

## بررسی تاثیر سطوح مختلف نمک‌های NaCl و KCl بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی پنیر سفید ایرانی

حامد حیدری مقتدر<sup>۱</sup> و ابراهیم احمدی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۱۴

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

\* مسئول مکاتبه: E mail: eahmadi@basu.ac.ir

### چکیده

پنیر سفید ایرانی فرآپالایش جزء پنیرهای تازه محسوب می‌شود که مدت اندکی پس از تولید قابل مصرف است. نمک در آبگیری دلمه، بهبود طعم و افزایش استحکام بافت این پنیر مؤثر است و با کاهش آب آزاد و در نتیجه، کاهش فعالیت آبی، زمان ماندگاری پنیر را افزایش می‌دهد. اما به دلیل مضرات مصرف نمک کلرید سدیم بر سلامت انسان همچون افزایش فشار خون، افزایش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی، عروقی، کلیوی و پوکی استخوان، تولید پنیرهای کم نمک یا استفاده از نمک‌های جایگزین می‌تواند به عنوان راهکاری مناسب مورد توجه قرار گیرد. به این منظور در این تحقیق، امکان کاهش مقدار سدیم در پنیر سفید ایرانی در طی نمک‌زنی خشک، از نظر خصوصیات مکانیکی و رئولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت. پنج تیمار شامل مخلوط‌هایی با نسبت متفاوت از نمک کلرید سدیم و کلرید پتاسیم با نسبت‌های تیمار A یا شاهد (3% NaCl)، تیمار B (2% NaCl + 1% KCl)، تیمار C (1.25% NaCl + 1.25% KCl)، تیمار D (1.5% NaCl) و تیمار E (1.5% KCl + 0.25% NaCl) در کارخانه شیر پاستوریزه پگاه همدان تهیه شدند و در طول مدت ۶۰ روز رسیدگی توسط آزمون‌های تنش‌آسایی، برش کاتر و رنگ‌سنجی مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج به دست آمده نشان داد که به‌طور کلی سفتی، مقاومت، قوام و الاستیسیته‌ی نمونه‌ها از روز سوم تا سی‌ام افزایش و از روز سی‌ام تا شصتم کاهش یافتند. همچنین با کاهش مقدار مجموع نمک‌های NaCl و KCl در هر تیمار، استحکام و به‌هم پیوستگی آن‌ها کاهش پیدا می‌کرد و نمونه‌ها نرم‌تر و سست‌تر و از هم پاشیده می‌شدند؛ به طوری‌که تیمار A بیش‌ترین و تیمار E کمترین مقادیر پارامترهای مربوط به سفتی و مقاومت را داشتند. با توجه به نتایج همه‌ی آزمون‌ها و پارامترها، نزدیک‌ترین و شبیه‌ترین تیمار به تیمار A (شاهد)، تیمار B بود که فقط در یک پارامتر اختلاف معناداری با تیمار A داشت و لذا می‌توان تیمار B را بدون این‌که تأثیر منفی بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی پنیر داشته باشد، جایگزین تیمار شاهد کرد.

واژگان کلیدی: پنیر، رئولوژی، سفتی، کلرید پتاسیم، کلرید سدیم

## علائم اختصاری

$\sigma(t)$	تنش در زمان $t$ (MPa)	$E_i$	مدول الاستیسیته‌ی المان $i$ ام (MPa)
$\sigma_i$	تنش در عنصر ترکیبی ویسکوز-الاستیک (MPa)	$E_e$	مدول الاستیسیته‌ی تعادلی (MPa)
$\sigma_e$	تنش در عنصر الاستیک یا تنش تعادلی (MPa)	$t$	زمان (s)
$\sigma(t_i)$	تنش در زمان $t_i$ (MPa)	$T_{reli}$	زمان تنش‌آسایی (s)
$\square_0$	کرنش اولیه		

## مقدمه

پنیر عبارت است از فرآورده تازه (Fresh) یا رسیده (Ripened) شیر که از انعقاد شیر و خروج سرم شیر از آن تولید می‌شود. پنیر به صورت‌های نرم، نیمه-سخت، سخت و خیلی سخت تولید می‌شود. پنیرهای سفید از دسته آب نمکی هستند که اساساً نرم بوده و در آب نمک، دوره رسیدن را طی کرده و نگهداری می‌شوند (موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۱). نمک مورد استفاده در تولید پنیرهای آب نمکی با جذب آب اضافی و تکمیل آب‌گیری دلمه باعث افزایش قوام و استحکام دلمه می‌شود. از طرف دیگر، نمک با کاهش آب آزاد پنیر و در نتیجه، کاهش فعالیت آبی باعث افزایش زمان ماندگاری پنیر می‌شود (گویلرمو و همکاران، ۲۰۰۶). نمک یک ترکیب شیمیایی شامل دو عنصر پایه‌ای، سدیم کاتیونی ( $Na^+$ ) و کلرید آنیونی ( $Cl^-$ ) می‌باشد که با یکدیگر به منظور تشکیل یک نمک هالید به نام کلرید سدیم (NaCl) واکنش می‌دهند (منیلی، ۱۹۷۳). یون سدیم برای حفظ حجم خون و فشار اسمزی سلول و انتقال پیام‌های عصبی مورد نیاز می‌باشد. با این حال، به دلیل ارتباط میزان دریافت سدیم با فشار خون، پوکی استخوان و تشکیل سنگ‌های کلیوی، نگرانی مصرف کنندگان به مصرف سدیم در مورد غذاهای فراوری شده روز به روز در حال افزایش است (رددی و مارت، ۱۹۹۳). نمک رشد باکتری‌های نامطلوب را در پنیر به تعویق می‌اندازد، به غلبه فلور میکروبی مطلوب کمک می‌نماید، باعث کنترل سرعت تخمیر اسید لاکتیک شده و نیز بهبود طعم، جسمیت و بافت پنیر در طی دوره

رسیدگی را سبب می‌شود (اولسون، ۱۹۸۲). در صورتی که غلظت نمک در پنیر کاهش یابد، خصوصیات فیزیکی شیمیایی، حسی، رئولوژیکی و میکروبی ممکن است تحت تأثیر قرار گیرد؛ همچنین وقتی غلظت نمک در پنیر کاملاً کم می‌شود، فعالیت آبی، اسیدیته و تلخی همگی افزایش می‌یابند در حالی که سفتی کاهش می‌یابد. با این حال، جایگزین کردن مقداری از NaCl با KCl می‌تواند به حل کردن بسیاری از مشکلات فوق کمک کند (الی، ۱۹۹۵). مطالعات زیادی نشان داده‌اند که افزایش دریافت پتاسیم از طریق رژیم غذایی می‌تواند یک اثر محافظت‌کنندگی در افراد دارای فشار خون اعمال نماید؛ و نیز باعث کاهش دفع کلسیم از طریق ادرار و در نتیجه کاهش احتمال ابتلا به پوکی استخوان شود (فرگلی، ۱۹۸۱؛ هادی، ۱۹۹۱). نمک KCl گسترده-ترین و موفقیت‌آمیزترین جایگزین جزئی مورد استفاده برای NaCl در پنیر بوده است (رددی و مارت، ۱۹۹۱). در این تحقیق سعی شده است با بررسی امکان کاهش مقدار سدیم در پنیر سفید ایرانی در طی نمک‌زنی خشک به وسیله استفاده کردن از مخلوط‌های نمک NaCl و KCl، و نیز کاهش مقدار نمک در یکی از تیمارها بدون جایگزینی KCl، کیفیت تغذیه‌ای این فراورده پر مصرف داد. انجام آزمون‌های رئولوژی و مکانیکی برای تعیین خواص کیفی محصولات غذایی اهمیت به‌سزایی دارد. تاکنون آزمون‌های شیمیایی، حسی و میکروبی زیادی در حوزه صنایع غذایی بر روی پنیر صورت گرفته، اما مطالعات محدودی به وسیله آزمون‌های مکانیکی رئولوژیکی و رنگ‌سنجی روی پنیر انجام شده و لذا

1.25% NaCl) C، تیمار (2% NaCl + 1% KCl) B، تیمار (1.5% NaCl) D و تیمار E (1.5% NaCl + 0.25% KCl) به روش نمک‌زنی خشک، تهیه و توسط دستگاه دربند حرارتی و با ورق آلومینیومی دربندی شدند. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای  $18^{\circ}\text{C}$  قرار گرفتند و سپس تا زمان تکمیل رسیدگی در دمای یخچال (۵ تا ۸ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. به منظور بررسی اثر تیمارهای اعمال شده روی ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی نمونه‌های پنیر، در روزهای رسیدگی ۳، ۳۰ و ۶۰، از محصول نمونه برداری و آزمایش‌های لازم صورت گرفت.

#### دستگاه اندازه‌گیری و شرایط آزمایش

آزمون‌های تنش‌آسایی و برش کاتر توسط دستگاه آنالیزور بافت مواد غذایی (Zwick/roell مدل bt1\_fr0.5th.d14 ساخت کشور آلمان، مدل لودسل آن xforce hp با ظرفیت ۵۰۰ N) در آزمایشگاه رئولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا انجام شد. نمونه‌های پنیر به شکل مکعب مربع در ابعاد  $30 \times 20 \times 20$  میلی‌متر بصورت یکنواخت بریده شدند. برای اینکه نمونه‌ها با محیط آزمایشگاه ( $22 \pm 1$  درجه سانتی‌گراد) هم‌دما شوند، حداقل ۲ ساعت پیش از آزمایش در دمای محیط نگهداری شدند. نمونه‌های بریده شده به منظور از دست ندادن و نیز از بین رفتن تنش‌های وارده به نمونه‌ها در اثر برش، به سرعت و برای مدت ۲۰ دقیقه در داخل یک ظرف غیر قابل نفوذ به هوا قرار گرفتند.

#### آزمون تنش‌آسایی

آزمون به روش فشاری توسط پراب استوانه‌ای فشاری صورت گرفت. همه‌ی نمونه‌ها با سرعت ۵ میلی‌متر در دقیقه تا کرنش ۱۰ درصد فشرده و به مدت ۱۸۰ ثانیه در همان موقعیت ثابت نگه داشته می‌شدند و از این لحظه به بعد، نیرو با گذشت زمان، پیوسته کاهش می‌یافت. مقدار پیش‌باری  $0.2/0$  نیوتن با سرعت ۱۰۰ میلی-

یافته‌های حاصل از این آزمون‌ها نظیر مقاومت به برش، سختی و تغییر رنگ می‌تواند در مطالعه کیفیت محصول مفید باشد. بدین‌منظور تأثیر کاهش غلظت نمک بر روی ویژگی‌های رئولوژیکی، مکانیکی و بافتی محصول نهایی مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر کاهش غلظت نمک روی محصول نهایی که از لحاظ تغذیه‌ای سالم‌تر است، ارزیابی گردد.

#### مواد و روش‌ها

##### روش تهیه پنیر

پنیر سفید ایرانی از شیر گاو با روش اولترافیلتراسیون (Ultrafiltration) در کارخانه پگاه همدان تهیه گردید. شیر مورد استفاده در ساخت پنیر از نوع شیر گاو دارای میزان چربی ۳/۳٪ و مقدار PH برابر با ۶/۶۸ بود که در دمای  $76^{\circ}\text{C}$  به مدت ۴۵ ثانیه تحت فراوری حرارتی قرار گرفت و سپس تا دمای  $34^{\circ}\text{C}$  سرد و با استفاده از یک واحد اولترافیلتراسیون مدل APV ساخت کشور دانمارک تا ۳۶٪ مواد جامد کل تغلیظ شد. مواد حاصل از عمل تغلیظ در دمای  $80^{\circ}\text{C}$  به مدت یک دقیقه حرارت داده شد و تحت فشار ۷۰ بار در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  توسط دستگاه هموژنایزر همگن شده و تا  $36^{\circ}\text{C}$  سرد شد. در ادامه مقدار ۲ درصد وزنی استارتر آماده معادل با ۵۰ واحد بین المللی به ازای ۵۰۰ کیلوگرم شیر تغلیظ شده (۵۰U) (هانسن، دانمارک) به آن افزوده و به خوبی مخلوط گردید. شیر را حدود نیم ساعت به حال خود باقی گذاشته تا میزان PH محصول به مقدار  $\text{PH}=6$  کاهش یابد. این PH برای به حداکثر رسانیدن فعالیت رنت ضروریست. سپس به آن مایه پنیر (Fromase® 2200 TL Granulate) ساخت فرانسه) به مقدار ۳ گرم به ازای ۱۰۰ کیلوگرم ریتنتیوت افزوده و به آرامی هم زده شد و در قوطی‌های ۴۰۰ گرمی توزیع شد تا تشکیل لخته کامل گردد. سپس پنج تیمار با نسبت‌های تیمار A یا شاهد (3% NaCl)، تیمار

تیمار که در آزمون تنش‌آسایی اولیه با ۱۸۰ ثانیه مشخص شده بود، تعیین گردید و سایر تیمارها نیز به همین مدت تحت آزمون قرار گرفتند تا شرایط یکسان باشد. پس از گذشت این زمان، تنش در نمونه به حالت پایدار می‌رسید و دیگر کاهش تنش اتفاق نمی‌افتاد و نمودار به یک خط افقی سوق پیدا می‌کرد. در مدل ماکسول عمومی، تنش باقیمانده با یک شاخه فنر تنها مدل‌سازی می‌شود. معمولاً مدل چند جزئی به طور مناسبی می‌تواند رفتار واقعی مواد کشاورزی را بیان نماید. با توجه به اینکه بعد از گذشت زمان طولانی مقداری از تنش ایجاد شده در محصولات کشاورزی باقی می‌ماند، برای رفع این عیب فنری با ضریب  $E_e$  به مدل ماکسول عمومی اضافه می‌کنند (محسنین، ۱۹۸۶). رابطه‌ی ۱ بیان ریاضی مدل عمومی ماکسول را نشان می‌دهد:

$$\sigma(t) = \sigma_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + \sigma_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \dots + \sigma_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + \sigma_e \quad (1)$$

که در آن با در نظر گرفتن  $\sigma_i = \varepsilon_0 E_i$  و  $\sigma_e = \varepsilon_0 E_e$  می‌توان آنرا به صورت رابطه‌ی ۲ نوشت:

$$\sigma(t) = \left[ E_1 e^{\frac{-t}{T_{rel1}}} + E_2 e^{\frac{-t}{T_{rel2}}} + \dots + E_n e^{\frac{-t}{T_{reln}}} + E_e \right] \varepsilon_0 \quad (2)$$

### آزمون برش کاتر

در این آزمون یک سیم فولادی ضد زنگ با قطر ۰/۳ میلی‌متر که توسط پراب به فک متحرک دستگاه متصل می‌شود، با سرعت ثابت عمل برش را انجام می‌دهد. آزمون با سرعت برش ثابت ۱۰ میلی‌متر در دقیقه و تا یک سوم ارتفاع اولیه نمونه‌ها یعنی ۱۰ میلی‌متر انجام شد. نیروی پیش‌باری ۰/۰۵ نیوتن و با سرعت ۱۰۰ میلی‌متر در دقیقه بود. در نهایت نیروی لازم برای غلبه بر مقاومت برشی نمونه توسط لودسل اندازه‌گیری شده و نمودار نیرو، تغییر شکل توسط نرم افزار دستگاه

متر در دقیقه بود. آزمون برای هر تیمار در ۳ تکرار صورت پذیرفت. با استفاده از روش باقیمانده‌های متوالی و توسط مدل ماکسول عمومی ۴ المانه که بهترین تقریب با نتایج آزمون را ایجاد می‌کرد، زمان‌های تنش‌آسایی و تنش‌های ثابت هر المان مدل ماکسول محاسبه شدند. مدل ماکسول عمومی برای هر یک از نمونه‌ها ۴ تنش ثابت و ۴ زمان تنش‌آسایی را پیش‌بینی کرد. در این تحقیق، به منظور تعیین جمله‌ی اول، با توجه به سهم جملات در توصیف رفتار مدل، مشخص شد که جمله‌ی اول، جمله‌ای خواهد بود که دارای بیش‌ترین زمان تنش‌آسایی است. برای تعیین تنش باقیمانده یا تعادلی، برای هر تیمار در روزهای سوم، سی‌ام و شصتم، ۲ نمونه تحت آزمون تنش‌آسایی با شرایطی دقیقاً مشابه با آنچه در بالا گفته شد، قرار گرفت و فقط مدت زمان نگهداری به جای ۱۸۰ ثانیه، ۳۲ دقیقه بود. مقدار این زمان بر حسب رفتار سفت‌ترین

مدل ماکسول عمومی (رابطه ۱) پرکاربردترین مدلی است که برای تحلیل نتایج تجربی حاصل از آزمون تنش‌آسایی به کار می‌رود. از منحنی تنش‌آسایی بدست آمده، ضرایب مدل استخراج شد و مورد ارزیابی قرار گرفت. رفتار مدل با روش باقیمانده‌های متوالی<sup>۱</sup> بررسی شد. ثابت زمانی  $T_{rel}$  یا به عبارتی زمان تنش‌آسایی نمونه‌های مورد آزمایش با استفاده از رابطه‌ی ۳ محاسبه گردید (محسنین، ۱۹۸۶).

$$T_{rel} = \frac{t_2 - t_1}{\ln \sigma(t_1) - \ln \sigma(t_2)} \quad (3)$$

<sup>1</sup> Successive residuals

شش تکرار از نواحی درونی و مختلف پنیر و در دمای  $1 \pm 22$  درجه‌ی سانتی‌گراد انجام شد. با توجه به اینکه رنگ غالب در پنیر مورد آزمایش این تحقیق سفید است، پارامترهای  $a^*$  و  $b^*$  اطلاعات آن‌چنان زیادتری از مقادیر  $L^*$  در اختیار ما قرار نمی‌دهند و لذا در این تحقیق به تحلیل مقادیر  $L^*$  بسنده شد. همچنین میزان اختلاف رنگ کلی بین نمونه‌ها از رابطه (۴) محاسبه شد:

$$\Delta E = \left[ \left( L_{observer}^* - L_{sample}^* \right) + \left( a_{observer}^* - a_{sample}^* \right) + \left( b_{observer}^* - b_{sample}^* \right) \right]^{0.5} \quad (4)$$

پارامترهای اولین زمان تنش‌آسایی (T1) و اولین تنش ثابت (S1) در سطح آماری ۱٪ و برای تنش باقیمانده (Se) در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار است. شکل ۱ نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر اولین زمان تنش‌آسایی را نشان می‌دهد.

با در نظر داشتن این موضوع که بخش ویسکوز مواد غذایی دارای بافتی نرم است که به سرعت نیروی وارده را جذب و میرا می‌کند و در مدت زمان کمتری نسبت به مواد با بخش الاستیک قوی‌تر، نیرو و تنش کاهش می‌یابد و در نتیجه مدت زمان تنش‌آسایی برای مواد ویسکوز کمتر است؛ پس می‌توان گفت که به طور کلی از روز سوم تا سی‌ام خاصیت الاستیک نمونه‌ها و از روز سی‌ام تا شصتم خاصیت ویسکوز نمونه‌ها قوی‌تر و غالب می‌شود. این نتیجه با نتیجه‌ی مطالعه‌ی آکین و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. همچنین پولارد و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعه‌ای که بر روی تغییرات بافت پنیر چدار طبیعی در روند رسیدگی آن انجام داده‌اند، بیان داشتند که از روز تولید تا پنجاه روز پس از آن خاصیت الاستیک افزایش و به بالاترین مقدار خود می‌رسد و سپس از روز پنجاهم تا روز نودم خاصیت

(Test Xpert) رسم گردید. آزمون برای هر تیمار در هشت تکرار صورت گرفت.

### آزمون رنگ سنجی

رنگ تیمارهای مختلف پنیر در طی رسیدن با استفاده از سیستم رنگ سنجی  $L^*a^*b^*$  CIE و استاندارد منبع نور D65 و توسط یک دستگاه رنگ سنج قابل حمل مدل HP-200 ساخت کشور چین انجام شد. در این مدل رنگی،  $L^*$  بیانگر سفیدی،  $a^*$  بیانگر قرمزی و  $b^*$  بیانگر زردی هستند. اندازه‌گیری رنگ برای هر تیمار با

### ارزیابی آماری

داده‌های آزمایش به کمک نرم‌افزار SPSS و با مدل خطی عمومی به روش تجزیه واریانس تک متغیره تحلیل شدند. نوع طرح آزمایش، فاکتوریل در قالب طرح پایه‌ی کاملاً تصادفی بود. پس از اطمینان از معنی‌داری اثر اصلی نوع پنیر یا زمان رسیدگی پنیر و یا اثر متقابل نوع و زمان، مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن، توسط نرم‌افزار SPSS 19 انجام شد. قبل از آنالیز واریانس داده‌ها، نرمال بودن داده‌ها با  $P\text{-Value} > 0.05$  بررسی شد.

### نتایج و بحث

#### آزمون تنش‌آسایی

در جدول ۱ مقادیر میانگین ضرایب مدل چهار جزئی ماکسول در آزمون تنش‌آسایی ارائه شده است. مقادیر  $T_n$  بیانگر زمان تنش‌آسایی در المان  $n$  ام، مقادیر  $S_n$  بیانگر تنش ثابت در المان  $n$  ام و  $S_e$  نشان دهنده‌ی تنش باقیمانده یا تنش تعادلی می‌باشند.

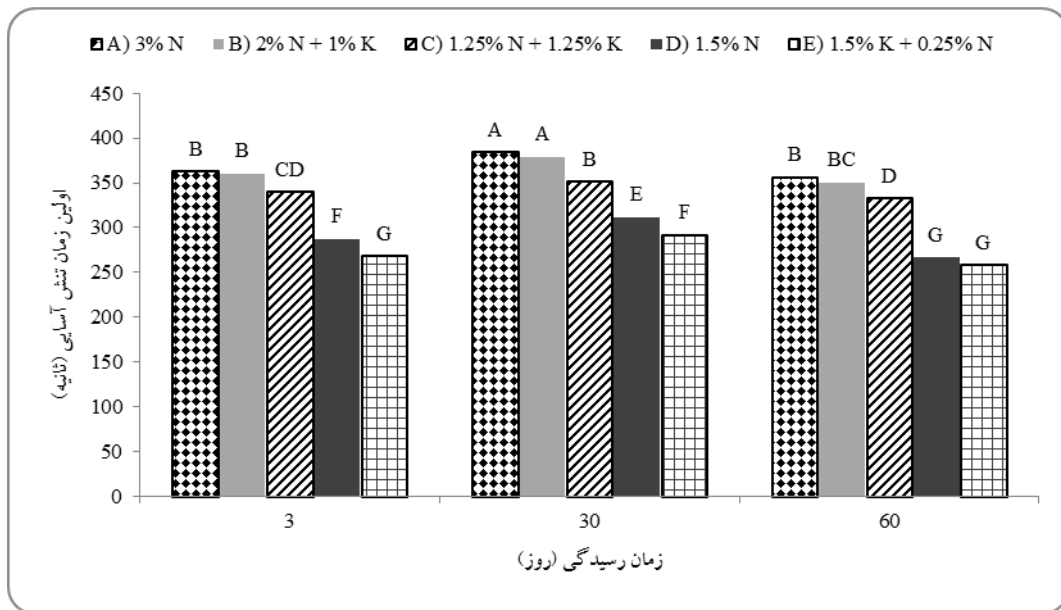
پارامترهای T1، S1 و Se مورد تحلیل آماری قرار گرفتند و مشخص شد که اثر متقابل نوع و زمان برای

ماتریس پروتئینی دچار آرایش مجدد ساختاری گردیده و بافتی بسیار فشرده حاوی توده‌های کازئینی تشکیل می‌گردد. در نتیجه مدول الاستیک پنیر UF بر مدول ویسکوز آن غالب بوده و با افزایش رسیدن، نسبت مدول ویسکوز بر الاستیک، یعنی تانژانت زاویه ی اتلاف کاهش می‌یابد.

الاستیک کاهش و خاصیت ویسکوز افزایش یافت. در اواخر دوره‌ی رسیدن در پنیرهای آب‌نمکی، کاهش میزان پروتئین باعث کاهش تراکم بافت جامد و به دنبال آن کاهش سفتی پنیر می‌شود (هورن، ۱۹۹۸). کرمی و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که با افزایش زمان رسیدن، به خاطر تجزیه گلبول‌های چربی و پروتئولیز،

جدول ۱- مقادیر میانگین ضرایب مدل چهار جزئی ماکسول در آزمون تنش‌آسایی

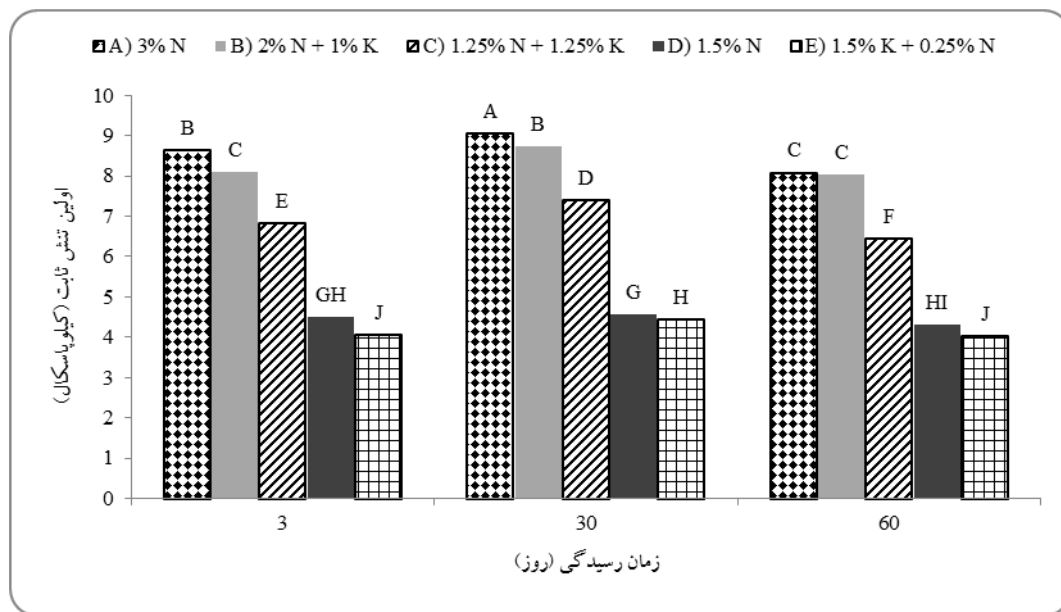
روز	تیمار	T <sub>1</sub> (S)	S <sub>1</sub> (Kpa)	T <sub>2</sub> (S)	S <sub>2</sub> (Kpa)	T <sub>3</sub> (S)	S <sub>3</sub> (Kpa)	T <sub>4</sub> (S)	S <sub>4</sub> (Kpa)	S <sub>e</sub> (Kpa)
سوم	A	۳۶۲/۹	۸/۶۲۶	۱۷۲/۶۳	۲/۲۶۴	۹۶/۸	۱/۷۰۷	۶۰/۴۷	۱/۲۹۶	۲/۴۴۴
	B	۳۶۰/۲	۸/۰۹	۱۷۵/۰۶	۲/۳۸۹	۱۰۶/۵۲	۱/۷۱۷	۶۹/۰۹۸	۱/۴۱۲	۲/۳۶۱
	C	۳۳۹/۹۴	۶/۸۲	۱۶۳/۵۹	۲/۲۱۹	۱۰۳/۸۲	۱/۳۸۳	۶۷/۸۳۴	۱/۰۷۵	۲/۱۲۸
	D	۲۸۷/۵۵	۴/۴۹	۱۵۸/۵	۱/۴۶	۱۰۱/۴۷	۰/۹۹۸	۶۶/۸۲۸	۰/۷۶۳	۱/۵۴
	E	۲۶۷/۹۵	۴/۰۳۹	۱۴۳/۴	۱/۴۹۵	۹۲/۱	۱/۰۷۵	۶۰/۲۶	۰/۸	۱/۵۱۹
سی‌ام	A	۳۸۳/۵	۹/۰۴۲	۱۹۱/۶۷	۲/۴۷۶	۱۱۷/۵۸	۱/۶۰۹	۷۵/۷۲	۱/۲۶۸	۲/۵۰۱
	B	۳۷۹/۲	۸/۷۳۲	۱۸۷/۷۹	۲/۴۲۴	۱۱۷/۲۹	۱/۷۲۴	۷۳/۸۱	۱/۲۳۶	۲/۴۶۴
	C	۳۵۱/۲۵	۷/۳۸۳	۱۵۵/۶۲	۲/۱۶۴	۸۷/۷۴	۱/۳۵۸	۵۹/۲۱	۱/۰۸۹	۲/۲۲۱
	D	۳۱۱/۵۲	۴/۵۵	۱۶۳/۶۱	۱/۵۹۲	۱۰۴/۴۲	۱/۰۳۲	۶۷/۰۵	۰/۸۵۸	۱/۷۸۱
	E	۲۹۱/۷۸	۴/۴۳۱	۱۵۴/۴۳	۱/۴۶۶	۱۰۱/۹۶	۱/۱۳۲	۶۸/۳۲	۰/۹۱۷	۱/۷۶
شصتم	A	۳۵۵/۹۸	۸/۰۶۹	۱۷۸/۶۹	۲/۳۹	۱۱۲/۸۳	۱/۵۹۱	۷۳/۲۰۳	۱/۳۵	۲/۳۴۲
	B	۳۵۰/۶۸	۸/۰۲	۱۶۹/۷۷	۲/۴۰۲	۱۰۳/۶۵	۱/۵۶۲	۶۶/۹۴۸	۱/۲۰۶	۲/۳۱۸
	C	۳۳۲/۸۵	۶/۴۲۲	۱۶۳/۱۷	۲/۲۲۵	۱۰۳/۲۲	۱/۲۴۹	۶۹/۰۸۹	۱/۰۰۱	۲/۰۴۵
	D	۲۶۶/۹۲	۴/۳۰۹	۱۴۱/۲۷	۱/۴۲۲	۸۸/۵۵	۰/۹۳۵	۶۰/۱۹۳	۰/۶۶۲	۱/۵۶
	E	۲۵۷/۴۶	۴/۰۱	۱۴۷/۱۹	۱/۳۴۲	۹۵/۰۲۴	۰/۸۰۱	۶۴/۷۲۱	۰/۶۴۵	۱/۲۳۸



شکل ۱- نمودار نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر اولین زمان تنش آسایبی حروف مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

خروج رطوبت از پنیر می‌گردد. در نتیجه با افزایش مقدار نمک، رطوبت کاهش و به دنبال آن خاصیت ویسکوزی هم کاهش می‌یابد و باعث می‌شود که خاصیت الاستیکی به خاصیت غالب در پنیر مبدل شود. شکل ۲، نمودار نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر اولین تنش ثابت را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است روند تغییرات تیمارها هم از نظر تأثیر نوع و هم از نظر زمان رسیدگی (هر دو پارامتر مربوط به اولین المان ماکسول می‌باشند) کاملاً مشابه تغییرات پارامتر اولین زمان تنش آسایبی می‌باشد.

ملاحظه می‌گردد که در هر ۳ زمان با کاهش غلظت نمک کل، زمان تنش آسایبی کاهش می‌یابد. به جزء تیمار E که با داشتن ۱ گرم نمک بیشتر نسبت به تیمار D، زمان کمتری دارد که این به دلیل شکننده‌تر بودن نمک کلرید پتاسیم نسبت به نمک کلرید سدیم است. لذا می‌توان گفت با کاهش غلظت نمک، خاصیت الاستیکی کاهش و خاصیت ویسکوزی افزایش می‌یابد. موتلاگ و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند که نمک دارای اثرات اُسمزی توأم با اثرات ویژه بر روی پروتئین‌ها می‌باشد، لذا فشار اُسمزی با ایجاد مکش در سطح لخته‌ی پنیر باعث اُفت و



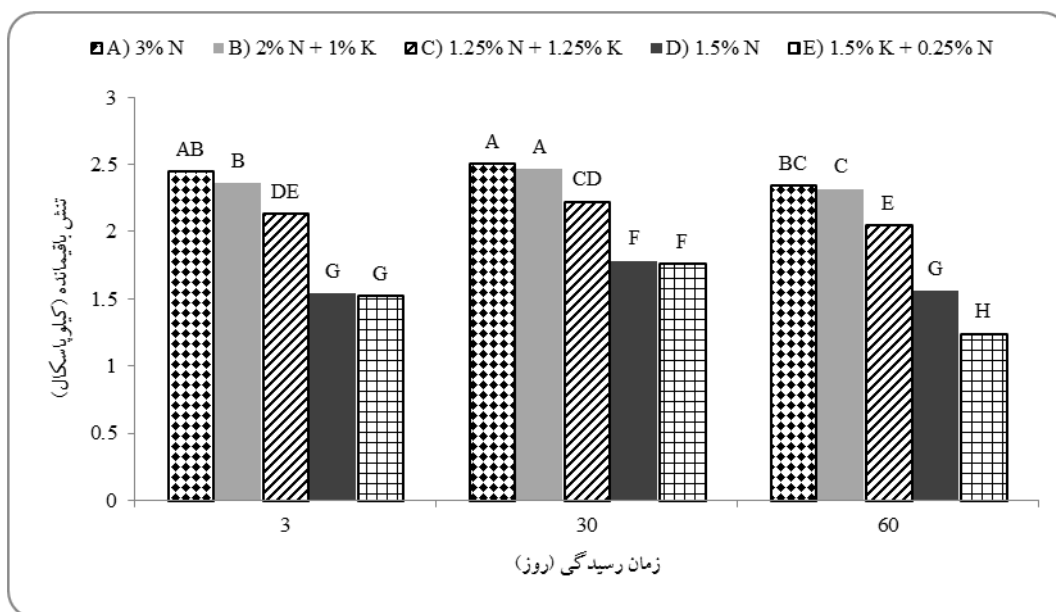
شکل ۲- نمودار نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر اولین تنش ثابت حروف مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

بعد مقدار بسیار زیاد همین پروتئین‌ها سبب می‌گردد که پروتئولیز و لیپولیز با قدرت و شدتی مضاعف عمل کرده و علاوه بر جلوگیری از پیشرفت این سفت‌شدگی، بر اثر تخریب و آرایش مجدد مولکول‌های پروتئین و گلوبول‌های چربی، شرایط نرم و ویسکوزی شدن پنیر فراهم آید (رائو و رینر، ۱۹۸۹).

بعلاوه در تولید پنیر UF از مقدار زیادی رنت استفاده می‌گردد که به دلیل این که این نوع پنیر دارای فرآیند برش لخته و آبگیری نیست، در داخل بافت باقی مانده و نرخ توده‌ای شدن کازئین را بالا برده و بافتی دانه‌ای شکل ایجاد می‌کند. در پنیر UF تازه، این رفتار سفت‌کنندگی بافت بر رفتار نرم‌کنندگی پروتئولیز غلبه داشته و با گذشت رسانیدن، پروتئولیز افزایش یافته و بافت پنیر نیز نرم و شکننده می‌شود (کرمی و همکاران، ۲۰۰۹).

شکل ۳ نمودار نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر تنش باقیمانده را نشان می‌دهد. به صورت کلی با کاهش غلظت نمک، مقدار تنش باقیمانده در هر ۳ زمان کاهش می‌یابد. در خصوص تأثیر زمان رسیدگی بر روی تنش باقیمانده، تمام تیمارها از روز سوم تا روز سی‌ام افزایش و از روز سی‌ام تا روز شصتم کاهش می‌یابند که مشابه با ۲ پارامتر قبلی است. در روش فرآپالایش، تقریباً تمام پروتئین‌های آب پنیر موجود در شیر، به فاز ریتنتیت و از آنجا به پنیر منتقل می‌شوند، درحالی‌که در روش-های سنتی تولید، قسمت اعظم این پروتئین‌ها به همراه آب پنیر دفع می‌شوند؛ در نتیجه مقدار بالای پروتئین-های آب پنیر در پنیرهای فرآپالایش و میزان آبگیری و آب‌دوستی بالای آن‌ها که حتی در PH های بسیار پایین هم به سختی رسوب می‌کنند، باعث می‌شود که قوام و بافت این پنیرها نسبت به انواع سنتی با گذشت زمان، متراکم‌تر، سفت‌تر و جامدتر شود، اما از محدوده‌ای به

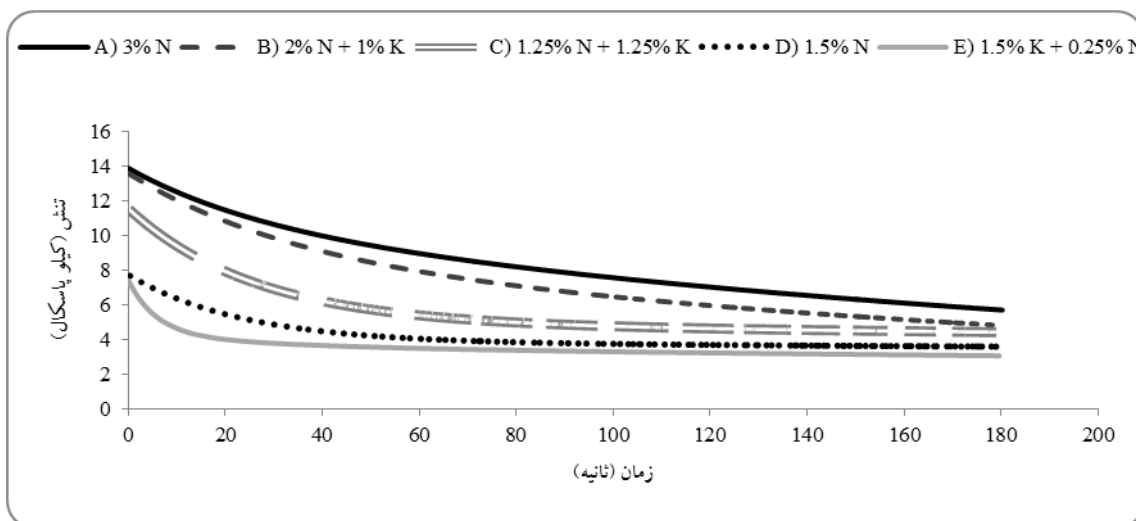




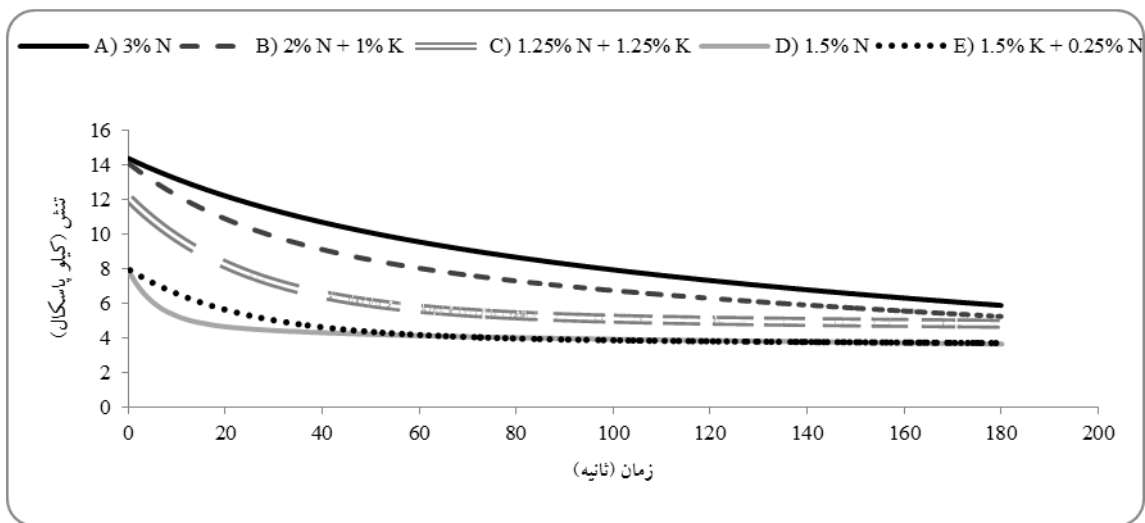
شکل ۳- نمودار نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نوع و زمان، بر روی پارامتر تنش باقیمانده حروف مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

و شصتم به ترتیب در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ قابل مشاهده- اند.

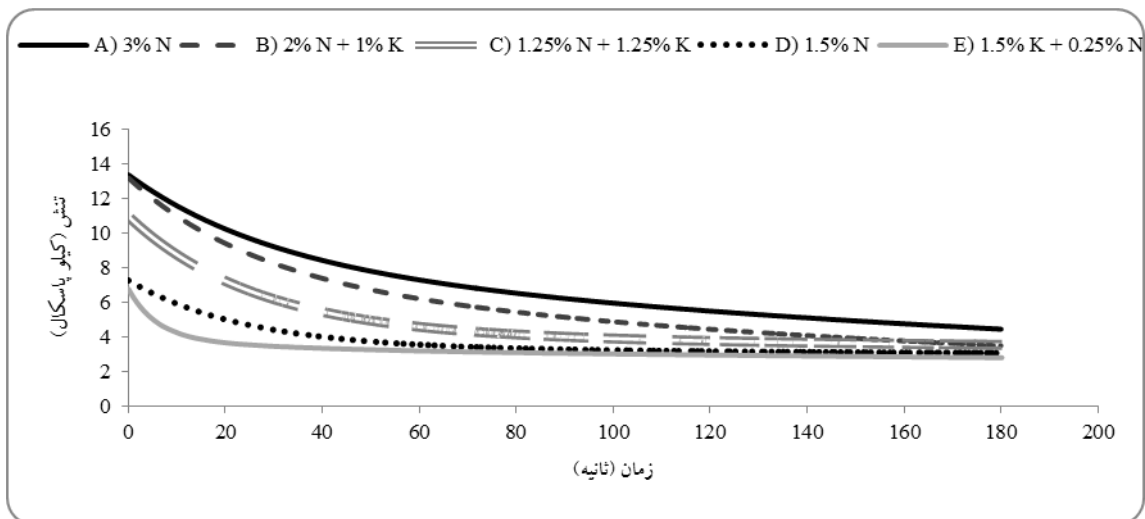
پس از انجام آزمون تنش‌آسایی، منحنی تنش-زمان میانگین ۳ تکرار برای همه‌ی تیمارها رسم شدند. منحنی تنش‌آسایی تیمارهای مختلف در روزهای سوم، سی‌ام



شکل ۴- منحنی تنش‌آسایی تیمارهای مختلف در روز سوم



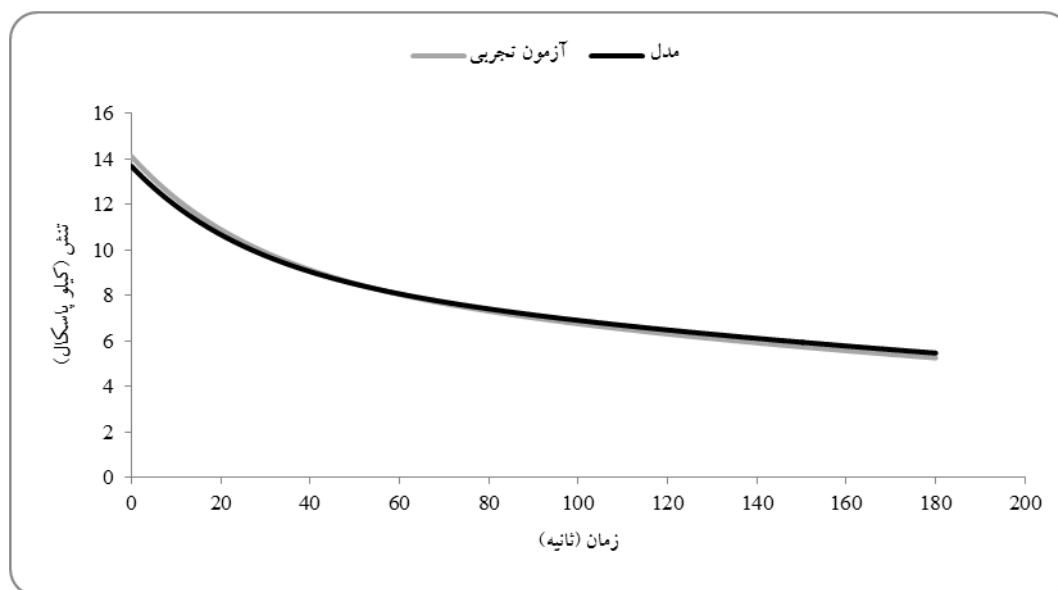
شکل ۵- منحنی تنش آسایبی تیمارهای مختلف در روز سی‌ام



شکل ۶- منحنی تنش آسایبی تیمارهای مختلف در روز شصتم

که باعث می‌شود تنش هرچه سریع‌تر در بافت داخلی و پیوندهای چربی و پروتئین جذب و میرا گردد. در شکل ۷ نمونه‌ای از برازش منحنی تنش آسایبی توسط مدل ۴ المانه ماکسول برای تیمار B در روز سی‌ام ارائه شده است. برای هر یک از ۱۴ تیمار دیگر نیز به این شکل منحنی حاصل از داده‌های دستگاه در آزمون تجربی و منحنی حاصل از مدل‌سازی بر روی یکدیگر فیت شدند و مشخص شد که ضرایب به دست آمده در جدول ۱، با منحنی‌های آزمون تجربی به طرز صحیح و قابل قبول مطابقت دارند.

در اشکال ۴ تا ۶، مقدار تنش کل (نقطه‌ی آغاز منحنی) برابر با مجموع ۴ تنش ثابت مدل ماکسول است و در هر یک از ۳ زمان، از تیمار A تا تیمار E کاهش می‌یابد که این به دلیل کاهش سفتی و استحکام بر اثر کاهش غلظت نمک است. همچنین تیمارهای A و B پس از گذشت ۱۸۰ ثانیه به حالت پایداری کامل نمی‌رسند و هنوز مقداری شیب دارند که این به دلیل غلبه‌ی رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز در این تیمارهاست، اما تیمار C و مخصوصاً تیمارهای D و E پس از ۱۸۰ ثانیه تقریباً به پایداری و تعادل می‌رسند که این نشان از غلبه‌ی خاصیت ویسکوز بر الاستیک در این تیمارهاست



شکل ۷- نمونه‌ای از برازش منحنی تنش‌آسایی توسط مدل ۴ المانه ماکسول برای تیمار B در روز سی‌ام

#### آزمون برش کاتر

با انجام این آزمون، پارامترهای نیروی لازم برای برش نمونه و مدول برشی به دست آمدند. طبق نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات اصلی نوع و زمان برای هر کدام از این پارامترها در سطح آماری ۱٪

معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی نوع، بر روی پارامترهای نیروی برشی و مدول برشی در جدول ۲ و نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زمان، بر روی پارامترهای مذکور در جدول ۳ ارائه شده‌اند.

جدول ۲- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی نوع، بر روی پارامترهای نیروی برشی و مدول برشی

تیمارهای مختلف پنیر	نیروی برشی (N)	مدول برشی (Kpa)
A) 3% NaCl	۲۷۰۳۲ <sup>A</sup>	۵۰/۵۷۲۸ <sup>A</sup>
B) 2% NaCl + 1% KCl	۲۵۸۵۶ <sup>A</sup>	۵۱/۱۵۴۳ <sup>A</sup>
C) 1.25% NaCl + 1.25% KCl	۱۷۷۶۷ <sup>B</sup>	۴۷/۸۰۴۳ <sup>AB</sup>
D) 1.5% NaCl	۱/۴۳۶۶ <sup>B</sup>	۴۴/۲۸۶۶ <sup>B</sup>
E) 1.5% KCl + 0.25% NaCl	۱/۳۴۶۴ <sup>B</sup>	۳۸/۲۹۴۸ <sup>C</sup>

حروف مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثر اصلی زمان، بر روی پارامترهای نیروی برشی و مدول برشی

زمان‌های رسیدگی	نیروی برشی (N)	مدول برشی (Kpa)
روز سوم	۱/۸۲۱۴ <sup>B</sup>	۴۳/۷۶۱۴ <sup>B</sup>
روز سی‌ام	۲/۳۳۲۵ <sup>A</sup>	۵۲/۰۹۳۸ <sup>A</sup>
روز شصتم	۱/۹۳۵۲ <sup>B</sup>	۴۶/۴۱۲۵ <sup>B</sup>

حروف مشابه به معنی عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشد.

در مورد اثر اصلی نوع، نیروی برشی در تیمار A دارای بیش‌ترین مقدار (۲/۷۰۳ N) و در تیمار E دارای کمترین مقدار (۱/۳۴۶ N) می‌باشد. همچنین مدول برشی در تیمار A دارای بیش‌ترین مقدار (Kpa) در مورد اثر اصلی زمان، نیروی برشی در روز سی‌ام دارای بیش‌ترین مقدار (۲/۳۳۲۵ N) و در روز سوم دارای کمترین مقدار (۱/۸۲۱۴ N) می‌باشد. همچنین مدول برشی در روز سی‌ام دارای بیش‌ترین مقدار (۵۲/۰۹۳۸ Kpa) و در روز سوم دارای کمترین مقدار (۴۳/۷۶۱۴ Kpa) می‌باشد. روزهای سوم و شصتم در هیچ‌کدام از پارامترها با یکدیگر اختلاف معناداری در سطح آماری ۱٪ ندارند.

چنین اظهار کردند: در اوایل دوره‌ی رسیدن، نسبت فعالیت منعقدکنندگی به فعالیت پروتئولیزی بیشتر بوده و لذا منجر به افزایش ماده‌ی خشک می‌گردد، زیرا هر چه قدرت منعقد کنندگی بیشتر باشد، آب‌دهی و سینرسیس<sup>۲</sup> (آب‌اندازی) بیشتر بوده و ماده‌ی خشک پنیر افزایش یافته و دلمه سفت‌تر می‌شود. با گذشت مدت زمان رسیدن، افزایش فعالیت پروتئولیزی مایه‌پنیر نسبت به فعالیت منعقدکنندگی آن، باعث تخریب شبکه‌ی پروتئینی در اثر پروتئولیز بیش از حد و در نتیجه افزایش میزان آب‌گیری، ایجاد ترکیبات محلول و مولکول‌های کوچک و انتشار این مواد از داخل پنیر به درون آب نمک و در نتیجه کاهش مواد معدنی می‌شود. بنابراین مقدار ماده‌ی خشک شروع به کاهش می‌کند و دلمه سست‌تر و شکننده‌تر می‌گردد.

مدول برشی جزء خواص ذاتی محصول است و بیان‌گر مقاومت و نحوه‌ی واکنش ماده در مقابل اعمال برشی می‌باشد. همان‌طور که در جداول ۲ و ۳ مشخص است، روند تغییرات مدول برشی از نظر تأثیرات نوع و زمان، مشابه با تغییرات نیروی برشی است. مدول برشی برای نشان دادن رابطه‌ی بین تنش و کرنش در مواد غذایی جامد و نیمه‌جامد کاربرد زیادی دارد و همانند تنش در نقطه‌ی گسیختگی، هرچه مدول برشی بیشتر باشد نشان دهنده‌ی سفت بودن بافت ماده و مقاومت آن در مقابل نیروهای برشی است (محسنین، ۱۹۸۶).

#### آزمون رنگ سنجی

طبق نتایج تجزیه واریانس پارامترهای  $L^*$  و  $\Delta E$ ، اثر متقابل نوع و زمان و اثرات اصلی نوع و زمان برای هیچ‌کدام از این پارامترها معنی‌دار نبود. عدم معناداری نتایج ما با نتایج پولسون و همکاران (۱۹۹۸) مطابقت

در مورد اثر اصلی نوع، نیروی برشی در تیمار A دارای بیش‌ترین مقدار (۲/۷۰۳ N) و در تیمار E دارای کمترین مقدار (۱/۳۴۶ N) می‌باشد. همچنین مدول برشی در تیمار A دارای بیش‌ترین مقدار (Kpa) در مورد اثر اصلی زمان، نیروی برشی در روز سی‌ام دارای بیش‌ترین مقدار (۲/۳۳۲۵ N) و در روز سوم دارای کمترین مقدار (۱/۸۲۱۴ N) می‌باشد. همچنین مدول برشی در روز سی‌ام دارای بیش‌ترین مقدار (۵۲/۰۹۳۸ Kpa) و در روز سوم دارای کمترین مقدار (۴۳/۷۶۱۴ Kpa) می‌باشد. روزهای سوم و شصتم در هیچ‌کدام از پارامترها با یکدیگر اختلاف معناداری در سطح آماری ۱٪ ندارند.

ماکزیمم نیروی لازم برای غلبه بر مقاومت برشی نمونه‌ها در هر ۳ زمان، از تیمار A تا تیمار E با کاهش مقدار مجموع نمک‌های NaCl و KCl، کاهش می‌یابد. نتیجه تحقیق ما با نتیجه مطالعه‌ی (کایا، ۲۰۰۲) مطابقت دارد. او نشان داد میزان سفتی و استحکام برشی بافت در پنیر گازانتپ<sup>۱</sup> رسانده شده در آب نمک ۲۰ و ۲۵ درصد، بیش‌تر از پنیرهای حاوی غلظت‌های پایین نمک می‌باشد؛ به طوری که غلظت‌های پایین‌تر از ۱۵ درصد باعث ایجاد بافتی نرم در پنیر می‌گردد که بر اثر کمترین نیروی برشی به شکلی نامطلوب از هم می‌پاشد. طبق نتایج به دست آمده، افزایش استحکام در نتیجه‌ی نمک‌زنی، به دلیل کاهش رطوبت و افزایش میزان نمک در ماده‌ی خشک می‌باشد. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهند که رطوبت و چربی حاضر در ماتریکس پروتئینی بر اثر کمبود کریستال‌های نمک باعث نرمی پنیر می‌شوند (کایا، ۲۰۰۲).

در مورد تأثیر زمان رسیدگی با توجه به جدول ۳ مشخص است که مقادیر مربوط به هر دو پارامتر برشی، از روز سوم تا سی‌ام افزایش و از روز سی‌ام تا شصتم کاهش می‌یابند. جورگالا و همکاران (۲۰۰۵)، در مطالعه‌ای که بر روی پنیر فتا داشتند دلیل این مسئله را

<sup>2</sup> Syneresis

<sup>1</sup> Gaziantep

### نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهند که تیمار B که حاوی ۲ درصد کلرید سدیم و ۱ درصد کلرید پتاسیم بود، فقط در یک پارامتر (اولین تنش ثابت، مربوط به آزمون تنش‌آسایی) اختلاف معناداری با تیمار A داشت و لذا می‌توان تیمار B را بدون این‌که تأثیر منفی بر خواص مکانیکی و رئولوژیکی پنیر داشته باشد، جایگزین تیمار شاهد کرد. بنابراین با توجه به مضرات مصرف کلرید سدیم بر سلامت انسان و در راستای کاهش این ماده در مواد غذایی، می‌توان میزان کلرید سدیم موجود در پنیر سفید ایرانی را بدون اثر منفی بر ویژگی‌های رئولوژیکی و بافتی و رنگی تا یک سوم (نسبت به نمونه شاهد) کاهش داد. از آنجا که پنیر یکی از مواد غذایی پر مصرف در کشور ما است، با استفاده از کلرید پتاسیم می‌توان هم مضرات نمک متداول مورد استفاده را کاهش داد و هم به دلیل جایگزینی یون سدیم با یون پتاسیم به تعدیل فشار خون مصرف‌کنندگان کمک کرد.

دارد. آن‌ها در پژوهشی تأثیر غلظت نمک بر پنیر موزارلای کم‌چرب را بررسی کردند و اعلام کردند که نمونه‌هایی که چربی یکسانی داشتند، با تغییر نمک اختلاف معنی‌داری در رنگ آن‌ها پدید نیامد؛ ولی با تغییر درصد چربی این اختلاف معنی‌دار شد، به طوری‌که نمونه‌های پرچرب‌تر سفیدی کمتر و زردی بیشتری داشتند. به این دلیل که در مواد جامد نظیر پنیر، نور از لایه‌های سطحی عبور کرده و بخش اعظم آن توسط گلبول‌های چرب شیر و نیز حفره‌های آب پنیری داخل بافت جذب می‌شود، لذا با افزایش چربی تعداد گلبول‌های چربی و به دنبال آن تعداد حفره‌های آب پنیری افزایش می‌یابد و نور بیشتری در داخل پنیر به دام می‌افتد و جذب می‌شود و سبب می‌شود مقدار نور در سطح پنیر کمتر و در نتیجه مقدار سفیدی کمتر و زردی بیشتر شود. ولی وقتی چربی ثابت و نمک متغیر باشد، تعداد این گلبول‌ها یکسان است.

شیهان و همکاران (۲۰۰۵) نیز به چنین نتایجی رسیدند. آن‌ها با مطالعه‌ای که روی تأثیر کاهش چربی بر خواص پنیر موزارلا داشتند، عنوان کردند که با کاهش چربی، مقادیر  $L^*$  کاهش می‌یابد و در مقابل رنگ پنیر زردتر می‌شود. قنبری شندی و همکاران (۱۳۹۰) نیز در مطالعه‌ای که روی تأثیر غلظت‌های مختلف صمغ زانتان به عنوان جانشین چربی بر روی برخی خواص بافتی پنیر سفید ایرانی داشتند، بیان کردند که نمونه‌ی پرچرب در قیاس با نمونه‌ی کم‌چرب دارای زردی بیشتری بود و سفیدی کمتری داشت و این اختلاف در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار بود. ضمن اینکه با افزایش غلظت صمغ زانتان، مقدار  $L^*$  بالا رفته و مقدار  $a^*$  کاهش پیدا می‌کند. یعنی سفیدی پنیر افزایش و شاخص قرمزی کاهش می‌یابد.

## منابع مورد استفاده

- قنبری شندی، خسروشاهی اصل، مرتضوی ع، توکلی پور ح، ۱۳۹۰، اثر صمغ زانتان بر ویژگی‌های بافتی و رئولوژیک پنیر سفید ایرانی کم چرب، مجله علوم و صنایع غذایی، ۳۳، ۴۸-۳۵.
- موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۷۱، پنیر رسیده در آب نمک - ویژگیها و روشهای آزمون، شماره استاندارد: ۱-۲۳۴۴، کرج، ایران.
- Akin N, Aydemir S, Kocak C and Yildiz MA, 2003. Changes of free fatty acid contents and rheological properties of white pickled cheese during ripening. *Food Chemistry* 80: 77-83.
- Aly ME, 1995. An attempt for producing low-sodium Feta-type cheese. *Journal of Food Chemistry* 52: 295-299.
- Fregly MJ, 1981. Sodium and potassium. *Annual Review of Nutrition* 1: 69-63.
- Guillermo A, Susana E and Amelia C, 2006. Secondary proteolysis of Fynbo cheese salted with NaCl/KCl brine and ripened at various temperatures. *Journal of Food Chemistry* 96: 297-303.
- Haddy FJ, 1991. Roles of sodium, potassium, calcium, natriuretic factors in hypertension. *Journal of Food Chemistry* 18: 179-183.
- Horne DS, 1998. Casein interaction: casting light on the black boxes, the structure in dairy products. *International Dairy Journal* 8: 171-177.
- Karami M, Ehsani R, Ebrahimzadeh SM, Rezaei K and Safari M, 2009. Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food Chemistry* 112: 539-544.
- Kaya S, 2002. Effect of salt on hardness and whiteness of Gaziantep cheese during short-term brining. *Journal of Food Engineering* 52: 155-159.
- Meneely RG, 1973. Toxic effects of dietary sodium chloride and the protective effect of potassium. In: Committee on Food Protection. Toxicants occurring naturally in Foods, 2<sup>nd</sup> ed. Food and Nutrition Board-National Academy of Sciences, Washington, D.C. 26-42.
- Mohsenin NN, 1986. Physical properties of plant and animal materials. 2nd rev. Gordon and Breach. Science publisher. Inc, USA. 874p.
- Mutlag MA and Wibey RA, 2006. Effect of Chymosin reduction and salt substitution on the properties of white salted cheese. *International Dairy Journal* 16: 903-909.
- Olson NF, 1982. Effects of sodium reduction on natural cheeses. *Journal of Dairy Field* 165: 48-78.
- Paulson BM, McMahon DJ and Oberg CJ, 1998. Influence of sodium chloride on appearance, functionality, and protein arrangement in nonfat Mozzarella cheese. *Journal of Dairy Science* 81: 2053-2064.
- Pollard A, Sherkat F, Seuret MG and Halmos AL, 2003. Textural changes of natural Cheddar cheese during the maturation process. *Journal of Food Science* 68: 2011-2016.
- Rao DV and Renner E, 1989. Studies on the application of ultrafiltration for the manufacture of Cheddar cheese, 3 ripening characteristics. *Milk Wissenschaft* 44: 351-354.
- Reddy KA and Marth EH, 1991. Reducing the sodium content of foods. *Journal of Food Protection* 54: 138-150.
- Reddy KA and Marth EH, 1993. Lipolysis in Cheddar cheese made with sodium chloride, potassium chloride or mixtures of sodium and potassium chloride. *Milk Wissenschaft* 48: 488-493.
- Sheehan JR, Huppertz T, Hayes MG, Kelly AL, Beresford TP and Guinee TP, 2005. High pressure treatment of reduced-fat Mozzarella cheese: Effects on functional and rheological properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6: 73-91.

## The effect of different levels of NaCl and KCl on the mechanical and rheological properties of Iranian white cheese

H Hydari Moghtader<sup>1</sup> and E Ahmadi<sup>2\*</sup>

Received: November 21, 2014

Accepted: December 05, 2015

<sup>1</sup>MSc Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

<sup>2</sup>Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\*Corresponding author: E mail: eahmadi@basu.ac.ir

### Abstract

UF-Iranian white cheese is a fresh cheese that is consumed shortly after production. Salt has a positive effect on dewatering of coagulum, improvement of taste and strength or texture of this kind of cheese and with the loss of free water and as a result, reduction of water activity, increases the shelf-life of cheese. But due to the sodium chloride salt intake on human health harms such as increased blood pressure (Hypertension), increased risk of heart disease, vascular and renal and osteoporosis, cheeses produced using a low-salt or salt substitute can be considered as appropriate. In this study, ability to reduce sodium levels in Iranian white cheese during dry salting, in terms of the mechanical and rheological properties were investigated. Five treatments including mixtures of different proportions of NaCl and KCl with ratios treatment [A or control (3% NaCl), treatment B (2% NaCl + 1% KCl), treatment C (1.25% NaCl + 1.25% KCl), treatment D (1.5% NaCl) and treatment E (1.5% KCl + 0.25% NaCl)] were prepared in Hamedan Pegah Dairy Factory and was investigated over 60 days of ripening by stress relaxation, cutter and colorimetry tests. The results showed that overall stiffness, strength, hardness and elasticity of the sample, increased from the 3<sup>th</sup> to 30<sup>th</sup> day and decreased from the 30<sup>th</sup> day until the 60<sup>th</sup> day. Also with reduction of the amount of total salts NaCl and KCl in each treatment, decreased their strength and coherences and samples were softer and weaker and disintegrated, so that treatment A and treatment E, respectively, had the highest and lowest values of stiffness and strength. In total, according to the results of all tests and parameters, treatment B was the nearest and most similar treatment to treatment A (control), that only in one parameter had a significant difference with treatment A, and therefore without having a negative effect on the mechanical and rheological properties of cheese, control treatment can be replaced by treatment B.

**Key words:** Cheese, Rheology, Stiffness, KCl, NaCl