

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی پنیر سفید آب نمکی (پنیر گلپایگان) طی دوره رسیدن

غزاله فراهانی^a، حمید عزت پناه^{b*}، سلیمان عباسی^c

^a دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران
^b دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده علوم و مهندسی صنایع غذایی، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران

^c دانشیار دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و صنایع غذایی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۹/۲۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۳/۲۵

۵

چکیده

مقدمه: پنیر ساختار پیچیده‌ای دارد که سبب ایجاد تفاوت‌ها حتی بین واریته‌های یکسان پنیر می‌شود، این تفاوت‌ها به ترکیبات تشکیل دهنده پنیر و تغییرات آن‌ها در طول دوره رسیدن وابسته است. در این مطالعه، به منظور معرفی پنیر سفید آب نمکی، روش تهیه، برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیک و بافتی آن در طول شش ماه دوره رسیدن، ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها: تأثیر زمان رسیدن بر خصوصیات ذکر شده پنیر سفید آب نمکی گلپایگان (۳۶ نمونه) با استفاده از روش‌های استاندارد در پایان هرماه در طول شش ماه دوره رسیدن بررسی شد. خصوصیات رئولوژیک و بافتی نیز با استفاده از دستگاه رتومتر (آزمون نوسانی) و بافت سنج (تراکم تک محوری) ارزیابی گردید.

یافته‌ها: طی دوره رسیدن پنیر سفید آب نمکی، به طور معنی‌داری (در سطح ۰/۵) مقادیر pH، ماده خشک، پروتئین و ازت کل در ماده خشک کاهش یافت ($p < 0/05$) در حالی که مقادیر اسیدیته قابل تیتراسیون، چربی در ماده خشک، ازت محلول در آب در ازت کل و ازت غیر پروتئینی در ازت کل افزایش یافت ($p < 0/05$). بر اساس آزمون‌های بافتی و رئولوژیک در طول دوره رسیدن، مقادیر ضریب ذخیره (G')، ضریب افت (G'')، تنش در نقطه شکست (σ_f) و سفتی نمونه‌های پنیر افزایش یافتند ($p < 0/05$) در حالی که مقادیر تانژانت افت ($\tan\delta$) کاهش ($p < 0/05$) و کرنش در نقطه شکست (ϵ_f) تقریباً ثابت بود ($p > 0/05$).

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که دوره رسیدن پنیر سفید آب نمکی بر تمامی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، شیمیایی، رئولوژیک و بافتی (به استثنای کرنش در نقطه شکست) مورد ارزیابی به طور معنی‌داری تأثیر داشته است.

واژه‌های کلیدی: بافت، پنیر سفید آب نمکی گلپایگان، ترکیب شیمیایی، رئولوژی، ساختار پنیر

مقدمه

امروزه مصرف شیر و فرآورده‌های آن به عنوان یکی از شاخص‌های توسعه جوامع انسانی عنوان می‌شود. در بین فرآورده‌های شیری، پنیر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (علیزاده، ۱۳۸۴). بر اساس آمار و اطلاعات FAO در سال ۲۰۰۵ کشور ایران با ۲۱۶/۷ هزار تن، ۱/۱۷ درصد از کل تولید جهانی را دارا بوده است. پنیر سفید آب نمکی یکی از مهمترین اقلام عادات غذایی در ایران است و مصرف سرانه آن در حدود ۵/۴ کیلوگرم در سال می‌باشد (Alizadeh et al., 2006). پنیر سفید آب نمکی، پنیری با ساختار متراکم است (Madadlou et al., 2005) که از شیر گاو، گوسفند و یا مخلوطی از آن‌ها تهیه می‌گردد و خصوصیات اصلی طعم آن ترشی و شوری می‌باشد (Erdem, 2005). رسیدن پنیر فرآیندی پیچیده است که شامل بسیاری از تغییرات فیزیکوشیمیایی از جمله تغییر pH، شکست تدریجی پیش رونده پروتئین‌ها به پلی پپتیدهای کوچک‌تر و تجمع تدریجی اسیدهای آمینه می‌باشد (Fox et al., 1993).

پنیر درحالی که یک ماده غذایی جامد محسوب می‌شود، ماهیتی ویسکوالاستیک دارد به عبارتی، هم رفتار جامد (الاستیک) و هم رفتار مایع (ویسکوز) مانند را از خود نشان می‌دهد (Konstance & Holsinger, 1992) و این ویژگی، امکان انجام آزمون‌های مکانیکی و رئولوژیک را جهت مطالعه بافت پنیر فراهم می‌سازد (Pinho et al., 2004). به طور کلی، آزمون‌های بر پایه تغییر شکل کوچک (آزمون‌های نوسانی، تنش - استراحت^۱ و لغزش^۲)، مطالعه ساختار ماده را تا سطح مولکولی و آزمون‌های بر پایه تغییر شکل‌های گسترده و مخرب (آزمون‌های تنش-کرنش و آنالیز پروفیل بافت^۳) مطالعه خصوصیات شکست ماده را فراهم می‌سازند (Messens et al., 2000). تمامی ترکیبات مهم پنیر از جمله پروتئین، چربی و آب (آب نمک) رفتار رئولوژیک و در نتیجه خصوصیات بافتی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Prentice, 1987). فاکتورهای دیگری مانند نوع شیر پنی‌سازی (Tsigkros et al., 2003)، فرآیند تولید و شرایط نگهداری پنیر (Juan et al., 2007)، مایه میکروبی آغازگر (Pappas et al.,

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی پنیر سفید آب نمکی

(1996)، pH پنیر (Watkinson et al., 2001) و غلظت نمک (Prasad & Alvarez, 1999) نیز ممکن است بافت پنیر را تحت تأثیر قرار دهند.

در منابع علمی خارجی مطالعاتی در زمینه برخی ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی و رئولوژیک انواعی از پنیرها نظیر پنیرهای چدار و چشایر (Guinee et al., 2000; Lucey et al., 2005; Upreti and Metzger, 2007; Brickley et al., 2006)، پنیر دانبو^۴ (Madsen & Ardö, 2001)، پنیر موزارلا (Sheehan & Guinee, 2004)، پنیر هالومی^۵ (Milci et al., 2006; Raphaelides et al., 2005)، پنیر کاشار^۶ (Tarakci & Kucukoner, 2006)، پنیر گوسفندی نیمه سخت عمل آوری شده تحت فشار بالا (Juan et al., 2007) و پنیر تلم^۷ (Pappa et al., 2007) صورت گرفته است. همچنین مطالعاتی در مورد برخی پنیرهای سنتی و سفید آب نمکی در ایران انجام شده است که به برخی از آن‌ها اشاره خواهد شد. در پژوهشی در سال ۲۰۰۷ تأثیر غلظت نمک بر ترکیب شیمیایی و بافت پنیر سفید ایرانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله از این آزمون‌ها مشخص نمود که غلظت آب نمک اثر مهمی بر ترکیب شیمیایی، پیشرفت پروتئولیز، ترتیب ساختاری ترکیبات و رفتار رئولوژیک پنیر سفید ایرانی دارد (Madadlou et al., 2007). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۸، کیفیت میکروبی و شیمیایی پنیر سنتی لیقوان (پنیر سفید آب نمکی) تولید شده در تبریز (ایران) بررسی شد. هدف از این مطالعه تعیین شرایط بهداشتی تولید و خصوصیات شیمیایی پنیر لیقوان بود. بر اساس نتایج بدست آمده، پنیر لیقوان یکی از پنیرهای سفید سنتی با ارزش تغذیه‌ای بالا و عطر و طعم خاص می‌باشد (Mirzaei et al., 2008). در سال ۲۰۰۹، Karami تغییرات خصوصیات رئولوژیک پنیر فتای UF ایرانی را طی دوره رسیدن بررسی نمود و گزارش کرد که با رسیدن پنیر، رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز غالب و بافت پنیر متراکم‌تر می‌شود. علاوه بر این، دوره رسیدن پنیر بر مقادیر pH، ماده خشک، چربی، نمک و نیتروژن کل در ماده خشک تأثیری نداشت اما مقدار نیتروژن محلول در آب به طور مشخصی افزایش یافت (Karami et al.,

¹ Stress-relaxation test

² Creep test

³ Texture Profile Analysis

⁴ Danbo

⁵ Halloumi

⁶ Kashar

⁷ Teleme

این مطالعه مراحل تهیه و برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیک و بافتی پنیرسفید آب نمکی گلپایگان در طول شش ماه دوره رسیدن مورد بررسی قرار گرفت. همچنین ویژگی‌های شیر خام مورد استفاده در تولید این پنیر نیز ارزیابی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمون‌های مورد نظر بر روی نمونه‌های شیر، لخته (پنیر سه روزه پیش از آب نمک گذاری) و پنیرها در طول ۶ ماه دوره رسیدن از مواد شیمیایی با کیفیت آزمایشگاهی و تولید شده توسط شرکت مرک آلمان^۱ استفاده شد. تعیین ویژگی‌های شیر پنی‌سازی با استفاده از دستگاه میلکو اسکن^۲ ساخت شرکت قوس الکتریک^۳ انجام شد. جهت سنجش pH از pH متر الکتریکی ساخت شرکت متروم^۴ سوئیس و پروتئین از دستگاه تقطیر و تیتراسیون کلدال ساخت شرکت تکاتور^۵ سوئیس استفاده شد. میزان خاکستر نمونه‌ها با استفاده از کوره الکتریکی و ماده خشک کل با استفاده از آن، تعیین شد. همچنین جهت انجام آزمون‌های رئولوژیک از دستگاه‌های بافت‌سنج^۶ ساخت شرکت هانس فیلد^۷ انگلستان (مدل HOUNSFIELD-H5KS) و رئومتر^۸ ساخت شرکت آنتون پار^۹ اتریش (مدل Anton Paar Physica MCR 300, LR 101) استفاده شد.

- روش نمونه‌گیری و مراحل تولید پنیرسفید آب‌نمکی
از شیر خام، لخته تازه تولید شده از شیر پاستوریزه گاو و لخته پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در هر ماه از دوره رسیدن ۶ ماهه (از اواخر اسفند تا اواخر شهریور) بر اساس استاندارد ملی شماره ۳۲۶ و مطابق با روش استاندارد ۱۹۹۷ ISO ۷۰۷؛ بصورت کاملاً تصادفی نمونه‌گیری شد (Anon, 2002). تعداد نمونه‌ها در هر دوره زمانی ۶ نمونه و هر نمونه در حدود ۱ kg بوده است و این مراحل ۶ بار تکرار شد.

پنیر سفید آب نمکی گلپایگان از شیرگاو تولید می‌شود. شیر خام نخست توسط صافی‌های فیزیکی و پارچه‌ای صاف شده و سپس از نظر درصد چربی در حدود ۳-۳/۵٪

در پژوهشی در سال ۱۳۵۳، شناخت استاندارد و مشخصات پنیرهای طولش و اسالم و اصلاح آن مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، موقعیت جغرافیایی، روش سنتی تهیه پنیر خیکی و آزمایش‌های شیمیایی و میکروبی ارزیابی شد (کشکولی، ۱۳۵۳). در پژوهشی در سال ۱۳۷۶، برخی ویژگی‌های پنیرهای محلی تبریز با پنیرهای خارجی مقایسه شد (خازن، ۱۳۷۶). در مطالعه‌ای در سال ۱۳۸۴، اثر دماهای مختلف سالم سازی شیر بر راندمان، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی پنیر سفید ایرانی بررسی شد. نتایج پس از تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که بهترین دمای پاستوریزاسیون شیر جهت حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر سفید ایرانی با حداکثر راندمان و حداقل افت وزنی، 80°C است (مرتضوی و همکاران، ۱۳۸۴). در پژوهشی در سال ۱۳۸۸، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ترکیبات مولد عطر و طعم پنیر ليقوان و پنیر سفید آب نمکی گلپایگان طی دوره رسیدن مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که در طی دوره یک ساله نگهداری پنیر صنعتی گلپایگان، میزان pH در محدوده $4/44 - 4/12$ ، اسیدیته در محدوده ۹۲-۶۲ درجه درنیک، درصد چربی در ماده خشک از ۴۲/۴۹ تا ۴۶/۳۵، درصد نمک از ۳/۸۰ تا ۶/۲۴، درصد ماده خشک از ۳۸/۱۸ تا ۴۳/۳۳، درصد پروتئین از ۱۱/۷۷ تا ۱۵/۱۱ و درصد مواد ازته غیر پروتئینی (NPN) در محدوده ۰/۲۴۸ - ۰/۰۶۵ متغیر بوده است. در پنیر ليقوان میزان pH از ۵/۶۱ تا ۴/۴۶، اسیدیته از ۱۰۳ تا ۱۱۶ درجه درنیک، درصد چربی در ماده خشک از ۴۲/۹۱ تا ۴۶/۱۱، درصد نمک از ۴/۰۷ تا ۵/۷۵، درصد ماده خشک از ۳۹/۳۵ تا ۴۲/۵۶، درصد پروتئین در محدوده ۱۲/۶۷ و درصد NPN ضمن افزایش مستمر، در محدوده ۰/۱۱۰ - ۰/۳۷۲ متغیر بوده است. همچنین، میزان کل اسیدهای آمینه در پنیرهای رسیده شش ماهه گلپایگان و ليقوان به ترتیب ۳۷/۶۲ و ۲۱/۲۴ درصد مقدار آن در لخته بوده است (مه‌دوی عادل و همکاران، ۱۳۸۸).

مرور پژوهش‌های پیش نشان می‌دهد که در زمینه تحولات و ویژگی‌های رئولوژیک و بافتی پنیر مذکور طی دوره رسیدن تحقیقاتی صورت نگرفته است. بنابراین، در

¹ Merck ² Milkoscan ³ Foss Electric
⁷ Hounsfield ⁸ Rheometer ⁹ Anton Paar

⁴ Methrom ⁵ Tecator ⁶ Texture Analyzer

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی پنیر سفید آب نمکی

همچنین، نمونه‌های پنیر سفید آب نمکی در حلب‌های یک کیلوگرمی تحت شرایط دمایی $1 \pm 9^\circ\text{C}$ توسط ماشین‌های سردخانه دار به تهران و سپس مستقیماً به سردخانه آزمایشگاه شیر انتقال یافت و در سردخانه در دمای معمول نگهداری این نوع پنیرها که در حدود $1 \pm 7^\circ\text{C}$ می‌باشد طی شش ماه دوره رسیدن، نگهداری گردید.

- روش انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی

تعیین مقادیر ماده خشک کل، پروتئین، چربی و لاکتوز شیر پنی‌سازی با استفاده از دستگاه میکرواسکن انجام شد. همچنین، مقدار خاکستر شیر بر اساس روش وزنی (AOAC 945.46; 1945) تعیین گردید.

پیش از انجام آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی مورد نظر روی نمونه‌های پنیر، ابتدا پنیر در مقادیر معینی رنده، و در ظروف پلاستیکی غیر قابل نفوذ نسبت به هوا (دارای پوشش لاستیکی) ریخته شد و در سردخانه در دمای $1 \pm 7^\circ\text{C}$ نگهداری گردید.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های پنیر با استفاده از روش‌های زیر تعیین گردید:

جهت سنجش pH از pH متر الکتریکی (Ardö and Polychroniadoul, 1999)، اسیدیته از روش تیتراسیون و بر حسب درجه دورنیک^۲ (Robinson and Wilbey, 1998)، پروتئین از روش کلدال (AOAC 920.123; 1990)، خاکستر از کوره الکتریکی (AOAC 935.42; 2000)، ماده خشک کل از آون (IDF 5B: 1986)، نمک از روش ولهارد^۳ (AOAC 935.43; 2000) و چربی از روش ژربر^۴ (AOAC 2000.18; 2004) استفاده شد. همچنین به منظور ارزیابی میزان رسیدن نمونه‌های پنیر مورد نظر، دو اندیس رسیدن تحت عنوان ازت محلول در آب (Raphaelides et al., 2006) و ازت غیر پروتئینی (Alizadeh et al., 2006) اندازه‌گیری شد.

- روش انجام آزمایش‌های رئولوژیکی

- آزمون نوسانی دینامیک^۵

آزمون نوسانی پویا با دامنه کوتاه^۶ با استفاده از رئومتر یونیورسال دینامیک (Anton Paar Physica, MCR)

استاندارد گردید. اسیدیته و نقطه انجماد شیر خام برای تهیه پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در حدود $16-15^\circ\text{D}$ (یا $0.27-0.28$ بر حسب درصد اسیدلاکتیک) و 53.5°C تنظیم شد. در ادامه شیر خام در دمای 72°C و به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه و تا دمای $36-35^\circ\text{C}$ سرد گردید. در مرحله بعد به شیر پاستوریزه شده کلرید کلسیم (CaCl_2) به میزان 0.2 درصد افزوده شد و سپس مایه کشت آغازگر^۱ (استارتر) که شامل باکتری‌های مزوفیل لاکتوکوکوس کرموریس و لاکتوکوکوس لاکتیس می‌باشد به مقدار $3-1\%$ به شیر تلقیح گردید. بعد از گذشت یک ساعت، مایه پنیر چارچی (با نام تجاری رنیلاز) به مقدار 1 گرم به ازای هر 100 لیتر شیر (مایه پنیر با قدرت انعقادی 100 لیتر شیر)، به شیر با دمای 35°C افزوده و در حدود 8 دقیقه برای انعقاد شیر و تشکیل لخته، به شیر استراحت داده شد. پس از انعقاد، لخته جهت سهولت خروج آب پنیر و تسریع آن برش خورده و هم زده شد. در ادامه، آب پنیر از لخته جدا شد و سپس لخته با استفاده از وزنه‌هایی به مدت 1 ساعت فشرده گردید (وزنه‌های 20 کیلو گرمی به ازای تولید 30 کیلو گرم لخته نهایی). در نهایت، لخته‌ها در مقادیر مورد نظر (400 گرمی) قالب‌گیری شدند. قالب‌های پنیر وارد تانک‌های آب نمک اشباع با غلظت 20% شده و به مدت $8-6$ ساعت در این تانک‌ها نگهداری شدند. پس از گذشت این مدت زمان، قالب‌های پنیر از تانک‌های آب نمک اشباع خارج و به مدت 1 روز در دمای محیط نگهداری شدند تا طی این مدت، لخته‌ها حداکثر آب خود را از دست بدهند.

در روز بعد پنیرها از قالب‌ها خارج شدند و به سالن بسته‌بندی انتقال یافتند. در سالن بسته‌بندی قالب‌های پنیر در وکیوم‌های $400-350$ گرمی قرار گرفته و سطح آن‌ها با آب نمک 10% پاستوریزه پوشانده شد.

در این مطالعه، نمونه‌های شیر پنی‌سازی از شیر خام تحت شرایط بهداشتی در بطری شیشه‌ای یک لیتری با درب لاستیکی غیر قابل نفوذ به رطوبت و هوا، تهیه گردید و بلافاصله به یخدان منتقل و در دمای $1 \pm 3^\circ\text{C}$ به سردخانه آزمایشگاه شیر، واقع در مؤسسه تحقیقات علوم دامی کشور انتقال یافت و آزمایشات فیزیکی و شیمیایی مورد نظر سریعاً انجام شد (AOAC 968; 2000).

¹ Starter Culture ² Dornic ³ Volhard

⁴ Gerber ⁵ Dynamic Rheological Measurements

⁶ Small Amplitude Oscillatory Testing

می‌باشد.

- آزمون تراکم تک محوری^۸

این آزمون که ساده‌ترین آزمون تجربی می‌باشد (Tunick, 2000)، با استفاده از ماشین آزمایش یونیورسال HTE مجهز به لودسل^۹ ۵۰۰ نیوتن (S-Series Bench U.T.M Model H5K-S, Hounsfield Test Equipment Ltd., UK) واقع در موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج روی نمونه‌های پنیر در طول ۶ ماه دوره رسیدن انجام شد. جهت انجام آزمایش، پیستونی مسطح و مدور با قطر ۵۰ mm به پیشانی پیش‌رونده دستگاه متصل شد. نمونه‌های پنیر به شکل مکعب‌هایی با ابعاد ۲ cm³ در دمای ۶°C بریده شد و به منظور حفظ رطوبت، نمونه‌ها به سرعت در داخل ظروف غیر قابل نفوذ به هوا و رطوبت قرار گرفتند. نمونه‌های پنیر از عمق ۲ میلی‌متری قالب‌های پنیر تهیه شد (Romeih et al., 2002). جهت هم دما شدن نمونه‌ها با دمای آزمایشگاه، نمونه‌های تهیه شده پیش از انجام آزمون حداقل به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند (Madadlou et al., 2007). نمونه‌ها به صورت تراکم تک محوری با سرعت ۳۰ mm/min تا ۷۰٪ از ارتفاع اولیه (۱۴mm) و در یک مرحله فشرده شدند (Pappa et al., 2007). این آزمون در سه تکرار در طول دوره رسیدن انجام شد. توسط این دستگاه، منحنی نیرو^{۱۰} - تغییر شکل^{۱۱} به دست آمد و بر اساس این نمودار پارامترهای تنش^{۱۲} و کرنش^{۱۳} در نقطه شکست (در نخستین پیک منحنی تراکم و به عنوان نقطه شکست) و سفتی^{۱۴} (در دومین پیک منحنی تراکم و به عنوان نیروی موردنیاز جهت متراکم نمودن پنیر تا ۷۰٪ ارتفاع اولیه‌اش) تعیین گردید (Sheehan & Guinee, 2004).

مقادیر تنش و کرنش واقعی بر اساس روابط زیر محاسبه شد (Calzada & Peleg, 1978):

رابطه ۱

$$\sigma(t) = F(t)/A(t)$$

(۱) در این رابطه:

واقع در پژوهشگاه پلیمر انجام شد. جهت انجام این آزمون، نمونه‌ها حداقل از عمق ۱ سانتی‌متری قالب‌های پنیر در دمای ۶°C بریده شدند، سپس به سرعت به ظروف کوچک غیر قابل نفوذ به هوا^۱ منتقل و به مدت حداقل ۴ ساعت در دمای اتاق (۲۳±۱°C) هم دما شدند. سیستم اندازه‌گیری متشکل از دو صفحه موازی با قطر ۲۵ میلی‌متر و فاصله صفحات^۲ (ضخامت نمونه) ۳ میلی‌متر در نظر گرفته شد (Madadlou et al., 2007). قطعه کوچکی از نمونه پنیر روی صفحه پایینی دستگاه رتومتر قرار داده شد، سپس صفحه بالایی به آرامی پایین آمد تا فاصله صفحات مورد نظر جهت انجام آزمون، حاصل آید و اضافات پنیر به دقت توسط لبه تیغی بریده و جدا شد (Karami et al., 2009). در ادامه به مدت ۱۰ دقیقه به نمونه‌های قرار گرفته در شرایط آزمون استراحت داده شد تا اثر تنش‌های وارده بر آن‌ها از بین برود (Juan et al., 2007). اندازه‌گیری‌های مورد نظر در دامنه ویسکوالاستیک خطی در کرنش ۰/۱ درصد و در دامنه فرکانسی ۱۰۰-۰/۱ هرتز انجام شد.

ناحیه ویسکوالاستیک خطی^۳ با انجام آزمون نوسان کرنش^۴ در فرکانس ۰/۱ هرتز در حالی که مقادیر درصدی کرنش از ۰/۰۱-۲۰۰ درصد در حال تغییر بود، تعیین گردید. سپس کرنش ناحیه خطی تعیین شد (۰/۱ درصد) و آزمون نوسانی در دامنه فرکانس ۱۰۰-۰/۱ هرتز انجام پذیرفت (Karami et al., 2009). میانگین مقادیر مورد نظر در سه تکرار در طول ۶ ماه دوره رسیدن گزارش شد.

در ضمن، پارامترهایی مانند ضریب الاستیک یا ذخیره^۵ (G')، ضریب ویسکوز یا افت^۶ (G'') (Steffe, 1996)، و تانژانت افت^۷ (tan δ) (Dimitreli and Thomareis, 2008) اندازه‌گیری و گزارش شدند که G': مقیاسی از انرژی ذخیره و بازیافت شده در هر سیکل / واحد: Pa (پاسکال)، G'': مقیاسی از انرژی از دست رفته و یا حذف شده در هر سیکل / واحد: Pa (پاسکال)، tan δ: فاکتوری حائز اهمیت و مفید در توضیح رفتار ویسکوالاستیک: (tan δ = G''/G') / واحد(-) (بدون بعد) (Ferry, 1980)

¹ Airtight Plastic Containers² Gap size⁵ Elastic or Storage Modulus³ Linear Viscoelastic⁴ Strain Sweep Test⁶ Viscous or Loss Modulus⁷ Loss Tangent⁸ Uniaxial Compression Test ⁹ Loadcell ¹⁰ Force¹¹ Deformation ¹² Stress¹³ Strain ¹⁴ Firmness

استفاده شد. همچنین، تمامی نمودارها با استفاده از میکروسافت آفیس اکسل ۲۰۰۷ رسم شده است. کلیه آزمایشات فیزیکی، شیمیایی، رئولوژیکی و بافتی مورد نظر در سه تکرار انجام شد و نتایج گزارش گردید.

یافته‌ها

– تأثیر مدت زمان رسیدن بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پنیر

جدول ۱ ترکیبات عمده و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی شیر خام مورد استفاده در تهیه پنیر سفید آب نمکی را نشان می‌دهد.

در جدول ۲ نتایج برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی نمونه‌های پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در طول ۶ ماه دوره رسیدن ارائه شده است. همچنین روند تغییرات مقادیر میانگین ترکیبات ازته پنیر در طول شش ماه دوره رسیدن به ترتیب به شرح جدول ۳ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند که دوره رسیدن (۶ ماهه) بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، شیمیایی و ترکیبات ازته تأثیر داشته و این تغییرات در سطح ۵٪ معنی دار بوده است ($p < 0.05$).

$\sigma(t)$: تنش واقعی در زمان (t) / واحد: N/m^2 (نیوتن بر متر مربع)، $F(t)$: نیرو در زمان (t) / واحد: N (نیوتن)، $A(t)$: سطح در زمان (t) / واحد: m^2 (متر مربع) رابطه ۲

$$\varepsilon = \ln(H_0)/(H_0 - \Delta H)$$

(۲) در این رابطه:

ε : کرنش واقعی / واحد: (-) (بدون بعد)، H_0 : ارتفاع اولیه / واحد: m (متر)، ΔH : تغییر در ارتفاع / واحد: m (متر).

– تجزیه و تحلیل آماری

طرح آزمون کاملاً تصادفی با ۷ تیمار شامل زمان‌های مختلف ماندگاری (روز اول، ماه اول، ماه دوم، ماه سوم، ماه چهارم، ماه پنجم و ماه ششم) هر کدام در ۳ تکرار می‌باشد. آنالیز واریانس (ANOVA) با استفاده از مدل خطی معمول (GLM) نرم‌افزار SPSS (SPSS Inc, Chicago, USA) انجام شد. در صورت وجود تفاوت معنی‌دار بین زمان‌های مختلف ماندگاری از آزمون مقایسه دانکن در سطح معنی‌داری ۵٪ برای مقایسه میانگین‌ها

جدول ۱- ترکیب شیمیایی شیر مورد استفاده در تهیه پنیر سفید آب نمکی (انحراف استاندارد \pm میانگین)

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	pH	اسیدیته قابل تیتراسیون	ماده خشک	چربی	پروتئین	لاکتوز	خاکستر
مقدار	۶/۷۵ \pm ۰/۰۱	۱۴/۸۳ \pm ۰/۵۲	۱۰/۹۲ \pm ۰/۱۷	۲/۸۲ \pm ۰/۰۳	۲/۶۸ \pm ۰/۰۵	۴/۸۲ \pm ۰/۰۹	۰/۶۰ \pm ۰/۰۱

– تمامی مقادیر بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم می‌باشند به استثنای اسیدیته (بر حسب درجه درنیک، °D) و pH.

جدول ۲- تأثیر دوره رسیدن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی پنیر سفید آب نمکی گلپایگان (انحراف استاندارد \pm میانگین)

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی	دوره رسیدن					
	روز اول ^(۱)	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم
pH	۵/۰۳ \pm ۰/۰۵ ^f	۴/۸۰ \pm ۰/۰۱ ^d	۴/۸۸ \pm ۰/۰۰۵ ^e	۴/۷۳ \pm ۰/۰۲ ^c	۴/۶۱ \pm ۰/۰۰۶ ^b	۴/۵۷ \pm ۰/۰۲۰ ^a
اسیدیته	۶۲/۷۵ \pm ۰/۹۵ ^a	۶۳/۵۰ \pm ۱/۰۰ ^a	۶۴/۰۰ \pm ۰/۸۱ ^a	۷۳/۵۰ \pm ۰/۵۸ ^b	۷۹/۰۰ \pm ۱/۱۵ ^c	۸۱/۷۵ \pm ۰/۵۰ ^d
ماده خشک	۴۲/۶۸ \pm ۰/۲۹ ^f	۳۹/۵۴ \pm ۰/۲۳ ^e	۳۶/۲۴ \pm ۰/۱۶ ^c	۳۵/۲۱ \pm ۰/۲۳ ^a	۳۵/۵۲ \pm ۰/۲۵ ^b	۳۶/۲۱ \pm ۰/۰۶ ^c
رطوبت	۵۷/۳۲ \pm ۰/۲۹ ^a	۶۰/۴۶ \pm ۰/۲۲ ^b	۶۳/۷۶ \pm ۰/۱۶ ^d	۶۴/۷۹ \pm ۰/۲۳ ^f	۶۴/۴۸ \pm ۰/۲۵ ^e	۶۳/۷۹ \pm ۰/۰۶ ^d
چربی	۱۸/۶۲ \pm ۰/۲۵ ^d	۱۶/۷۷ \pm ۰/۲۰ ^b	۱۶/۷۰ \pm ۰/۲۴ ^b	۱۵/۷۵ \pm ۰/۲۸ ^a	۱۶/۷۷ \pm ۰/۲۶ ^b	۱۷/۸۷ \pm ۰/۲۵ ^c
چربی در ماده خشک	۴۳/۶۳ \pm ۰/۴۵ ^b	۴۲/۴۲ \pm ۰/۲۹ ^a	۴۶/۰۸ \pm ۰/۴۸ ^d	۴۴/۷۲ \pm ۰/۵۴ ^c	۴۷/۲۲ \pm ۰/۴۴ ^e	۴۹/۳۶ \pm ۰/۶۳ ^f
خاکستر	۱/۶۰ \pm ۰/۰۴ ^a	۵/۰۶ \pm ۰/۱۱ ^c	۵/۱۴ \pm ۰/۰۸ ^{cd}	۵/۲۷ \pm ۰/۱۰ ^{de}	۵/۳۱ \pm ۰/۱۳ ^{de}	۵/۴۱ \pm ۰/۰۳ ^e
نمک	۰/۷۵ \pm ۰/۰۴ ^a	۴/۴۱ \pm ۰/۲۱ ^b	۴/۴۳ \pm ۰/۲۱ ^b	۴/۴۱ \pm ۰/۰۸ ^b	۴/۴۲ \pm ۰/۱۴ ^b	۴/۴۴ \pm ۰/۰۶ ^b

^(۱) پنیر یک روزه پیش از آب نمک‌گذاری (لخته)

– تمامی مقادیر بر حسب درصد می‌باشند به استثنای اسیدیته (بر حسب درجه درنیک، °D) و pH.

– در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$).

جدول ۳- تأثیر دوره رسیدن بر مقادیر ترکیبات از ته پنیر سفیدآب نمکی گلیپگان (انحراف استاندارد \pm میانگین)

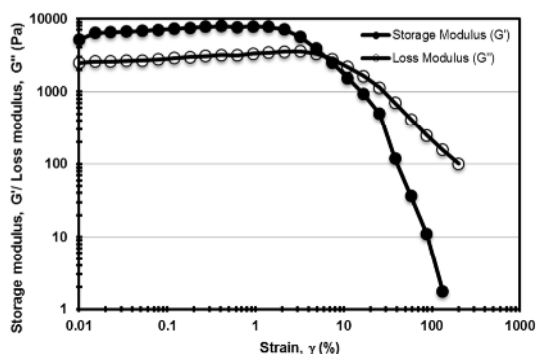
ویژگی‌های شیمیایی	دوره رسیدن					
	روز اول ^(۱)	ماه اول	ماه دوم	ماه سوم	ماه چهارم	ماه پنجم
پروتئین	۱۶/۴۱ \pm ۰/۱۷ ^c	۱۳/۹۴ \pm ۰/۳۶ ^d	۱۲/۵۳ \pm ۰/۲۰ ^a	۱۳/۴۳ \pm ۰/۱۱ ^c	۱۳/۳۴ \pm ۰/۱۶ ^c	۱۲/۹۳ \pm ۰/۰۹ ^b
ازت کل	۲/۵۷ \pm ۰/۰۲ ^c	۲/۱۸ \pm ۰/۰۶ ^d	۱/۹۶ \pm ۰/۰۳ ^a	۲/۱۰ \pm ۰/۰۲ ^c	۲/۰۹ \pm ۰/۰۲ ^c	۲/۰۲ \pm ۰/۰۲ ^b
ازت کل در ماده خشک	۶/۰۳ \pm ۰/۰۳ ^c	۵/۵۳ \pm ۰/۱۳ ^c	۵/۴۲ \pm ۰/۰۷ ^b	۵/۹۸ \pm ۰/۰۱ ^e	۵/۸۹ \pm ۰/۰۳ ^d	۵/۵۹ \pm ۰/۰۳ ^c
ازت محلول در آب	۰/۱۰۶ \pm ۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۱۰ \pm ۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۱۹ \pm ۰/۰۰۰ ^b	۰/۱۳۷ \pm ۰/۰۰۷ ^c	۰/۱۴۵ \pm ۰/۰۰۴ ^d	۰/۱۴۶ \pm ۰/۰۰۴ ^d
ازت محلول در آب / ازت کل	۴/۱۲ \pm ۰/۱۰ ^a	۵/۰۴ \pm ۰/۰۳ ^b	۶/۰۷ \pm ۰/۰۷ ^c	۶/۵۱ \pm ۰/۲۸ ^d	۶/۹۳ \pm ۰/۱۳ ^e	۷/۲۱ \pm ۰/۱۵ ^f
ازت غیر پروتئینی	۰/۰۲ \pm ۰/۰۰۱ ^a	۰/۰۴۸ \pm ۰/۰۰۰ ^b	۰/۰۴۴ \pm ۰/۰۰۳ ^b	۰/۰۶۶ \pm ۰/۰۰۰ ^c	۰/۰۶۶ \pm ۰/۰۰۱ ^c	۰/۰۸۲ \pm ۰/۰۰۶ ^d
ازت غیر پروتئینی / ازت کل	۰/۷۸ \pm ۰/۰۰۳ ^a	۲/۱۸ \pm ۰/۰۰۴ ^b	۲/۲۲ \pm ۰/۰۱۷ ^b	۳/۱۲ \pm ۰/۰۰۱ ^c	۳/۱۶ \pm ۰/۰۰۳ ^c	۴/۰۵ \pm ۰/۰۲۸ ^d

^(۱) پنیر یک روزه پیش از آب نمک‌گذاری (لخته)

- تمامی مقادیر بر حسب درصد می‌باشند.

- در هر ردیف حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$).

ویسکوالاستیک خطی یک نمونه از پنیرهای مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- ناحیه ویسکوالاستیک خطی نمونه‌های پنیر سفید آب نمکی گلیپگان در دمای ۲۵°C

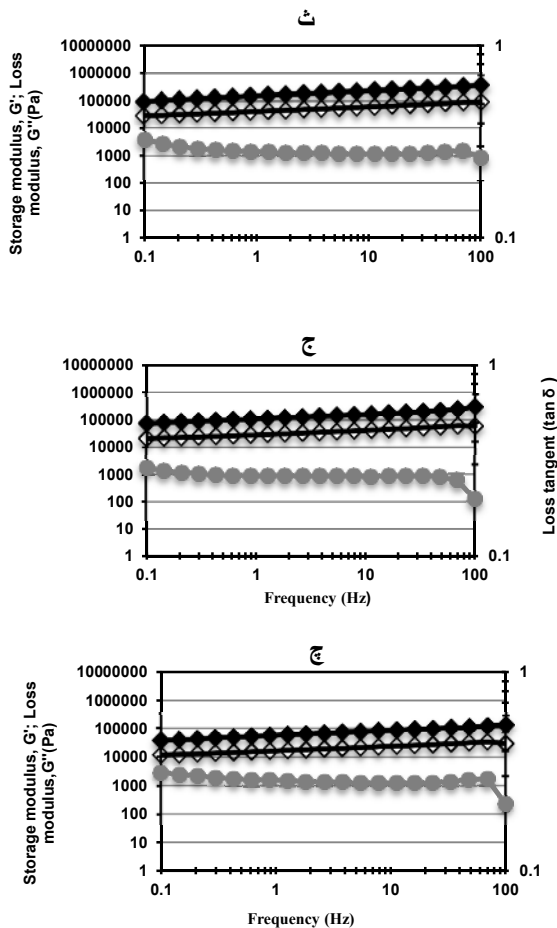
تغییرات در خصوصیات رئولوژیک پنیر سفید آب نمکی گلیپگان طی شش ماه دوره رسیدن بر اساس ضریب ذخیره (G')، ضریب افت (G'') و تانژانت افت ($\tan \delta$) در شکل ۲ نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، ضریب ذخیره و ضریب افت در طول دوره رسیدن به طور مشخصی دستخوش تغییر شده‌اند. روند این تغییرات به گونه‌ای است که ضریب ذخیره نمونه‌های پنیر مورد مطالعه به ترتیب از روز اول تا پایان ماه سوم روندی افزایشی داشته ($p < 0.05$) و از ماه چهارم تا پایان ماه ششم رسیدن، روندی کاهشی داشته است ($p < 0.05$) و در نهایت پنیر ماه ششم و لخته از نظر روند تغییرات و مقادیر ضریب ذخیره تقریباً مشابه بوده‌اند ($p > 0.05$). همین نتایج در مورد ضریب افت پنیر سفید آب نمکی نیز صادق است. همچنین،

همانطور که ملاحظه می‌شود، در طول شش ماه دوره رسیدن، مقادیر ماده خشک از روز اول تا پایان ماه سوم به طور معنی‌داری کاهش و از ماه چهارم تا پایان ماه ششم دوره رسیدن به طور معنی‌داری افزایش یافته است ($p < 0.05$). مقدار چربی در ماده خشک در طول دوره رسیدن از ماه اول تا پایان ماه ششم به طور معنی‌داری افزایش داشته است ($p < 0.05$). همچنین، بیشترین مقدار ازت کل در ماده خشک در دوره رسیدن متعلق به روز اول و ماه سوم و کمترین آن متعلق به ماه ششم بوده است. روند تغییرات مقادیر نمک از ماه اول تا پایان ماه ششم و مقادیر خاکستر از ماه اول تا پایان ماه پنجم دوره رسیدن ثابت بوده و تفاوت معنی‌داری نداشته است ($p > 0.05$). لازم به ذکر است که مقادیر ازت محلول در آب و ازت غیر پروتئینی در طول دوره رسیدن شش ماهه به طور معنی‌داری افزایش یافتند ($p < 0.05$).

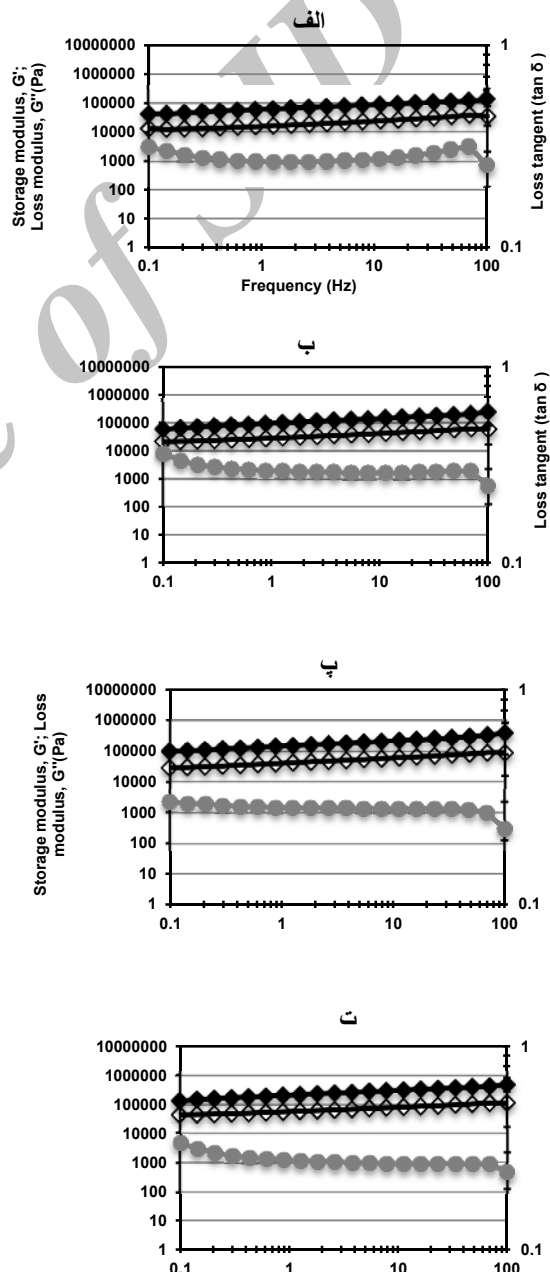
- تأثیر مدت زمان رسیدن بر برخی ویژگی‌های رئولوژیک پنیر سفید آب نمکی گلیپگان
- آزمون نوسانی دینامیک

در طول دوره رسیدن با استفاده از آزمون نوسانی دینامیک، رفتار ویسکوالاستیک پنیر سفید آب نمکی ارزیابی شد. جهت انجام این آزمون، تعیین ناحیه ویسکوالاستیک خطی ضروری بود و این ناحیه با انجام آزمون نوسان کرنش در فرکانس ۰/۱ هرتز در حالی که مقادیر درصدی کرنش از ۰/۱-۲۰۰ درصد در حال تغییر بود، مشخص گردید. شکل ۱ محدوده رفتار

ارزیابی برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی پنیر سفید آب نمکی



لخته (پنیر یک روزه) و پنیر رسیده شش ماهه کمترین مقادیر ضرایب ذخیره و افت را در محدوده فرکانسی مورد مطالعه نشان دادند ($p < 0.05$). روند تغییرات تانژانت افت در طول دوره رسیدن در تضاد با روند تغییرات ضرایب بوده است که چنین انتظاری وجود داشت. بنابراین، در ارتباط با تانژانت افت مشاهده می‌شود که با پیشروی در دوره رسیدن، تانژانت افت در محدوده فرکانسی مذکور (10 Hz) - 0.1) کاهش داشته است و این روند کاهشی بین لخته و پنیر رسیده شش‌ماهه معنی‌دار بوده است ($p < 0.05$). همچنین، بیشترین مقادیر تانژانت افت در محدوده فرکانسی مذکور مربوط به لخته پنیر بوده است ($p < 0.05$).



شکل ۲- تأثیر دوره رسیدن (الف) لخته (ب) ماه اول (پ) ماه دوم (ت) ماه سوم (ث) ماه چهارم (ج) ماه پنجم و (چ) ماه ششم) و تغییرات فرکانس روی ضرایب الاستیک (لوزی توپر)، افت (لوزی توخالی) و تانژانت افت (دایره توپر) پنیر سفید آب نمکی گلیپایگان اندازه‌گیری شده در محدوده کرنش 0.1% در دمای 25°C

- آزمون تراکم تک محوری

آزمون تراکم تک محوری جهت بررسی خصوصیات رئولوژیک و بافتی پنیر سفید آب‌نمکی گلیپایگان در دوره رسیدن شش‌ماهه، انجام شد. نتایج حاصل آمده از تجزیه واریانس در مورد پنیر سفید آب نمکی گلیپایگان نشان می‌دهد که اثر دوره رسیدن تنها بر سفتی پنیر معنی‌دار بوده است ($p < 0.05$) و بر سایر خصوصیات مکانیکی مذکور تأثیری نداشته است.

تغییرات در خصوصیات مکانیکی پنیر سفید آب نمکی طی مدت رسیدن بر اساس تنش در نقطه شکست (σ_f)، کرنش در نقطه شکست (ϵ_f) و سفتی (نیروی مورد نیاز

2002). مقادیر میانگین pH شیر گاو مورد استفاده در تولید پنیر سفید آب نمکی گلیپایگان مشابه مقادیر میانگین pH گزارش شده برای شیرگاو (6/8 - 6/6) در حالت طبیعی بوده و با نتایج گزارش شده توسط (Soler et al., 1995) مطابقت داشت. شیر تازه به دلیل داشتن ترکیباتی چون: پروتئین‌ها، فسفات، دی اکسیدکربن، سیترات و مواد دیگری از این قبیل، همانند یک بافر پیچیده عمل می‌کند (والسترا، 1387). همچنین پایین بودن مقادیر ماده خشک کل، چربی، پروتئین و خاکستر شیر مورد مطالعه از مقادیر میانگین این ترکیبات در شیر گاو در حالت طبیعی را می‌توان با نوع، نژاد و سن دام، شرایط محیطی، مرحله شیردهی، روش شیردوشی و تغذیه دام مرتبط دانست (Ramos, 1981). همچنین از آنجایی که شیر خام نمونه برداری شده پیش از انجام آزمایشات جهت تولید پنیر مورد نظر استاندارد شده بود بنابراین، این امر می‌تواند بر کاهش مقادیر چربی و در نتیجه ماده خشک شیر مؤثر باشد.

در ارتباط با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی پنیر مورد مطالعه، مقادیر میانگین pH در طول دوره رسیدن کاهش و اسیدیته قابل تیتراسیون افزایش یافته است که این روند با نتایج گزارش شده توسط Tarakci and Kucukoner (2006) در مورد pH و اسیدیته پنیر کاشار در طول دوره رسیدن مطابقت داشت. افزایش اسیدیته و در نتیجه کاهش pH به سبب تولید اسیدلاکتیک توسط

جهت متراکم نمودن پنیر تا 70٪ ارتفاع اولیه) به ترتیب در جدول 4 آورده شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود، مقادیر میانگین تنش در نقطه شکست لخته و پنیر رسیده شش ماهه به طور معنی‌داری افزایش یافته است ($p < 0.05$). با این وجود بین ماه‌های اول تا پنجم دوره رسیدن از نقطه نظر این ویژگی تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($p > 0.05$). همچنین لخته پنیر سفید آب نمکی کمترین و پنیر شش‌ماهه بیشترین مقادیر تنش در نقطه شکست را در طول دوره رسیدن دارا بوده‌اند. در مورد سفتی پنیر مورد مطالعه نیز شاهد افزایش معنی‌دار مقادیر میانگین از لخته تا پنیر شش‌ماهه بوده‌ایم ($p < 0.05$). همچنین همانطور که انتظار می‌رفت روند تغییرات سفتی مشابه روند تغییرات تنش در نقطه شکست در طول دوره رسیدن بوده است و به طور کلی، تغییرات ویژگی‌های رئولوژیک تنش در نقطه شکست و سفتی، در طول شش ماه دوره رسیدن روندی افزایشی و کرنش در نقطه شکست تقریباً روندی ثابت و بدون تغییر داشته است.

بحث

- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی

ترکیب شیمیایی شیر تأثیر مهمی بر انعقاد خواهد داشت که بر اساس ویژگی‌های فرآیند تولید پنیر و کیفیت پنیر تولیدی، تعیین می‌شود (Cichoscki et al., 2006).

جدول 4- ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های پنیر گلیپایگان در دوره رسیدن با استفاده از آزمون تراکم تک محوری (انحراف معیار \pm میانگین)

دوره رسیدن / ویژگی‌ها	تنش در نقطه شکست (σ_f) (kPa)	کرنش در نقطه شکست (ϵ_f) (-)	سفتی (N)
روز اول ⁽¹⁾	23/68 \pm 2/05 ^a	0/235 \pm 0/05 ^{bc}	24/35 \pm 5/87 ^a
ماه اول	29/09 \pm 3/06 ^{ab}	0/185 \pm 0/02 ^{ab}	31/05 \pm 0/07 ^{ab}
ماه دوم	35/79 \pm 3/55 ^{ab}	0/160 \pm 0/06 ^{ab}	52/00 \pm 7/64 ^c
ماه سوم	27/54 \pm 6/71 ^{ab}	0/140 \pm 0/04 ^a	35/75 \pm 8/27 ^{ab}
ماه چهارم	34/35 \pm 3/57 ^{ab}	0/280 \pm 0/01 ^c	35/30 \pm 2/26 ^{ab}
ماه پنجم	34/04 \pm 8/79 ^{ab}	0/190 \pm 0/01 ^{abc}	37/25 \pm 0/78 ^b
ماه ششم	39/66 \pm 6/40 ^b	0/195 \pm 0/04 ^{abc}	48/90 \pm 0/14 ^c

⁽¹⁾ پنیر یک روزه پیش از آب نمک‌گذاری (لخته)

⁽²⁾ سفتی: حداکثر نیرو در تراکم 70٪ نمونه

- در هر ستون حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی دار می‌باشد ($p < 0.05$).

فتا^۱، Cichoski و همکاران (۲۰۰۲) در پنیر پراتو^۲ و Taraksi and Kucukoner (2006) در مورد پنیر کاشار مطابقت داشت. همچنین مقادیر چربی، چربی در ماده خشک و رطوبت پنیر فاکتورهایی جهت طبقه‌بندی پنیر محسوب می‌شوند که مطابق استاندارد کدکس، پنیر سفید آب نمکی گلپایگان رسیده (شش ماهه) با ۵۴/۰۱ درصد چربی در ماده خشک و با ۷۸/۳۸ درصد رطوبت بر پایه پنیر بدون چربی^۳ در گروه پنیرهای نرم چرب قرار می‌گیرد.

پروتئولیز در تغییرات بافتی شبکه پنیر در جهت شکستن شبکه پروتئین، کاهش فعالیت آبی و افزایش pH شرکت دارد (سالاری و مرتضوی، ۱۳۸۷). به سبب پروتئولیز، مقدار پپتیدها و متعاقباً پپتیدهای کوچکتر و اسیدهای آمینه به طور منظمی افزایش می‌یابد. از این رو، افزایش مقدار پپتیدها، به عنوان فاکتوری مناسب جهت تعیین رسیدن پنیر در نظر گرفته می‌شود (Cooker et al., 2005). بر این اساس، کاهش مقادیر پروتئین پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در دوره رسیدن را می‌توان به رخ دادن واکنش‌های بیوشیمیایی پروتئولیز و در نتیجه تجزیه پروتئین به پپتیدهای کوچکتر نسبت داد که با نتایج Milci و همکاران (۲۰۰۵) در مورد پنیر هالومی هماهنگ بوده است.

در این مطالعه از فاکتورهای ازت محلول در آب در ازت کل (WSN/TN)^۴ و ازت غیر پروتئینی در ازت کل (NPN/TN)^۵ به عنوان شاخص پروتئولیز استفاده شد. بخش ازت محلول در آب در پنیر متشکل از پروتئین‌های محلول شیر، پپتیدهای حاصل از تجزیه کازئین و اسیدهای آمینه آزاد با اندازه متوسط و کوچک می‌باشد (Christensen et al., 1991). رنت مسئول هیدرولیز اولیه کازئین‌ها و تولید قسمت اعظم ازت محلول در آب در پنیر می‌باشد. عملکرد باکتری‌های آغازگر و سایر آنزیم‌ها در این سطح پروتئولیز، کم اهمیت تر بوده اما عمدتاً مسئول تولید پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه آزاد می‌باشند (Fox et al., 1995). ازت غیر پروتئینی به عنوان شاخص مقادیر پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه موجود در پنیر، در نظر گرفته می‌شود و سطح آن به عنوان اندیس میزان رسیدن مطرح می‌باشد. این پپتیدها و اسیدهای آمینه

باکتری‌های اسیدلاکتیک در نتیجه مصرف لاکتوز و تولید هیدروژن می‌باشد (Dervisoglu and Yazici, 2001). مقادیر اسیدینه قابل تیتراسیون و pH پنیر، به سبب تأثیر آن‌ها بر رشد میکروارگانیسم‌ها و فعالیت آنزیمی در طول مرحله رسیدن پنیر و همچنین خصوصیات رئولوژیک و عطر و طعم پنیر، اهمیت زیادی دارند (Pappa et al., 2007).

به طور کلی هنگامی که پنیر در آب نمک قرار می‌گیرد، آب از درون ماتریکس پنیر به خارج انتشار می‌یابد (Guinee and Fox, 1987). این تبادل، مقدار رطوبت پنیر را کاهش و در نتیجه مقدار ماده خشک آن را در طول دوره رسیدن افزایش می‌دهد (Khosrowshahi et al., 2006). همچنین، کاهش ماده خشک در پنیرهای آب نمکی را می‌توان به تخریب شبکه پروتئینی در اثر پروتئولیز بیش از حد در طول دوره رسیدن و در نتیجه افزایش میزان آبیگری و ایجاد ترکیبات محلول و کوچک مولکول و انتشار این مواد از داخل بافت پنیر به درون آب نمک و کاهش مواد معدنی نسبت داد (Green, 1997). پروتئولیز منجر به افزایش گروه‌های قطبی آمینو و کربوکسیل می‌گردد که این امر منجر به بالا رفتن میزان آبیگری پنیر و کاهش ماده خشک می‌شود (Brunner, 1981). روند تغییرات و مقدار ماده خشک پنیر سفید آب نمکی گلپایگان با نتایج گزارش شده توسط علیزاده و احسانی (۱۳۸۲) مطابقت داشت.

همچنین روند افزایش چربی و چربی در ماده خشک پنیر مورد مطالعه در دوره رسیدن بر اساس گزارشات Guinee و همکاران (2000) قابل تفسیر است زیرا به طور معمول با کاهش مقدار پروتئین در پنیر، مقدار چربی افزایش می‌یابد (Subramanian and Gunasekaran, 1997). علاوه بر آن، تغییر خاصیت آبیگری پروتئین‌ها تحت تأثیر رطوبت، درجه حرارت نگهداری و غلظت نمک، خود عاملی برای افزایش یا کاهش درصد ماده خشک و چربی در پنیر می‌باشد (آدرنیا و همکاران، ۱۳۷۳). روند افزایشی مقدار چربی و چربی در ماده خشک پنیر مورد مطالعه در طول دوره رسیدن با نتایج گزارشات Karami و همکاران (۲۰۰۹) در پنیر

¹ UF-Feta² Prato³ MFFB⁴ Water Soluble Nitrogen in Total Nitrogen⁵ Non Protein Nitrogen in Total Nitrogen

نمکی گلیپایگان در طول دوره رسیدن، مطابق تصویر ۲، همواره ضریب ذخیره (G') بالاتر از ضریب افت (G'') بوده است، در نتیجه رفتار جامد مانند در این پنیرهمواره بر رفتار ویسکوز غالب بوده و این رفتار، نوعی از رفتار یک جامد ویسکوالاستیک می‌باشد (Rao and Steffe, 1992). این نتایج، با نتایج Kahyaoglu and Kaya, (2003) در مورد پنیر قازی‌اتپ^۱ مطابقت دارد. همچنین در پنیر مورد مطالعه تغییرات G' و G'' نمونه‌ها وابسته به تغییرات فرکانس بوده که بازگو کننده ذات ویسکوالاستیک این محصول می‌باشد (Drake and Gerard, 1999). به طور کلی هنگامی که پنیر در معرض تنش برشی سینوسی قرار می‌گیرد، کرنش برشی خارج از فاز تنش با زاویه δ می‌باشد. تانژانت این زاویه افت ($\tan \delta = \frac{G''}{G'}$) بر تأثیر نسبی اجزای ویسکوز و الاستیک رفتار ویسکوالاستیک ماده دلالت دارد (Gunasekaran *et al.*, 2000). بنابراین، از آنجایی که تانژانت افت پنیر مورد مطالعه در محدوده $0.2-0.4$ قرار گرفته است و به عبارتی دیگر کمتر از $1/10$ می‌باشد نشان دهنده آن است که ضریب ذخیره بر ضریب افت بسیار غالب بوده است و این نتایج با گزارشات Karami و همکاران (۲۰۰۹) در مورد پنیر فنا مطابقت داشته و در هر دو مطالعه ذات الاستیک نمونه‌ها بالاتر از ذات ویسکوز آنها بوده است.

برخی فاکتورها رفتار ویسکوالاستیک را در پنیرها تحت تأثیر قرار می‌دهند که عبارتند از مقدار رطوبت، چربی، پروتئین، نمک، پروتئولیز و pH (Dimitreli & Luyten, 2008). بر اساس گزارش Thomareis, (1988)، افزایش مقدار آب (رطوبت) سبب افزایش مقادیر تانژانت افت می‌شود. مقدار چربی نیز ضریب ذخیره و افت را کاهش و تانژانت افت را افزایش می‌دهد و سبب بروز رفتار شبه مایع برای نمونه‌ها می‌شود. این امر به سبب نقش چربی به عنوان عامل نرم کننده و چرب کننده می‌باشد (Dimitreli and Thomareis, 2008). در مقابل چربی و رطوبت، هنگامی که مقدار پروتئین افزایش یابد، تمامی خصوصیات ویسکوالاستیک نمونه‌های پنیر به استثنای تانژانت افت افزایش می‌یابد. افزایش تجمع و مقدار کازئین‌ها در ماتریکس پنیر، اتصالات درون و خارج

عمدتاً از عملکرد میکروارگانیسم‌ها بر کازئین‌ها و پپتیدهای آنها نتیجه می‌شوند (Tarakci, 2004). افزایش مقدار دو شاخص رسیدن در مورد پنیر مورد مطالعه، مؤید رسیدن مناسب این پنیر می‌باشد (Kucukoner and Haque, 2003) و با نتایج مطالعات علیزاده و احسانی (۱۳۸۲)، Park, 2001; Mara and Kelly, 1998; Ozer *et al.*, 2002; Milci *et al.*, 2005; Tarakci and Kucukoner, 2006; Raphaelides *et al.*, 2006; Alizadeh *et al.*, 2006; Karami; *et al.*, 2009 و Sadowska *et al.*, 2009 مطابقت دارد.

دوره رسیدن بر تغییرات مقادیر نمک و خاکستر نمونه‌ها نیز مؤثر بوده است. غلظت نمک در پنیر به مقدار اولیه افزوده شده به پنیر نرم، درجه گرادیان نمک در آب نمک طی مرحله آب نمک‌گذاری پنیر، نوع نمک، دمای پنیر و pH بستگی دارد (Pavia *et al.*, 2000). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، میزان نقل و انتقال نمک از آب نمک به درون بافت پنیر به خصوصیات پنیر (یعنی مقادیر رطوبت، چربی و ناحیه سطحی) و شرایط آب نمک (یعنی مقدار نمک، دما، زمان آب نمک گذاری و اسیدیته آب نمک) نسبت داده شده است (Hayaloglu *et al.*, 2002). پنیرهای آب نمکی پس از مرحله پرس (فشردن)، در محلول آب نمک قرار داده می‌شوند. به سبب تفاوت فشار اسمزی، حرکت آهسته‌ای از مولکول‌های نمک از آب نمک به بافت پنیر انجام می‌گیرد. تغییر میزان نمک پنیر مورد مطالعه با نتایج مهدوی عادل و همکاران (۱۳۶۸)، علیزاده و احسانی (۱۳۸۲)، Cichoscki *et al.*, 2002; Milci *et al.*, 2005; Tarakci and Kucukoner 2006 و Raphaelides *et al.*, 2006 مطابقت دارد.

ویژگی‌های رئولوژیک پنیر سفید آب نمکی گلیپایگان در طول شش ماه دوره رسیدن

خصوصیات رئولوژیکی گزارش شده در این مطالعه عبارتند از: ضریب ذخیره (G')، ضریب افت (G'') و تانژانت افت ($\tan \delta$). هنگامی که $G'' < G'$ باشد (خاصیت ژل)، رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز غالب است (Steffe, 1996). بنابراین از آنجایی که در نمونه‌های پنیر سفید آب

¹ Gaziantep

زنجیری را افزایش می‌دهد در نتیجه، ماتریکس خصوصیات الاستیک بیشتری را از خود نشان داده و تغییر شکل آن مشکل‌تر خواهد شد (Fox *et al.*, 2000).

بنابراین، روند افزایشی ضریب ذخیره و افت نمونه‌های پنیر سفید آب نمکی گلپایگان از لخته تا پایان ماه سوم را می‌توان به کاهش مقادیر میانگین چربی از لخته تا پنیر سه ماهه و افزایش مقادیر میانگین نمک و پروتئولیز نسبت داد. با وجود آنکه از لخته تا پایان ماه سوم شاهد افزایش مقادیر رطوبت پنیر گلپایگان می‌باشیم اما در اینجا به نظر می‌رسد که فاکتور چربی حائز اهمیت تر باشد زیرا کاهش مقادیر چربی سبب کاهش عملکرد آن به عنوان ماده نرم کننده می‌شود. همچنین در طول دوره رسیدن در اثر لیپولیز چربی پنیر، گلوبول‌های چربی شکسته شده و این امر به نوبه خود سبب کاهش اثر نرم کنندگی (پلاستیک کنندگی) چربی خواهد شد. Subramanian و همکاران در سال ۲۰۰۶ در مطالعه خود دریافتند که کاهش چربی منجر به افزایش خصوصیات ویسکوالاستیک در پنیر پروسس می‌شود و با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. از سوی دیگر، در ارتباط با نقش پروتئولیز بر خصوصیات رئولوژیک پنیر مطالعاتی انجام گرفته است. Hesari و همکاران در سال ۲۰۰۶ دریافتند که رنت و کشت آغازگر به طور مستقیم و یا غیرمستقیم در تولید اسیدهای آمینه آزاد شرکت دارند. در اثر عملکرد این عوامل، همانطور که مشاهده شد، درصد نسبت ازت محلول در آب در ازت کل و ازت غیر پروتئینی در ازت کل طی دوره رسیدن پنیر گلپایگان به طور معنی‌داری افزایش یافته است ($p < 0.05$) که نشان دهنده شکست کازئین‌ها به سبب پروتئولیز می‌باشد و با نتایج گزارش Karami و همکاران (۲۰۰۹) مطابقت دارد. همچنین Bertola و همکاران در سال ۱۹۹۲ ارتباط بین پارامترهای رئولوژیک و تولید ازت محلول در آب و ازت غیر پروتئینی را گزارش کرده‌اند. این موضوع به نوبه خود منجر به بازآرایی مجدد و تشکیل باندهای متقاطع مابین زنجیره‌های کازئین و نتیجتاً آزاد شدن گلوبول‌های چربی از ماتریکس کازئین خواهد شد (Tunick *et al.*, 1993). عمل پروتئولیتیکی کشت آغازگر همچنین خصوصیات رئولوژیک و بافتی پنیر را طی شکست آرام کازئین‌ها (اما پیشرونده) در دوره نگهداری تحت تأثیر قرار می‌دهد (Lawrence *et al.*, 1987) که در مورد پنیر گلپایگان

صادق است. سپس در ادامه از ماه چهارم تا پایان ماه ششم دوره رسیدن پنیر گلپایگان شاهد کاهش مقادیر ضریب ذخیره و افت بوده ایم که دلیل این کاهش می‌تواند کاهش مقادیر پروتئین و افزایش مقادیر چربی و در نتیجه نرم شدن بافت پنیر در طول این مدت باشد. روند تغییرات تانژانت افت در طول دوره رسیدن در تضاد با روند تغییرات ضرایب بوده است که چنین انتظاری وجود داشت. علل افزایش تانژانت افت پنیر گلپایگان (از ماه چهارم تا پایان ماه ششم) را می‌توان به افزایش مقدار چربی در این بازه زمانی نسبت داد (Dimitreli and Thomareis, 2008). محدوده تانژانت افت پنیر گلپایگان (۰/۲-۰/۴) مشابه مقادیر گزارش شده برای پنیر موزارلا (Yun *et al.*, 1994)، پنیر قازی‌انتپ (Kahyaoglu and Kaya, 2003) و پنیر فتا (Karami *et al.*, 2009) بوده است.

در ارتباط با تنش در نقطه شکست، مقادیر عددی کم نشان دهنده شکست آسانتر ماده و در مورد کرنش در نقطه شکست مقادیر عددی بالاتر نشان دهنده قابلیت تغییر شکل یافتن بیشتر می‌باشد (Juan *et al.*, 2007). تمامی ترکیبات مهم یک نمونه پنیر از جمله پروتئین، چربی، آب و نمک رفتار رئولوژیک و در نتیجه خصوصیات بافتی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Prentice, 1987). دلیل افزایش تنش در نقطه شکست و سفتی پنیر گلپایگان در دوره رسیدن را می‌توان با افزایش غلظت آب نمک و در نتیجه افزایش نمک در بافت پنیر، تعداد و استحکام پیوندهای میان اجزای کازئین و همچنین توزیع فضایی رشته‌های کازئین در شبکه ژل در ارتباط دانست (Esteves *et al.*, 2003; Madadlou *et al.*, 2007).

نتیجه‌گیری

تغییر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و شیمیایی پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در طول دوره نگهداری را می‌توان با تحولات ناشی از پروتئولیز، گلیکولیز و لیپولیز دوره رسیدن در ارتباط دانست زیرا رسیدن پنیر یکی از پیچیده‌ترین پدیده‌های بیوشیمیایی است. همین فرآیند پیچیده رسیدن است که منجر به کاهش معنی‌دار مقادیر pH، پروتئین (به استثنای ماه سوم)، ماده خشک و چربی (تا پایان ماه سوم) و افزایش معنی‌دار مقادیر اسیدپتته قابل تیتراسیون، ازت

مرتضوی، ع.، مسکوکی، ع.، میرچولی، س. و قندی، ا. (۱۳۸۴). بررسی اثر دماهای مختلف سالم سازی شیر بر بهره‌وری، خصوصیات فیزیکوشیمیایی و ارزیابی حسی پنیر سفید ایرانی، جهاد دانشگاهی، علوم و صنایع کشاورزی، ۱۹ (۲)، صفحات ۲۱۷-۲۲۶.

مهدوی عادل، ح.، میر هادی، ا. و یوسفی، م. (۱۳۸۸). مطالعه ترکیبات مولد عطر و طعم پنیر لیقوان و پنیر سفید آبنمکی گلپایگان. وزارت جهاد کشاورزی سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی، ناشر: موسسه تحقیقات علوم دامی کشور، ۱۰۵ صفحه.

والسترا، پی. (۱۳۸۷). تکنولوژی شیر و فرآورده‌های لبنی. ترجمه: مرتضوی، ع.، قدس روحانی، م. و جوینده، ح. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۱۱ صفحه.

Alizadeh, M., Hamedi, M. & Khosroshahi, A. (2006). Modeling of proteolysis and lipolysis in Iranian white brine cheese. *Food Chemistry*, 97: 294-301.

AOAC. (2002). Official methods of analysis of the AOAC, 15th ed. (Ed. S. Williams). Arlington, USA: Association of Official Analytical Chemists.

Ardö, Y. & Polychroniadou, A. (1999). Laboratory manual for chemical analysis of cheese. European Communities, Luxemburg.

Bertola, N. C., Bevilacqua, A. E. & Zaritzky, N. E. (1992). Proteolytic and rheological evaluation of maturation of Tybo Argentino cheese. *Journal of Dairy Science*. 75: 3273.

Brickley, C. A., Auty, M. A. E., Pirain, P. & Mcsweeney, P. L. H. (2007). The effect of natural cheddar cheese ripening on the functional and textural properties of the processed cheese manufactured therefrom. *Journal of Food Science*, Vol. 72, 9: 483-490.

Brunner, J. R. (1981). Cow milk proteins: Twenty five years of progress. *Journal of Dairy Science*, 64: 1038.

Calzada, J. F. & Peleg, M. (1978). Mechanical interpretation of compressive stress-strain relationships on solids foods. *Journal of Food Science*, 41: 1087-1092.

Christensen, T. M. I. E., Bech, A. M. & Wernar, H. (1991). Methods for crude fractionation (extraction & precipitation) of nitrogen components in cheese. *IDF Bulletin* 261. Brussels: International Dairy Federation, pp. 4-9.

محلول در آب در ازت کل، ازت غیر پروتئینی در ازت کل و رطوبت و چربی (از ماه چهارم تا پایان ماه ششم) پنیر سفید آب نمکی گلپایگان در طول دوره رسیدن شده است. لازم به ذکر است که نحوه تغییر ترکیبات تشکیل دهنده پنیر مورد مطالعه سبب بروز رفتارهای رئولوژیک و بافتی متفاوت در آن خواهد شد به گونه‌ای که افزایش مقادیر ضریب ذخیره، تنش در نقطه شکست و سفتی پنیر سفید آب نمکی گلپایگان را می‌توان با افزایش مقادیر خاکستر، کاهش pH و وقوع پروتئولیز در ارتباط دانست. در مجموع پنیر سفید آب نمکی گلپایگان شش ماهه با ۵۱/۳۶ درصد چربی در ماده خشک و با ۷۷/۴۱ درصد رطوبت بر پایه پنیر بدون چربی بر اساس استاندارد کدکس در تقسیم بندی پنیرها جزء پنیرهای نرم چرب محسوب می‌شود.

منابع

آذرنیا، ث.، احسانی، م. ر.، میرهادی، ا. و یوسفی، ج. (۱۳۷۳). ارزیابی فرآیند پروتئولیز و تسریع آن طی رسانیدن پنیر سفید ایرانی. نشریه پژوهشی شماره ۷۸، انتشارات وزارت جهاد سازندگی، معاونت آموزش و تحقیقات، موسسه تحقیقات دامپروری کشور.

بی نام. (۱۳۷۰). ویژگی های پنیر سفید. استاندارد ملی ایران، شماره ۳۳۴۴، چاپ اول.

خازن، ص. (۱۳۷۶). بررسی پنیرهای محلی تبریز و مقایسه آن با پنیرهای خارجی. پایان نامه دکترا، دانشگاه علوم پزشکی تبریز.

سالاری، ر. و مرتضوی، ع. (۱۳۸۷). تعیین زمان بهینه رسیدن پنیر سفید ایرانی با استفاده از روش سطح پاسخ. فصل نامه علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، دوره ۵، شماره ۲، صفحات ۱۷-۲۶.

علیزاده، م. و احسانی، م. ر. (۱۳۸۲). مقایسه مایه پنیر حاصل از کپک *Mucor miehei* با مایه پنیر حیوانی و مایه پنیر تجاری رنیلاز. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۴، شماره ۱، صفحات ۲۰۷-۲۱۲.

کشکولی، م. (۱۳۵۳). شناخت استاندارد و مشخصات پنیرهای طولش و اسالم و اصلاح آن. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تهران.

- Cichoski, A. J., Valduga, E., Valduga, A. T., Tornadajo, M. E. & Fresno, J. M. (2002). Characterization of Prato cheese, a Brazilian semi-hard cow variety: evolution of physico-chemical parameters and mineral composition during ripening. *Journal of Food Control*, 13: 329-336.
- Codex Alimentarius Commission, Food and Agriculture Organization of United Nations, World Health Organization. Vol. 12: Milk and milk products. Codex General Standard for Cheese (Codex Stain A-6-1978).
- Codex. General Standards for cheese. CODEX STAN A-6-1978, Rev. 1-1999, Amended 2006. No. 283.
- Cooker, C. J., Crawford, R. A., Johnston, K. A., Singh, H. & Creamer, L. K. (2005). Towards the classification of cheese variety and maturity on the basis of statistical analysis of proteolysis data, a review. *International Dairy Journal*, 15: 631-643.
- Dervisoglu, M. & Yazici, F. (2001). Ripening changes of Kulek cheese in wooden & plastic containers. *Journal of Food Engineering*, 3: 243-249.
- Dimitreli, G. & Thomareis, A. S. (2008). Effect of chemical composition on the linear viscoelastic properties of spreadable-type processed cheese. *Journal of Food Engineering*, 84: 368-374.
- Drake, M. A., Gerard, P. D., Truong, V. D. & Daubert, C. R. (1999). Relationship between instrumental and sensory measurements of cheese texture. *Journal of Texture Studies*, 30: 451-476.
- Erdem, Y. K. (2005). Effect of ultrafiltration, fat reduction and salting on textural properties of white brined cheese. *Journal of Food Engineering*, 71: 366-372.
- Esteves, C. L. C., Lucey, J. A., Hyslop, D. B. & Pires, E. M. V. (2003). Effect of gelation temperature on the properties of skim milk gels made from plant coagulants and chymosin. *International Dairy Journal*, 13: 877-885.
- Ferry, G. D. (1980). *Viscoelastic properties of polymers*. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore: John Wilbey & Sons.
- Fox, P. F., Law, J., McSweeney, P. L. H. & Wallace, J. (1993). *Biochemistry of cheese ripening*. second edition. In P. F. Fox (ed.). *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. Vol. 1. London, UK: Chapman & Hall. pp. 389-438.
- Fox, P. F. & McSweeney, P. L. H. (1996). Proteolysis in cheese during ripening. *Food Reviews International*, 12: 457-509.
- Fox, P. F., Singh, T. K. & McSweeney, P. L. H. (1995). Biogenesis of flavour compounds in cheese. In E. L. Malin & M. H. Tunick (eds.), *Chemistry of structure-function relationships in cheese*. New York: Plenum Publishing Corporation. pp. 59-98.
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M. & McSweeney, P. L. H. (2000). *Fundamentals of Cheese Science*. Gaithersburg, Maryland, USA: Aspen Publishers, Inc.
- Green, M. L. (1997). Review of the progress of dairy science: milk coagulants. *Journal of Dairy Research*, 44: 159-188.
- Guinee, T. P. & Fox, P. F. (1987). Salt in cheese, physics, chemical and biological aspects. In P. F. Fox (ed.). *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Vol. 1. London, UK: Chapman & Hall. p.257-302.
- Guinee, T. P., Auty, M. A. E. & Fenelon, M. A. (2000). The effect of fat content on the rheology, microstructure and heat-induced function of characteristics of cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 10: 277-288.
- Gunasekaran, S. & Ak, M. M. (2000). Dynamic oscillatory shear testing of foods – selected applications. *Trends Food Science & Technology*, 11: 115-127.
- Hayaloglu, A. A., Guven, M. & Fox, P. F. (2002). Microbiological, biochemical & technological properties of Turkish white cheese 'BeyazPeynir'. *International Dairy Journal*, 12: 635-648.
- Hesari, J., Ehsani, M. R., Khosroshahi, A. & McSweeney, P. L. H. (2006). Contribution of rennet and starter to proteolysis in Iranian UF white cheese. *Lait*, 86: 291-302.
- Juan, B., Trujillo, A. J., Guamis, V., Buffa, M. & Ferragut, V. (2007). Rheological, textural & sensory characteristics of high-pressure treated semi-hard ewes' milk cheese. *International Dairy Journal*, 17: 248-254.
- Kahyaoglu, T. & Kaya, S. (2003). Effects of heat treatment and fat reduction on the rheological and functional properties of Gaziantep cheese. *International Dairy Journal*, 13: 867-875.
- Khosrowshahi, A., Madadlou, A., Musavi, M. E. & Emam-Djome, Z. (2006). Monitoring the chemical and textural changes during ripening of Iranian White cheese made with different concentrations of starter. *Journal of Dairy Science*, 89: 3318-3325.

Karami, M., Ehsani, M. R., Mousavi, S. M., Rezaei, K. & Safari, M. (2009). Changes in the rheological properties of Iranian UF-Feta cheese during ripening. *Food Chemistry*, 112: 539-544.

Konstance, R. P. & Holsinger, V. H. (1992). Developments of rheological test methods for cheese. *Food Technology* 46 (1): 105-109.

Kucukoner, E. & Haque, Z. U. (2003). Physico-chemical and rheological properties of full fat and low fat edam cheeses. *European Food Research and Technology*, 217: 281-286.

Lawrence, R. C., Creamer L. K. & Gelles, J. (1987). Texture development during cheese ripening. *Journal of Dairy Science*, 70:1748-1760.

Lucey, J. A., Mishra, R., Hassan, A. & Johnson, M. E. (2005). Rheological and calcium equilibrium changes during the ripening of cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 15: 645-653.

Luyten, H. (1988). The rheological and fracture properties of Gouda cheese. Ph. D. thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.

Madadlou, A., Khosrowshahi, A. & Mousavi, M. E. (2005). Rheology, microstructure and functionality of low-fat Iranian White cheese made with different concentrations of rennet. *Journal of Dairy Science*, 88: 3052-3062.

Madadlou, A., Khosrowshahi asl, A., Mousavi, M. E. & Farmani, J. (2007). The influence of brine concentration on chemical composition and texture of Iranian White Cheese. *Journal of Food Engineering*, 81: 330-335.

Madsen, J. S. & Ardö, Y. (2001). Exploratory study of proteolysis, rheology and sensory properties of Danbo cheese with different fat contents. *International Dairy Journal*, 11: 423-431.

Mara, O. & Kelly, A. I. (1998). Contribution of milk enzymes, starter and rennet to proteolysis during storage of Quarg. *International Dairy Journal*, 8: 973-979.

Messens, W., Van de Walle, D., Arevalo, J., Dewettinck, K. & Huyghebaert, K. (2000). Properties of high-pressure-treated Gouda cheese. *International Dairy Journal* 10: 359-367.

Milci, S., Goncu, A., AlpKent, Z. & Yaygin, H. (2005). Chemical, microbiological and sensory characterization of Halloumi cheese produced from ovine, caprine and bovine milk. *International Dairy Journal*, 15: 625-630.

Mirzaei, H., Ghiasi Khosroshahi, A. & Karim, G. (2008). The microbiological and chemical quality of traditional Lighvan cheese (white cheese in brine) produced in Tabriz, Iran. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7(12), 1594- 1599.

Ozer, B., Atasoy, F. & Akin, S. (2002). Some properties of Urfa cheese (a traditional white-brined Turkish cheese) produced from bovine and ovine milks. *International Journal of Dairy Technology*, 55: 94-99.

Pappa, E. C., Kandarakis, I. & Mallatou, H. (2007). Effect of different types of milks and cultures on the rheological characteristic of Teleme cheese. *Journal of Food Engineering*, 79: 143-149.

Pappas, C. P., Kondyli, E., Voutsinas, L. P. & Mallatou, H. (1996). Effect of starter level, draining time and aging on the physicochemical, organoleptic and rheological properties of feta cheese. *Journal of the Society of Dairy Technology*. 49: 73-78.

Park, Y. M. (2001). Proteolysis and lipolysis of Goat milk cheese, *Journal of Dairy Science*, 84: E84- E92.

Pavia, M., Trujillo, A. J., Guamis, B. & Ferragut V. (2000). Ripening control of salt-reduced Manchego type cheese obtained by brine vacuum-impregnation. *Food Chemistry*, 70: 155-162.

Pinho, O., Mendes, E., Alves, M. M. & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2004). Chemical, physical, and sensorial characteristics of "Terrincho" ewe cheese: change during ripening and intravarietal comparison. *Journal of Dairy Science* 87: 249-257.

Prasad, N. & Alvarez, V. B. (1999). Effect of salt and chymosin on the physicochemical properties of feta cheese during ripening. *Journal of Dairy Science*, 82: 1061-1067.

Prentice, J. H. (1987). Cheese rheology. In: P. F. Fox, Editor. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology*. London, UK: Elsevier Applied Science.

Ramos, N. M. M. & Juarez, M. (1981). The composition of ewes' and goats' milk. *International Dairy Federation Bulletin*, Document 140, 5.

- Rao, M. A. & Steffe, J. F. (1992). *Viscoelasticity of foods*. New York: Elsevier Applied Science.
- Raphaelides, S. N., Antoniou, K. D., Vasiliadou, S., Georgaki, C. & Gravanis, A. (2006). Ripening effect on the rheological behavior of Halloumi cheese. *Journal of Food Engineering*, 76: 321-326.
- Robinson, R. K. & Wilbey, R. A. (1998). *Cheesemaking practice*. Kluwer Academic/Plenum Publishers. New York. Editorial Resources: Jon Walmsley. 457 p.
- Romeih, E. A., Michaelidou, A., Biliaderis, C. G. & Zerfiridis, G. K. (2002). Low-fat white-brined cheese made from bovine milk and two commercial fat mimetics: chemical, physical and sensory attributes. *Dairy Journal*, 12: 525-540.
- Sadowska, J., Bialobrzewski, I., Jeliński, T. & Markowski, M. (2009). Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. *Journal of Food Engineering*, 94 (3-4), 254-259.
- Sheehan, J. J. & Guinee, T. P. (2004). Effect of pH and calcium level on the biochemical, textural and functional properties of reduced-fat Mozzarella cheese. *International Dairy Journal*, 14: 161-172.
- Soler, A., Ponsell, C. de Paz, M. & Nuñez, M. (1995). The microbiological quality of milk produced in the Balearic Islands. *International Dairy Journal*, 5: 69-74.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. 2nd ed. East Lansing, Freeman Press. USA. pp. 294-349.
- Subramanian, R. & Gunasekaran, S. (1997). Small amplitude oscillatory shear studies on Mozzarella cheese. Part I. Region of linear viscoelasticity. *Journal of Texture Studies*, 28: 633-642.
- Subramanian, R., Muthukumarappan, K. & Gunasekaran, S. (2006). Linear viscoelastic properties of regular- and reduced-fat pasteurized process cheese during heating and cooling. *International Journal of Food Properties*, 9: 377-393.
- Tarakci Z. (2004). The influence of helis (prangos sp.) on ripening characteristics of vacuum-packed van herby cheese during ripening. *Milchwissenschaft*, 11 (12): 619-623.
- Tarakci, Z. & Kucukoner, E. (2006). Changes on physicochemical, lipolysis and proteolysis of vacuum - packed Turkish Kashar cheese during ripening. *Journal of Central European Agriculture*, Vol 7. 3: 459-464.
- Tsigkros, D., Foll, E., Moate, R. & Brennan, C. S. (2003). Feta cheese texture: the effect of caprine and ovine milk concentration. *International Journal of Dairy Technology*, 56: 233-236.
- Tunick, M. H. (2000). Symposium: Dairy products rheology, Rheology of dairy foods that gel, stretch, and fracture. *Journal Dairy Science*, 83: 1892-1898.
- Tunick, M. H., Malin, E. L., Smith, P. W., Shieh, J., Sullivan, B. C., Mackey, K. L. & Holsinger, V. H. (1993). Proteolysis and rheology of low and full fat Mozzarella cheeses prepared from homogenized milk. *Journal of Dairy Science*, 76: 3621-3628.
- Upreti, P. & Metzger, L. E. (2006). Influence of calcium & phosphorus, lactose, and salt-to-moisture ratio on Cheddar cheese quality: Manufacture and Composition. *Journal of Dairy Science*, 89: 420-428.
- Watkinson, P., Coker, C., Crawford, R., Dodds, C., Johnston, K., McKenna, A. & White, A. (2001). Effect of cheese pH and ripening time on model cheese textural properties and proteolysis. *International Dairy Journal*, 11: 455-464.
- Yun, J. J., Hsieh, Y. L., Barbano, D. M. & Rohn, C. L. (1994). Rheological and chemical properties of Mozzarella cheese. *Journal of Texture Studies*, 25: 411-420.