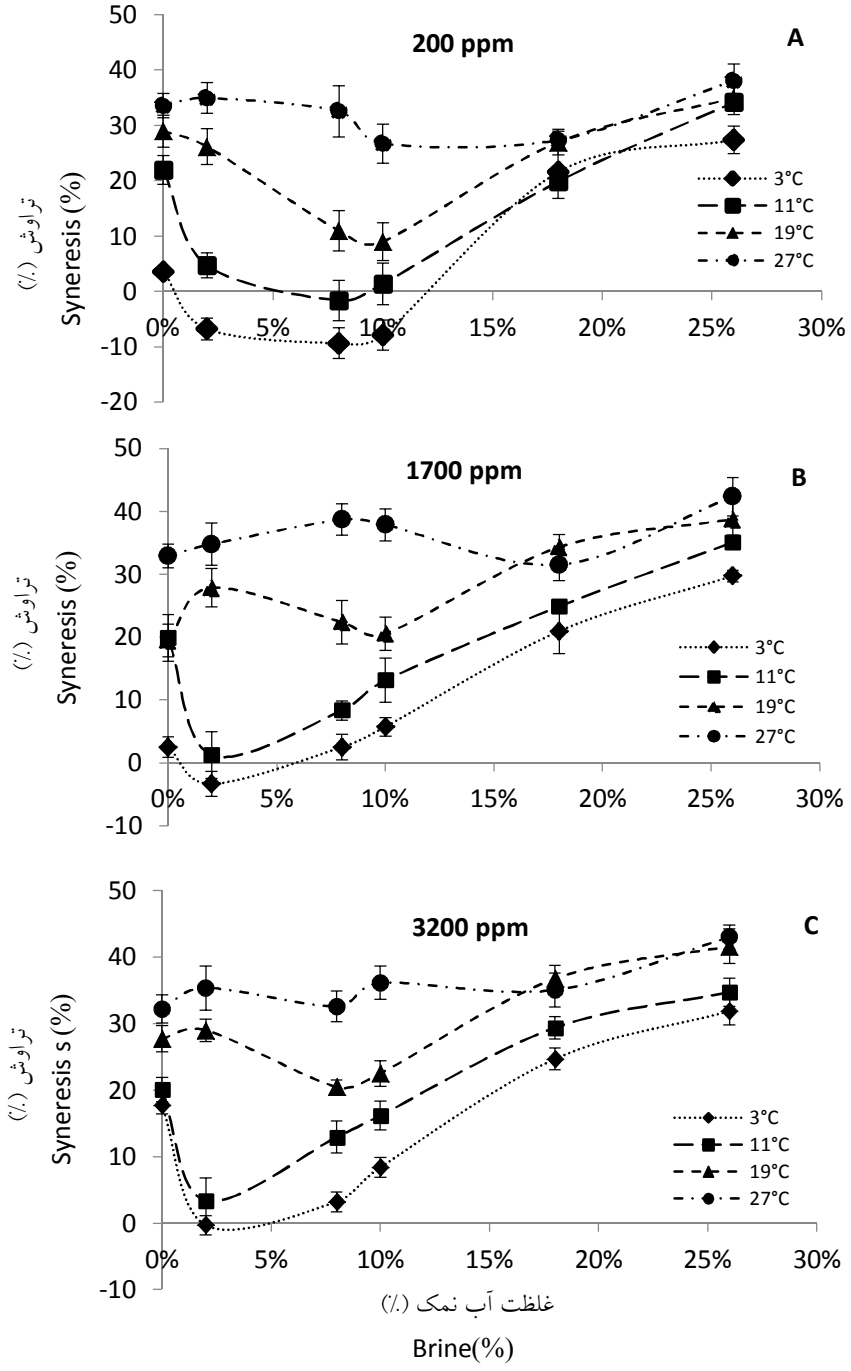
علت پدیده ورود با نمک (۲۰)، برهم‌کنش پروتئین- پروتئین تضعیف و در نتیجه با افزایش تخلخل[1] و باز شدن و تورم بافت (۱۹) تراوش کاهش و حتی جذب آب‌نمک و آب‌پنیر از محلول می‌شود. بیشینه این جایگزینی و تورم در غلظت ۸ تا ۱۰ درصد نمک مشاهده شد (شکل ۱، ۲ و ۳). با توجه به این تحلیل، می‌توان انتظار داشت درصورتی‌که محلول فاقد نمک باشد به علت کمی یون سدیم در ماتریس پنیر، جایگزینی یون سدیم با کلسیم اتفاق نیفتد و بنابراین تورم ماتریس کمتر مشاهده شود. این فرض با افزایش تراوش در نمونه فاقد نمک (۰ درصد کلرید سدیم) در پژوهش حاضر و پژوهش فوکا (۲۰۱۲) و گورتس(۱۹۷۱) به‌خوبی اثبات شد (۶، ۸). تراوش بیشتر در غلظت ۰ درصد نمک نسبت به ۲ درصد (شکل ۳) نشان‌دهنده تجمع بیشتر ماتریس پروتئینی در غلظت ۰ درصد نمک به علت در دسترس نبودن سدیم در ماتریس است؛ درصورتی‌که با افزودن نمک (یون سدیم) در آب‌نمک ۲ درصد، تورم و هیداسیون ماتریس و به دنبال آن جذب مشاهده می‌شود.

با افزایش بیشتر غلظت نمک در محلول آب‌نمک (بیش از حدود ۸ درصد)، به علت فشار اسمزی و پدیده خروج با نمک (۶، ۲۰) تراوش افزایش می‌یابد. با افزایش تراوش، میزان رطوبت در بافت کاهش می‌یابد. این موضوع با مقایسه شکل‌های ۲ به‌خوبی مشاهده می‌شود. فوکا (۲۰۱۲) نشان داد تجمع پروتئین‌ها و خروج رطوبت از بافت به صورت تراوش به افزایش غلظت پروتئین‌های کازئینی و غیرکازئینی در ماتریس و در نتیجه افزایش برهم‌کنش بین پروتئین‌ها مرتبط است (۶).

اثر یون کلسیم بر جذب و تراوش: غلظت‌های مختلف یون کلسیم (۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری در میانگین تراوش (به‌ترتیب ۱۸/۳، ۲۲/۶ و ۲۴/۷ درصد) ایجاد کرد ($P<0/01$). در شکل‌های ۱ و ۴ با افزایش دما و میزان یون کلسیم، مقدار تراوش افزایش و میزان رطوبت به‌طور همزمان کاهش یافت. در مقدار یون کلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و دماهای ۳ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد، مقدار تراوش به‌ترتیب به حدود ۲۷/۳ و ۳۸ درصد رسید (شکل ۲- الف و ۲- د). با افزایش غلظت کلسیم تا ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌تدریج تراوش افزایش یافت؛ به‌طوری‌که در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد، این مقدار به بیش از ۴۳ درصد رسید. در غلظت‌های ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم یون کلسیم دو مدل تراوش مشاهده شد؛ بدین‌صورت که در دماهای پایین‌تر از ۱۱ درجه سانتی‌گراد، با افزایش غلظت نمک، افزایش تراوش ولی در دماهای بالای ۱۱ درجه سانتی‌گراد، میزان تراوش در محدوده ۸ تا ۱۰ درصد نمک، کمترین تراوش را نشان داد. با افزایش دما به ۲۷ درجه سانتی‌گراد، میزان تراوش به خط تقریباً صاف تبدیل شد.

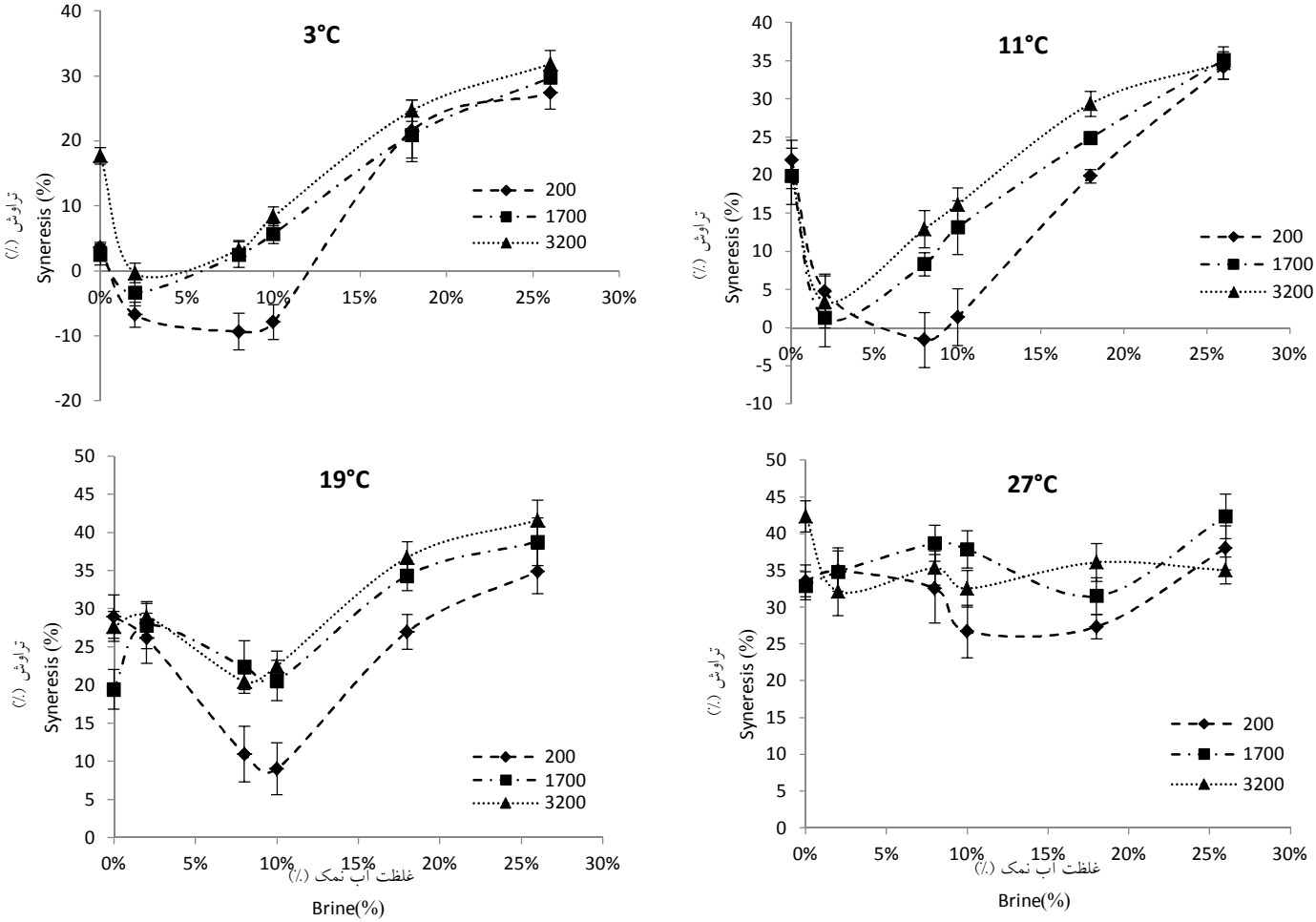
با تقاطع منحنی‌های تراوش در هر غلظت با محور افقی، می‌توان موقعیت‌های که در آن جذب و یا تراوش اتفاق نمی‌افتد را محاسبه کرد (شکل ۲- الف تا ۲-د). این مقادیر برای غلظت‌های ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم یون کلسیم به ترتیب حدود ۱۴/۵، ۱۲/۵ و ۹/۵ درصد است. در این نقاط وزن محصول ثابت باقی‌مانده و تورم و چروکیدگی اتفاق نمی‌افتد. بنابراین با افزایش مقدار کلسیم، بیشینه جذب به‌طرف غلظت‌های پایین‌تر میل می‌کند. در غلظت‌های ۲۰۰ و ۱۷۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم یون کلسیم نیز بیشینه جذب در محدود ۸ تا ۱۰ درصد نمک ملاحظه شد.

1. Porosity



شکل ۱-درصد جذب یا تراوش در غلظت‌های ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یون کلسیم. میله خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

Figure 1. Standardized syneresis or absorption in UF-Feta cheese at different calcium ions concentrations of 200(A), 1700(B), and 3200(C) ppm.
Errors bars are standard error (SE).



شکل ۲- درصد جذب یا تراوش در دماهای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد. میله خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

Figure 2. Standardized syneresis or absorption in UF-Feta cheese at 3, 11, 19 and 27 °C. Error bars are standard error (SE).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت با افزایش میزان یون کلسیم در محلول آب‌نمک و به‌تبع آن در ماتریس پنیر، برهمکنش بین پروتئین‌ها و تعداد پل‌های کلسیم افزایش‌یافته و بنابراین سبب افزایش تجمع پروتئینی و تراوش می‌شود. نتایج مشابهی توسط لو و همکاران (۲۰۱۵) در پنیر چدار و مک ماهان و همکاران (۲۰۰۵) در مورد پنیر موزارلا گزارش شد (۹، ۲۱). در غلظت‌های کم کلسیم، تورم و در غلظت‌های بالای یون کلسیم چروکیدگی بافت در پنیر فتای فراپالایش مشاهده می‌شود. تورم بافت در غلظت های کم کلسیم در پنیر موزارلا نیز مشاهده شده است (۱۰، ۱۶، ۲۶ و ۲۷) و چروکیدگی بافت در غلظت‌های بالای یون کلسیم در برخی از انواع پنیر گزارش شده است (۵-۷، ۲۱ و ۲۶). بنابراین در پنیر فتای فراپالایش تراوش به‌تدریج با افزایش غلظت یون کلسیم در همه غلظت‌های نمک کلرید سدیم افزایش می‌یابد (شکل ۲- الف تا ۲-د).

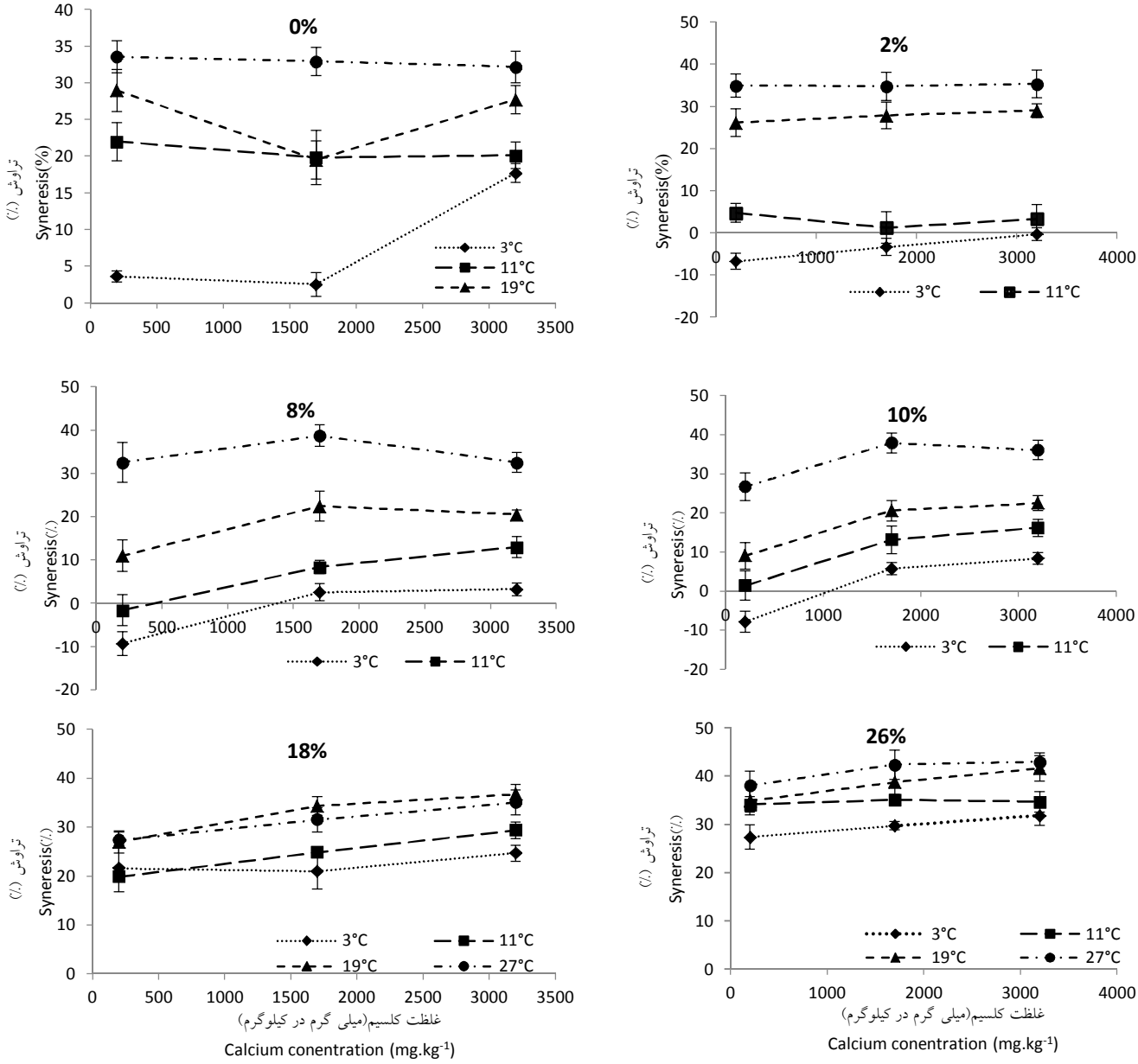
اثر دما بر جذب و تراوش: دماهای مختلف (۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد) اثر معنی‌داری بر تغییرات درصد تراوش (به‌ترتیب ۹/۵، ۱۶/۶، ۲۶/۶ و ۳۴/۷ درصد) نشان داد ($P<0/01$). به‌طورکلی با افزایش دما مقدار تراوش در همه غلظت‌های کلرید سدیم و کلسیم افزایش یافت (شکل ۱). در دمای ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد هیچ‌گونه جذبی مشاهده نشد (شکل ۲). با

این وجود در دمای ۱۹ درجه سانتی‌گراد همچنان کمینه مقدار تراوش در ۸ تا ۱۰ درصد نمک دیده می‌شود. در دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد روند اشاره‌شده برای سایر دماها وجود دارد ولی نوعی بی‌نظمی نسبت به شکل‌های قبلی دیده می‌شود که می‌تواند نشان‌دهنده اثر دما در فشردگی بافت و خروج رطوبت از نمونه باشد؛ به‌طوری‌که با افزایش میزان کلسیم، مدل تراوش به خط راست (بخصوص در غلظت ۳۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نزدیک می‌شود. این حالت می‌تواند به حداکثر فشردگی تحت تأثیر هم‌زمان، دما، غلظت نمک و یون کلسیم نسبت داده شود.

پاستورینو و همکاران (۲۰۰۲) بیان داشتند که افزایش دما باعث افزایش برهمکنش هیدروفوبی بین پروتئین‌ها می‌شود ۲۴). به نظر می‌آید دما اثر خود را از طریق حلالیت یون کلسیم اعمال می‌کند. در دمای پایین انحلال کلسیم کلوئیدی به شکل محلول، افزایش‌یافته و بنابراین با نشت کلسیم محلول به آب‌نمک، مقدار کلسیم بافت کاهش می‌یابد. کاهش کلسیم در بافت سبب کاهش برهمکنش پروتئینی و کاهش تراوش و افزایش تورم می‌شود. تورم ناشی از کاهش میزان کلسیم در بافت پنیر فتای سنتی توسط مک ماهان و همکاران (۲۰۰۹) و پنیر موزارلا توسط پائولسون و همکاران (۱۹۹۸) گزارش شد (۲۰، ۲۷). بنابراین با افزایش دما، میزان انحلال کلسیم کاهش و برهم‌کنش و تجمع پروتئینی افزایش‌یافته و بنابراین تراوش افزایش می‌یابد.

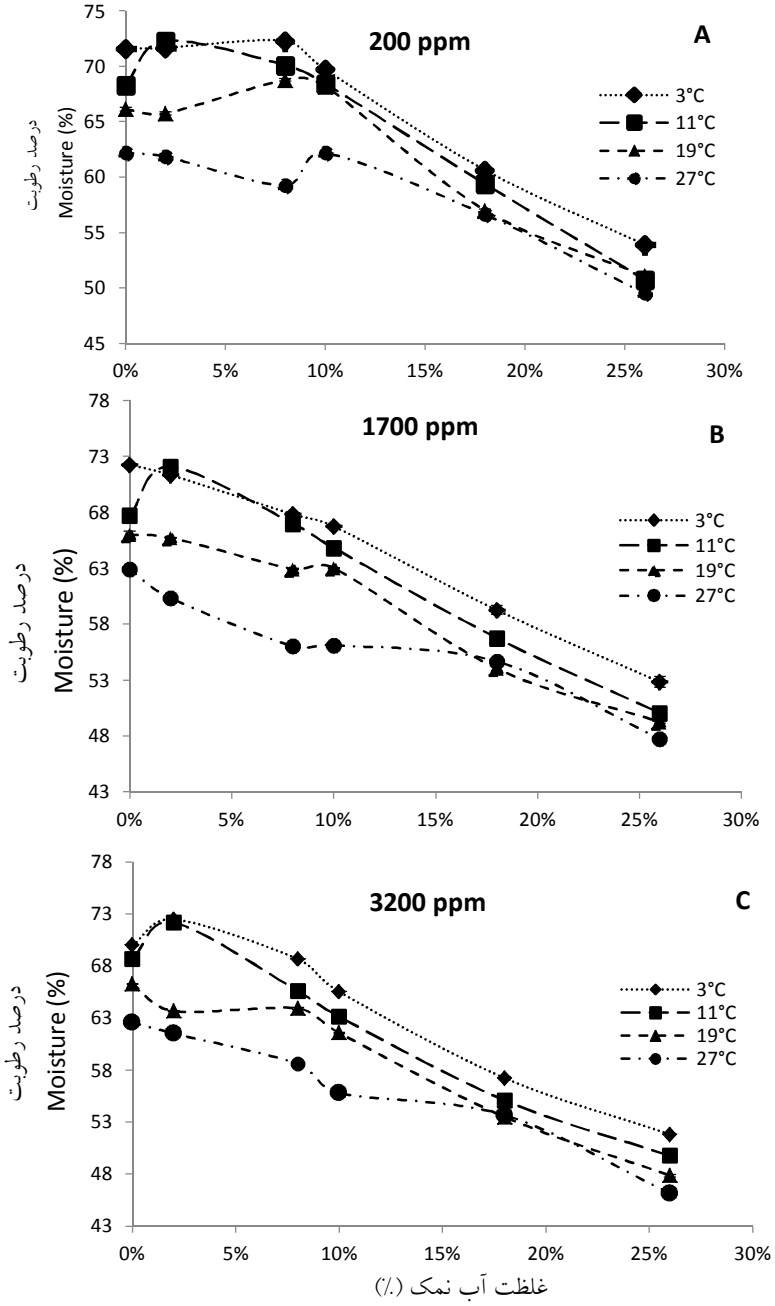
تغییرات بافت: برای سنجش میزان نرمی بافت پنیر فرآپالایش که یکی از مهترین نواقص مشاهده شده در این نوع از پنیرها است- از آزمون سختی بافت استفاده شد. میانگین اثر دماهای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد بر میزان سختی بافت به‌ترتیب ۸، ۹/۲، ۹/۳ و ۱۱ نیوتن بود (شکل ۵). بر اساس نتایج اختلاف آماری معنی‌داری بین دماهای ۱۱ و ۱۹ درجه سانتی‌گراد وجود نداشت (P>۰/۰۱) ولی دماهای ۳ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد تفاوت معنی‌داری بر سختی بافت نشان دادند (p<۰/۰۱). میزان سختی در غلظت‌های ۰، ۲، ۸، ۱۰،۱۸ و ۲۶ درصد نمک به‌ترتیب ۳/۷، ۳/۳، ۴/۱، ۴/۱ ۱۰/۴ و ۳۰/۵ نیوتن بود که تنها غلظت نمک ۱۸ و ۲۶ درصد با سایر گروه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان دادند (P<۰/۰۱). غلظت‌های یون کلسیم به میزان ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم به ترتیب میانگین معنی‌داری در سختی بافت برابر ۷/۲، ۹/۴ و ۱۱/۵ نیوتن ایجاد کردند (P<۰/۰۱).

در شکل ۵ با افزایش غلظت کلسیم در محلول آب‌نمک، سختی بافت در همه دماها افزایش می‌یابد. افزایش غلظت نمک تا ۱۰ درصد تفاوت چندانی در سختی ایجاد نمی‌کند ولی با افزایش غلظت نمک بیش از ۱۰ درصد، میزان سختی با شیب زیادی افزایش می‌یابد. همچنین مقایسه میزان تغییرات سختی بافت (شکل ۵) با شکل‌های ۱ تا ۴، نشان‌دهنده مطابقت تغییرات بافت با میزان تورم و چروکیدگی بافت است. نتایج مشابهی توسط پراساد و آلوارز (۱۹۹۱) در پنیر فتا گزارش‌شده است (۲۸).



شکل ۳- درصد تراوش استاندارد در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم. میله خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

Figure 3. Standardized syneresis or absorption in UF-Feta cheese at different NaCl concentrations of 0, 2, 10, 18 and 26%.
Error bars are standard error (SE).

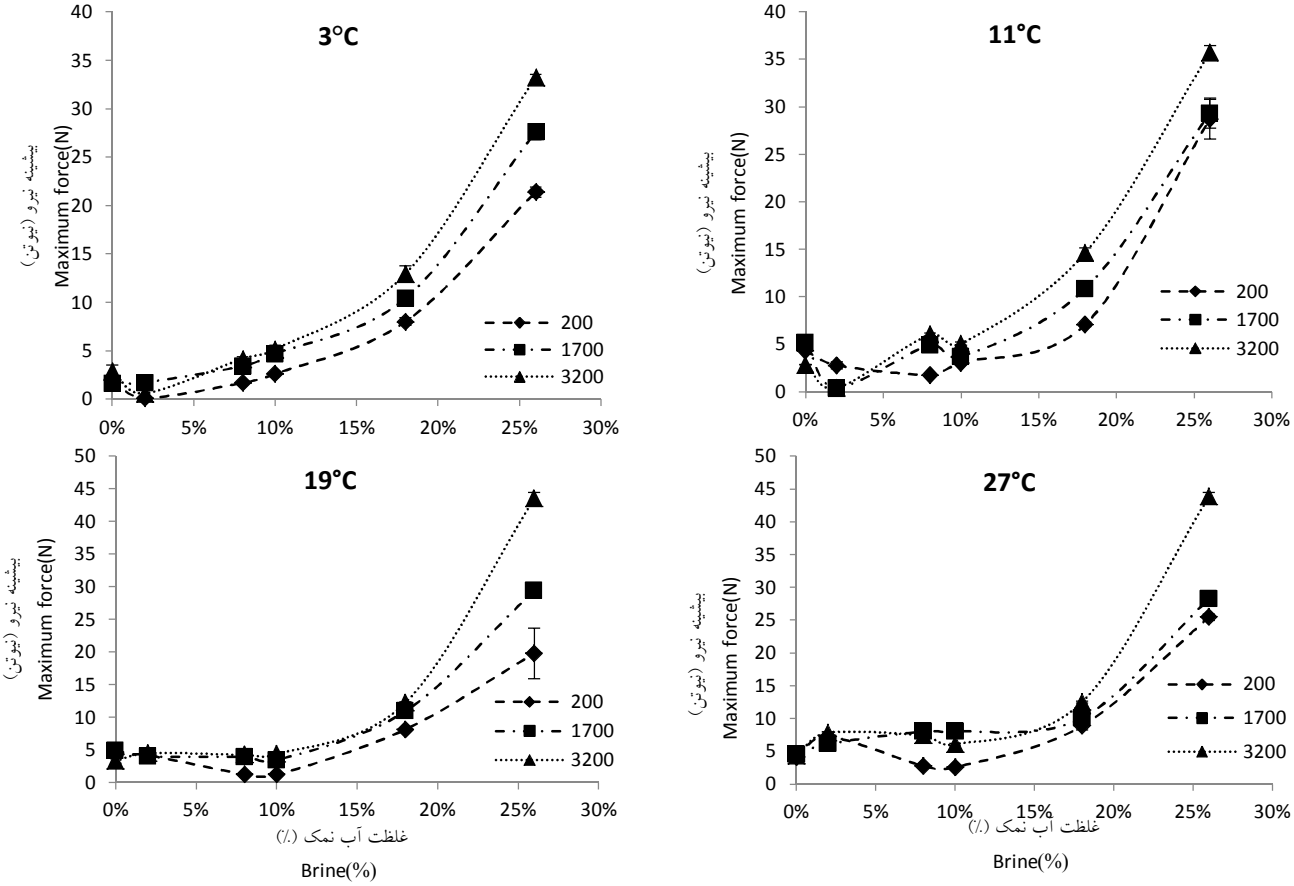


شکل ٤- تغییرات مقدار رطوبت در پنیر در غلظت‌های ۲۰۰، ۱۷۰۰ و ۳۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم یون کلسیم در محلول آب نمک. میله خطا نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

Figure 4. Changes of Moisture ontent in UF-Feta cheese at different calcium ions concentrations in brine: 200(A), 1700(B) and 3200(C) ppm.
Error bars are standard error (SE).

آن‌ها نشان دادند با افزایش غلظت نمک، سختی و میزان نمک در بافت افزایش می‌یابد. بدین‌ترتیب که سختی بافت پنیر مورد مطالعه در غلظت‌های ۲۰ و ۲۵ درصد بسیار متفاوت از سایر غلظت‌های آب‌نمک (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) بود. همچنین سستی در بافت پنیر در غلظت‌های ۵ و ۱۰ درصد به علت جذب آب از

آب‌نمک مشاهده شد. در مورد پنیر فرآپالایش نیز در غلظت بیش از ۱۰ درصد نمک، سختی با شیب زیادی افزایش یافت و غلظت آب‌نمک کمتر از ۱۰ درصد باعث سستی بافت شد. اثر غلظت آب‌نمک روی ویژگی‌های بافتی احتمالاً از طریق تغییر در میزان رطوبت بافت در حین آب‌نمک گذاری اتفاق می‌افتد (۱۷). جالب توجه اینکه با ایجاد تورم و افزایش میزان رطوبت در بافت پنیر به بیش از میزان اولیه آن در لخته (شکل ۴)، نرمی و شل شدگی بافت نیز مشاهده شد.



شکل ۵- سختی بافت (نیوتن) در دماهای ۳، ۱۱، ۱۹ و ۲۷ درجه سانتی‌گراد و غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و یون کلسیم. حدود خطا، نشان‌دهنده انحراف استاندارد است.

Figure 5. Hardness (N) of UF-Feta cheese at 3, 11, 19 and 27 °C and different NaCl and calcium ions concentrations. Error bars are standard error (SE).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر عوامل مختلف (دما، غلظت‌های یون کلسیم و کلرید سدیم در دامنه وسیع کاربردی) بر سختی بافت، تراوش و تورم پنیر فرآپالایش بررسی شد. با افزایش غلظت نمک کلرید سدیم و جایگزینی یون کلسیم با سدیم در ماتریس پنیر بافت نرم در پنیر همراه با تورم و جذب آب توسط ساختار پروتئینی و افزایش وزن فراورده حاصل شد. با افزایش بیشتر غلظت نمک (بیش از ۸ درصد) به‌مرور چروکیدگی بافت و تراوش افزایش و وزن محصول کاهش یافت. عواملی مانند دما و غلظت یون کلسیم در محلول اطراف نمونه، عمدتاً از طریق تأثیر بر کلسیم کلوئیدی و محلول، سبب چروکیدگی و یا تورم بافت می‌شوند. بدین ترتیب که در دماهای پایین

نگهداری، با افزایش انحلال کلسیم، تورم ماتریس اتفاق افتاده درصورتی‌که با افزایش دما، تراوش و کاهش وزن دیده می‌شود. همچنین با افزایش یون کلسیم در محلول آب‌نمک، میزان تراوش و چروکیدگی بافت افزایش‌یافته و وزن محصول کاهش می‌یابد. به‌طور خلاصه می‌توان بیان داشت که هر عاملی که باعث افزایش برهمکنش پروتئین – پروتئین شود باعث افزایش چروکیدگی و تراوش شده و بالعکس با کاهش برهمکنش پروتئین- آب، تراوش کاهش‌یافته و بافت متورم و وزن نمونه افزایش می‌یابد. نتایج تغییرات بافت پنیر نشان داد که سختی بافت، متناسب با تغییرات تورم و چروکیدگی ناشی از جذب یا تراوش، تغییر می‌کند.

سپاسگزاری

نویسندگان از آقای دکتر قاسم‌زاده از شرکت سحر (روزانه) به خاطر کمک در تهیه نمونه‌ها و آقای مهندس قدیمی از شرکت دنون فرانسه به خاطر آزمون بافت‌سنجی، سپاسگزاری به عمل می‌آورند.

منابع

1. Abbasi, H. 2007. Simulation and optimization of proteolysis and lipolysis of Iranian UF- cheese during of ripening. University of Tabriz: Tabriz. (In Persian)
2. Agarwal, S., Powers, J., Swanson, B., Chen, S. and Clark, S. 2008.Influence of salt-to-moisture ratio on starter culture and calcium lactate crystal formation. J. of dairy science. 91: 8. 2967-2980.
3. CAC 221.1997. Standard for Unripened Cheese, Including Fresh Cheese. FAO/WHO, Codex Alimentarius Commission, Rome, Italy.
4. Erdem, Y.K. 2005. Effect of ultrafiltration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. J. of Food Engineering. 71: 366-372.
5. Fagan, C.C., Castillo, M., Payne, F.A., O'Donnell, C.P., Leedy, M., and O'Callaghan, D.J. 2007. Novel online sensor technology for continuous monitoring of milk coagulation and whey separation in cheesemaking. J. of Agricultural and Food Chemistry. 55: 22.8836-8844.
6. Fucà, N., McMahon, D.J., Caccamo, M., Tuminello, L., La Terra, S., Manenti, M., and Licitra, G. 2012. Effect of brine composition and brining temperature on cheese physical properties in Ragusano cheese. J. of dairy science. 95: 1.460-470.
7. Geng, X.L., Van den Berg, F.W., Bager, A.N., and Ipsen, R. 2011. Dynamic visualization and microstructure of syneresis of cheese curd during mechanical treatment. International Dairy J. 21: 9.711-717.
8. Geurts, T.J., Walstra, P. and Mulder, H. 1972. Brine composition and the prevention of the defect 'soft rind'in cheese. Netherlands Milk and Dairy J.Vol 26, pp: 168-179.
9. Grummer, J., Bobowski, N., Karalus, M., Vickers, Z., and Schoenfuss, T. Use of potassium chloride and flavor enhancers in low sodium Cheddar cheese. J. of Dairy Science. 96: 3.1401-1418.
10. Guinee, T., Feeney, E., Auty, M., and Fox, P. 2002. Effect of pH and calcium concentration on some textural and functional properties of Mozzarella cheese. J. of Dairy Science. 85: 7.1655-1669.
11. ISO 5943/IDF 88. 2006. Determination of chloride content (reference method. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
12. ISO 488/IDF 105. 2008. Milk-Determination of fat content - Gerber butyrometers. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
13. ISO 5534. 2004. Cheese and processed cheese- determination of total solids content (Reference method).

International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
14. ISO 8968-1.2014. Milk and milk products - determination of nitrogen content - Part 1: Kjeldahl principle and crude protein calculation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
15. Johnson, M.E., Kapoor, R., McMahon, D.J., McCoy, D.R., and Narasimmon, R.G. 2009.Reduction of sodium and fat levels in natural and processed cheeses: Scientific and technological aspects. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 8: 3.252-268.
16. Joshi, N., Muthukumarappan, K., and Dave, R. 2004. Effect of calcium on microstructure and meltability of part skim Mozzarella cheese. J. of Dairy Science. 87: 7.1975-1985.
17. Kaya, S. 2002. Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining. J. of Food Engineering. 52: 2.155-159.
18. Kindstedt, P., Kiely, L., and Gilmore, J. 1992.Variation in composition and functional properties within brine-salted Mozzarella cheese. J. of Dairy Science. 75: 1.2913-2921.
19. Lu, Y., and McMahon, D. 2015. Effects of sodium chloride salting and substitution with potassium chloride on whey expulsion of Cheddar cheese. J. of Dairy Science. 98: 1.78-88.
20. McMahon, D.J., Motawee, M., and McManus, W. 2009. Influence of brine concentration and temperature on composition, microstructure, and yield of feta cheese. J. of Dairy Science. 92: 9.4169-4179.
21. McMahon, D.J., Paulson, B., and Oberg, C. 2005. Influence of calcium, pH, and moisture on protein matrix structure and functionality in direct-acidified nonfat Mozzarella cheese. J. of dairy science. 88: 11.3754-3763.
22. Melilli, C., Barbano, D., Licitra, G., Portelli, G., Di Rosa, G., and Carpino, S. 2003. Influence of the temperature of salt brine on salt uptake by Ragusano cheese. J. of Dairy Science. 86: 9. 2799-2812.
23. Michaelidou, A.M.A.E., Polychroniadou, A. and Zerridis, G. 2005. Migration of water-soluble nitrogenous compounds of Feta cheese from the cheese blocks into the brine. International Dairy J. 15: 663–668.
24. Pastorino, A., Dave, R., Oberg, C., and McMahon, D.J. 2002. Temperature effect on structure-opacity relationships of non-fat Mozzarella cheese. J. of Dairy Science. 85: 9.2106-2113.
25. Pastorino, A.J., Hansen, C.L., and McMahon, D.J. 2003. Effect of salt on structure-function relationships of cheese. J. of Dairy Science. 86: 1.60-69.
26. Pastorino, A., Ricks, N., Hansen, C., and McMahon, D.J. 2003. Effect of calcium and water injection on structure-function relationships of cheese. J. of Dairy Science. 86: 1.105-113.
27. Paulson, B.M., Mcmahon, D.J., and Oberg, C.J. 1998. Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangements in non-fat Mozzarella cheese. J.of Dairy Science. 81: 8.2053-2064.
28. Prasad, N., and Alvarez, V. 1999. Effect of salt and chymosin on the physico-chemical properties of feta cheese during ripening. J. of Dairy Science. 82: 6.1061-1067.
29. Rahmani, K. 2007. Simulation of mass transfer (NaCl and moisture) in UF-feta cheese during dry salting. University of Tabriz: Tabriz. (In Persian)
30. Turhan, M., and Kaletunc, G. 1992. Modeling of salt diffusion in white cheese during long-term brining. J. of Food Science. 57: 5.1082–1085.

EJFPP, Vol. 13 (1): 139-154
http://ejfpp.gau.ac.ir

Effects of Ca^{++} ions, NaCl concentration, and salting temperature on textural properties and syneresis or protein matrix swelling of ultrafiltered Feta cheese

K. Rahmani[1], H. Mirzaei[1*], A.M. Ziaiifar[1], M. Kashaninejad[1], S.M. Jafari[1], N. Hamdami[2]

[1]Department of Food Materials and Process Design Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
[2]Department of Agriculture Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan , Iran.

Received: 2018/01/08; Accepted: 2018/05/07

Abstract

Background and objectives: One of the most common defects in the processing of Feta cheese is the creation of soft tissue in the package. This defect occurs mainly at both low temperatures and salt contents. The defect will be avoided in the industry by providing conditions that cause syneresis. In addition to texture softening, quantity and quality of final product is affected by syneresis or absorption phenomena and thus, cheese matrix compositions and physical properties of the protein undergo substantial changes. Temperature, NaCl concentration and calcium ions are of the most important factors with significant effects on the syneresis and textural properties. Basically, any factor that increases protein aggregation in cheeses matrix causes hardness and syneresis, and in contrast, swelling of cheese matrix lead to salt absorption from saline into the cheese texture.

Materials and methods: In this research, hardness and syneresis or absorption levels were measured in 72 cheese formulations that were produced under different concentrations of brine (0, 2, 8, 10, 18, and 26 %), calcium ions levels (200, 1700, and 3200 ppm), and temperatures (3, 11, 9 and 27°C). All experiments were performed in triplicate. Data were analyzed using a split-plot design based on complete random blocks.

Results: Temperature, brine composition (NaCl and calcium ions) and interaction between this factors (Salt× Ca^{++}, T× Salt and T× Ca^{++}) and Salt× Ca^{++}×T showed significant effects ($p<0.01$) on UF-Feta cheese hardness and syneresis. The absorption phenomena occurred at <8% NaCl concentration and temperature of above 11°C. Hardness and syneresis improved gradually at higher NaCl concentration and >11°C. Most of the tissue swelling was observed in the range of 8-10% salt. Increasing calcium ions shifted maximum absorption and swelling to lower brine concentration. Also, the results of the hardness and cheese moisture content confirmed shrinkage and swelling of the cheese matrix.

Conclusion: The interaction of temperature, NaCl concentration and calcium ion showed two different effects on syneresis and textural properties in UF-Feta cheese. Below 11°C, when NaCl concentration enhanced up to 8-10%, softening and swelling of cheese matrix increased. However, higher increase in NaCl concentration (>8%) and temperature above this range improved shrinkage and hardness of cheese matrix. Also, at all temperature and NaCl concentrations by adding more calcium ion, swelling and softening in UF- feta cheese were reduced. Therefore, in order to avoid the softness of this type of cheese, the process of industrial production and storage should be designed in such a way that prevent swelling of cheese matrix.

***Keywords**:* Cheese, Ultrafiltration, Calcium, NaCl, Syneresis

[*]Corresponding author: mirzaeihabib1@gmail.com