

تأثیر پوشش‌های خوراکی صمغ زانتان و موسیلاژ دانه‌ی کتان بر خصوصیات میکروبی، فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی پنیر چدار در طول رسیدن

افشین سلیمانی رامبد^۱، شهین زمردی^{۲*}، شهرام نقی‌زاده رئیسی^۱، اصغر خسروشاهی اصل^۳ و سید احمد شهیدی^۱

^۱گروه بهداشت مواد غذایی، دانشکده علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی، آمل، ایران

^۲بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه، ایران

^۳گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۹

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی امکان استفاده از موسیلاژ دانه‌ی کتان و صمغ زانتان به‌عنوان پوشش‌های خوراکی در پنیر چدار و تأثیر این پوشش‌ها بر خواص میکروبی، رئولوژیکی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر چدار در طول نگهداری می‌باشد. تیمارها عبارت بودند از C (شاهد، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با محلول پلی‌وینیل استات)، XG (پنیر چدار پوشش‌دهی شده با محلول صمغ زانتان در غلظت ۰/۵ درصد) و FM1، FM2، FM3 (به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با محلول موسیلاژ دانه‌ی کتان در غلظت‌های ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد). تمام تیمارها در ۳ تکرار تهیه شدند و به مدت ۹۰ روز در دمای $8 \pm 2^\circ\text{C}$ نگهداری شدند. نوع پوشش خوراکی بر رشد تعداد کل باکتری‌های هوازی مزوفیل، سودوموناس و کلی فرم تأثیر معنی‌داری نداشت، اما پوشش صمغ زانتان به‌طور معنی‌داری رشد مخمر را افزایش داد. نوع پوشش بر اسیدیته و pH پنیر اثر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که در روز ۹۰ بیشترین نرخ pH و اسیدیته به ترتیب در نمونه‌های FM1 و XG مشاهده شد. در پایان دوره رسیدن، نمونه FM3 دارای بیشترین مقدار افت وزن بود. در تمامی فرکانس‌ها، نمونه FM1 بیشترین مدول ذخیره (G') و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) و نمونه FM2 بیشترین مدول افت (G'') را داشتند درحالی‌که کمترین مقدار آن‌ها در نمونه کنترل مشاهده شد. طبق نتایج ارزیابی حسی، پوشش‌دهی تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی پنیر نداشت. از این‌رو پوشش‌دهی با موسیلاژ دانه‌ی کتان در غلظت ۰/۷۵ درصد منجر به بهبود ویژگی‌های کیفی پنیر چدار گردید.

واژگان کلیدی: پوشش خوراکی، پنیر چدار، دانه‌ی کتان، زانتان، پلی‌وینیل استات

* s.zomorodi@areeo.ac.ir

مقدمه

بسته‌بندی تکنیک استفاده از ترکیبات مناسب به منظور حفظ مواد غذایی از زمان تولید تا مصرف می‌باشد. علیرغم اینکه بسته‌بندی‌های پلاستیکی از نظر تکنولوژیکی قابل تجزیه هستند، اما در شرایط طبیعی تجزیه‌ی آن‌ها در مقایسه با ترکیبات زیستی بسیار زمان‌بر خواهد بود (۱). مشکلات زیست محیطی عمده در رابطه با پلاستیک‌ها، تخریب پذیری کم و مقاومت ماکرو و میکروپلاستیک‌ها در خاک و آب می‌باشد (۲). بنابراین تولیدکنندگان مواد غذایی علاوه بر تلاش در جهت کاهش استفاده از مواد پلاستیکی، در پی توسعه‌ی کاربرد فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی زیست تخریب‌پذیر و منعطف به منظور بسته‌بندی مواد غذایی می‌باشند (۳ و ۴). نتایج حاصل از مطالعات اخیر، استفاده از ترکیبات زیستی بر پایه‌ی گیاهان و ترکیبات مرکب^۱ را به عنوان بسته‌بندی مواد غذایی برای تمامی انواع محصولات پیشنهاد می‌دهد (۲).

پوشش‌های دوست‌دار محیط زیست اساساً از هیدروکلئیدها، لیپیدها و ترکیبات مرکب تشکیل شده‌اند. پوشش‌های هیدروکلئیدی شامل پروتئین‌ها، مشتقات سلولز، پکتین و دیگر پلی‌ساکاریدها (کربوهیدرات‌ها و صمغ‌ها)؛ پوشش‌های لیپیدی شامل واکس‌ها، آسیل گلیسرول‌ها و اسیدهای چرب و پوشش‌های حاوی ترکیبات مرکب عموماً حاوی هر دو ترکیبات هیدروکلئیدی و لیپیدی می‌باشند (۳ و ۵). فواید عمده فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی نسبت به پوشش‌های سنتتیک سنتی این است که آن‌ها می‌توانند به همراه ماده‌ی غذایی خورده شوند (۶). طی چند دهه‌ی گذشته انواعی از پلی‌ساکاریدها مورد بررسی قرار گرفتند و به عنوان ترکیبات جدید فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی معرفی شدند (۷). صمغ زانتان^۲ یک اگزوپلی‌ساکارید طبیعی با وزن مولکولی بالا می‌باشد که به عنوان یک پلیمر زیستی مهم شناخته شده است (۸). صمغ زانتان توسط *Zantamonas*

کمپستریس^۳ تحت شرایط نامطلوب ساخته می‌شود (۹). این صمغ دارای یک زنجیره‌ی سلولزی عمده با یک ساختار اولیه می‌باشد. این پلیمر زیستی در انواع غذاها به منظور کاربردهای مختلف از جمله استابیلایزر، امولسیفایر، غلظت دهنده، ترکیب ویسکوز کننده و ترکیب پایدار کننده در برابر حرارت استفاده می‌گردد (۱۰). همچنین می‌توان از این صمغ به عنوان پوشش خوراکی برای مواد غذایی به منظور افزایش مدت زمان ماندگاری آن‌ها استفاده نمود. اخیراً اثر پوشش صمغ زانتان بر برش‌های تازه گلابی (۸)، گلابی نیمه فرآیند شده، کدو تنبل (۱۱)، پاپایا (۱۲) و برش‌های تازه سیب (۱۳) بررسی شده است.

دانه‌ی کتان^۴ (لینوم/وسیتیشیموم^۵) یکی از قدیمی‌ترین دانه‌ها است که از نظر ظاهری سطح آن صاف و شکل آن بیضی بوده و متعلق به خانواده *Linaceae*^۶ می‌باشد. این دانه به طور موثر برای جلوگیری از بیماری‌هایی همچون فشار خون و سطوح بالای کلسترول به دلیل داشتن آلفالینولینیک اسید، لیگنان‌ها و پلی‌ساکاریدها (غیر از نشاسته) استفاده می‌گردد (۱۴). پوسته‌ی آن شامل چهار لایه می‌باشد که لایه‌ی خارجی آن حاوی فیبرهای محلول است. این فیبرهای محلول به عنوان موسیلاژ^۷ شناخته می‌شوند. زمانی که موسیلاژ در آب حل می‌شود یک لایه‌ی ژل مانند ایجاد می‌کند (۱۵). بنابراین این ترکیب برای تشکیل فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی مناسب می‌باشد (۱۶). پوشش موسیلاژ دانه‌ی کتان^۸ به منظور پوشش‌دهی چیس سب‌زمینی (۱۴) و برش‌های تازه خیار (۱۷) مورد بررسی قرار گرفته است. پنیر چدار^۹ یکی از مهم‌ترین انواع پنیر می‌باشد (۱۸). این پنیر نسبت به فساد شیمیایی و میکروبی در طول ذخیره‌سازی در دمای یخچال حساس می‌باشد. بنابراین استفاده از یک پوشش خوراکی مناسب می‌تواند سبب حل مشکل فساد و افزایش زمان ماندگاری این نوع پنیر گردد. لذا این مطالعه به منظور بررسی امکان استفاده از صمغ زانتان و موسیلاژ دانه‌ی کتان به عنوان پوشش‌های

6. *Linaceae*

7. Mucilage

8. Flaxseed Mucilage (FM)

9. Cheddar cheese

1. Composite

2. Xanthan Gum (XG)

3. *Xanthomonas Campestris*

4. Flaxseed

5. *Linum usitatissimum*

روش‌ها

آماده سازی محلول‌های پوشش

تهیه محلول پوشش حاصل از صمغ زانتان

برای پوشش‌دهی پنیر چدار از محلول ۰/۵ درصد صمغ زانتان استفاده شد (۱۹). مقدار ۰/۵g زانتان به آهستگی به ۱۰۰ml آب مقطر استریل در دمای ۵۰°C افزوده شد و با همزن مغناطیسی در این دما حل گردید. سپس ۰/۲۵g گلیسرول به‌عنوان نرم‌کننده به محلول فوق اضافه و کاملاً یکنواخت شد (۲۰).

استخراج موسیلاژ دانه‌ی کتان

ابتدا دانه‌های کتان تمیز شده و به نسبت معین با آب (نسبت آب به دانه برابر با ۱۴) با دمای ۸۵-۹۰°C و pH برابر ۵-۶/۷ مخلوط شدند و عمل استخراج به مدت ۳h در شرایط همزدن با مگنت ۲/۵cm بر روی هات‌پلیت مغناطیسی انجام شد. مخلوط از صافی با مش ۴۰ عبور داده شد و با افزودن اتانول ۹۶ درصد با نسبت ۳:۱ (۱ به ۳) رسوب داده شد. رسوبات سفید رنگ حاصل با سانتریفوژ در دور ۶۵۰۰rpm به مدت ۱۵min جداسازی گردید. در ادامه، رسوبات جداسازی شده در آون تحت خلاء با دمای ۳۹°C و فشار ۰/۶bar خشک شد و بعد از آسیاب نمودن، توسط الک (مش ۶۰) جداسازی گردید. در انتها صمغ به‌دست آمده در کیسه‌های پلی‌آمید بسته بندی شد (۱۵).

روش پوشش‌دهی پنیر چدار

نمونه‌های پنیر چدار به مکعب‌هایی با وزن ۵۰±۵g برش داده شدند و به‌منظور استریلیزاسیون به مدت ۱h تحت تابش اشعه UV قرار گرفتند. سپس به صورت مجزا با

خوراکی برای بسته‌بندی پنیر چدار در طول زمان رسیدن و مطالعه‌ی اثر این ترکیبات روی کیفیت کلی پنیر انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مواد و تجهیزات

پنیر چدار از شرکت لبنیات کاله (آمل، ایران) بصورت قالب‌های با وزن ۳kg تهیه گردید و به‌منظور پوشش‌دهی به مکعب‌هایی با وزن ۵±۰/۵g تقسیم شد. صمغ زانتان از شرکت سیگما (مونیک، آلمان)؛ دانه‌ی کتان از بازار محلی ارومیه (ایران) و موسیلاژ آن به‌روش طیب لقمانی و همکاران (۲۰۱۳) (۱۴) تهیه شد؛ همچنین پوشش تجاری پلی‌وینیل-استات از شرکت لبنیات کاله (آمل، ایران)؛ محلول گلیسرول ۸۷ درصد از شرکت پانریک (بارسلونا، اسپانیا)؛ محیط‌های کشت سودوموناس آگار^۱، PDA^۲، VRBA^۳ و PCA^۴ از شرکت مرک (آلمان) و کلیه‌ی مواد شیمیایی مورد استفاده از شرکت‌های مرک (آلمان)، سیگما (آلمان) و شارلو (اسپانیا) تهیه شدند.

تجهیزات مورد استفاده شامل انکوباتور Memmert ساخت کشور آلمان، اتوکلاو Gmbp ساخت کشور آلمان، آون (فور) تک آزما ساخت کشور ایران، آون تحت خلاء Fabrikstrasse 2.D-79312 ساخت کشور آلمان، آسیاب Moulinex AR110 ساخت کشور فرانسه، استومیکر Seward ساخت کشور انگلیس، pH متر مدل Metrohm-691 ساخت کشور سوئیس و دستگاه رثومتر فیزیکا مدل MCR 301 ساخت کشور اتریش بودند.

جدول ۱. میانگین ترکیبات شیمیایی پنیر چدار اولیه (در روز صفر)

| نمک (درصد) | FDM ^۱ (درصد) | پروتئین (درصد) | رطوبت (درصد) | اسیدیته (درصد) | pH |
|-------------|-------------------------|----------------|--------------|----------------|-------------|
| ۲/۰۰۰±۰/۲۵۸ | ۴۸/۰۴۰±۰/۷۵۱ | ۲۴/۰۰۰±۰/۶۵۴ | ۳۸/۶۰۰±۰/۴۶۶ | ۰/۲۳۰±۰/۰۴۷ | ۵/۲۵۰±۰/۰۲۱ |

^۱: چربی در ماده خشک

^۳: Violet Red Bile Agar

^۴: Plate Count Agar

^۱: Pseudomonas agar F

^۲: Potato Dextrose Agar

مخمر روی محیط کشت PDA تحت شرایط هوایی و دمای 25°C به مدت ۵ روز (۲۶-۲۹) انجام شد.

روش آزمون نوسانی پویا

به منظور ارزیابی ویژگی‌های رئولوژیکی، پارامترهای مدول ذخیره یا مدول الاستیک یا مدول برشی دینامیک (G')، مدول افت یا مدول ویسکوز (G'') و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) نمونه‌های پنیر چدار در انتهای دوره‌ی نگهداری (پس از ۹۰ روز نگهداری) بررسی شدند. در این روش نمونه‌ها حداقل از عمق یک سانتیمتری از قالب‌های پنیر در دمای $6-8^{\circ}\text{C}$ بریده شدند و سپس به سرعت به ظروف غیرقابل نفوذ به هوا منتقل و به مدت حداقل ۴h در دمای اتاق نگهداری شدند. رئومتری دستگاه از نوع صفحات موازی با قطر ۲۵mm بود که در فاصله ۱mm آن‌ها نمونه‌ها جای گذاری شدند. سپس به مدت ۱۵-۲۰min زمان داده شد تا اثر تنش‌های وارده بر آن‌ها از بین برود. اندازه‌گیری‌ها در دامنه‌ی ویسکوالاستیک خطی (دامنه کرنش ۰/۰۱ تا ۲/۵۸ درصد) و در بسامد ۱۰Hz انجام و سپس پارامترهای مدول ذخیره (G')، مدول افت (G'') و ویسکوزیته کمپلکس (η^*) اندازه‌گیری شدند (۳۰).

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری درصد افت وزن

پنیرها به صورت جداگانه در ابتدای زمان نگهداری و در طی دوره نگهداری توزین شدند و درصد کاهش وزن نمونه‌ها محاسبه شد (۲۷).

تعیین pH

مقدار ۵g نمونه‌ی پنیر در داخل بشر با ۲۵ml آب مقطر همگن گردید و توسط pH متر که قبلاً با بافر ۴ و ۷ کالیبره شده بود، pH نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۳۱).

اندازه‌گیری اسیدینه

مقدار ۸g از نمونه‌ی پنیر همگن شده به بالن ژوژه‌ی ۱۰۰ml منتقل شد و با آب مقطر به حجم رسانیده شد. محلول

محلول‌های پوشش به صورت سه‌لایه با استفاده از برس نرم به آرامی و در شرایط یکسان پوشش داده شدند. بدین منظور اولین لایه از محلول‌های پوشش دهنده روی سطح نمونه‌های پنیر برس زده شد و به مدت ۱h خشک شدند. سپس دومین لایه نیز مطابق مرحله‌ی قبل برس زنی و خشک شد. در نهایت لایه‌ی سوم نیز برس زده شد و پنیرها به مدت ۴h در دمای 24°C و رطوبت نسبی ۵۰ درصد خشک شدند (۲۲). کلیه‌ی تیمارها در ۳ تکرار تهیه گردیدند که عبارت بودند از: C (شاهد، پنیر چدار پوشش‌دهی با محلول پلی‌وینیل استات)، XG (پنیر چدار پوشش‌دهی شده با محلول صمغ زانتان در غلظت ۰/۵ درصد) و FM1، FM2، FM3 (به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با محلول موسیلاژ دانه‌ی کتان در غلظت‌های ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد). سپس نمونه‌های پوشش داده شده به مدت ۹۰ روز در دمای $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ نگهداری شدند و در طول رسیدن در روزهای ۱، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ مورد آزمایش قرار گرفتند.

روش شمارش میکروبی

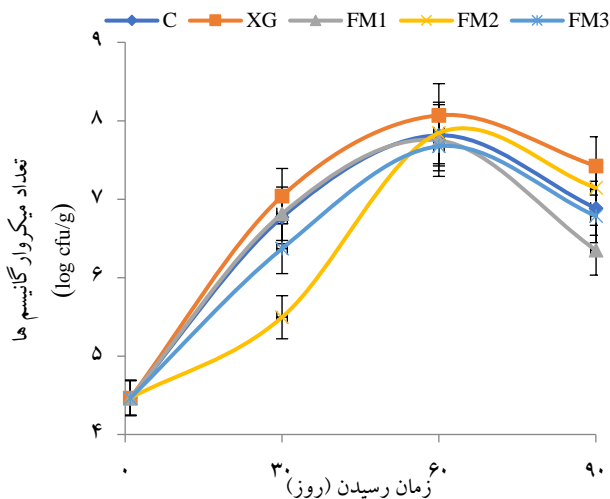
آزمون میکروبی نمونه‌های پنیر به منظور ارزیابی حضور سلول‌های زنده در روزهای ۱، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ بعد از پوشش‌دهی انجام شد. ۱۰g از هر نمونه در داخل کیسه‌های استریل استومیگر شرکت Seward (لندن، انگلستان) قرار گرفت. نمونه‌ها با نسبت ۱:۱۰w/v (۱ به ۱۰) در تری‌سدیم سترات استریل (۲g/۱۰۰ml) رقیق شدند و به طور کامل به مدت ۲min با استفاده از استومیگر هموژن شدند. سری رقت‌ها با افزایش ۱ml از هر رقت به ۹ml آب پیتون ۰/۱w/v درصد شرکت سیگما (آلمان) استریل تهیه شد. شمارش کلی باکتری‌های هوایی مزوفیل (TMAB)^۱ روی محیط کشت PCA تحت شرایط هوایی و دمای 30°C به مدت ۷۲h (۲۳)، سودوموناس^۲ روی محیط کشت سودوموناس آگار F تحت شرایط هوایی و دمای 37°C به مدت ۴۸h (۲۳)، کلی‌فرم^۳ (انتروباکتریاسه)^۴ روی محیط کشت VRBA تحت شرایط هوایی و دمای 37°C به مدت ۲۴h (۲۴ و ۲۵) و کپک و

³. Coliform

⁴. Enterobacteriaceae

¹. Total Mesophilic Aerobic Bacteria

². Pseudomonas



شکل ۱. اثر متقابل نوع پوشش و زمان نگهداری بر تغییرات شمارش کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل در نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری.

C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کنان ۰/۷۵ و ۱/۲۵ درصد.

تعداد باکتری‌های سودوموناس در پنیر چدار نشان می‌دهد. طبق نتایج، تعداد باکتری‌های سودوموناس در انتهای زمان رسیدن نسبت به ابتدای این دوره در نمونه‌های پنیر به غیر از پنیر FM1 افزایش (حدود ۳ سیکل لگاریتمی) یافت ($p < 0/01$). در این خصوص، در تمامی نمونه‌ها افزایش چشمگیری در تعداد باکتری‌های سودوموناس در ۶۰ روز نخست دوره‌ی رسیدن مشاهده شد. در ادامه، تعداد این باکتری‌ها تا روز ۹۰ کاهش یافت و در نهایت در تمامی نمونه‌ها غیر از پنیر FM1 به سطوح بالاتری نسبت به روز ۱ رسید.

شمارش باکتری‌های کلی فرم

طبق شکل ۳، تعداد باکتری‌های کلی فرم در روز ۱ در تمامی نمونه‌های پنیر چدار برابر با $1/62 \log \text{cfu/g}$ بود. ییلماز و دگدمیر^۱ (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که تعداد باکتری‌های کلی فرم در پنیر یک روزه بسته‌بندی شده در شرایط خلاء برابر با $1/15 \log \text{cfu/g}$ بود (۳۲). آی دمیر^۲ (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را در خصوص پنیر کاشار یک روزه گزارش کرد

از کاغذ صافی واتمن شماره یک صاف شد. ۱۰ ml از محلول صاف‌شده در حضور معرف فنل‌فالتین با سود ۰/۱N تیترو گردید. اسیدیته بر حسب اسیدلاکتیک محاسبه شد (۳۱).

ارزیابی ویژگی‌های حسی

خواص حسی نمونه‌های پنیر از جمله رنگ، بافت، برش‌پذیری و عطر و طعم توسط ۱۵ داور از اعضای هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی به روش هدونیک ۵ نقطه‌ای (امتیاز ۵ برای کیفیت مطلوب و امتیاز ۱ برای کیفیت نامطلوب) تعیین شد. داوران برای شستشوی دهان خود بین نمونه‌ها از آب استفاده کردند. فرم‌های تکمیل شده شامل ارزیابی کلی مصرف‌کننده به صورت یک ارزش عددی درآورده شد و تجزیه واریانس گردید (۳۲).

طرح آماری

طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. نتایج با استفاده از نرم افزار Minitab 16 تجزیه و تحلیل آماری شد و مقایسات میانگین با آزمون LSD انجام گرفت. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج

شمارش کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل

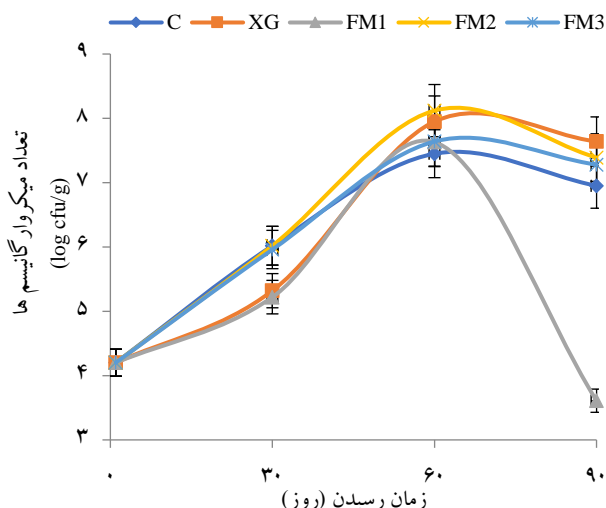
در شکل ۱ تأثیر متقابل نوع پوشش بکار رفته و زمان نگهداری (۹۰ روز) بر شمارش کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل در پنیر چدار نشان داده شده است. جمعیت این باکتری‌ها در روز ۹۰ رسیدن نسبت به روز ۱ افزایش داشت ($p < 0/01$). در انتهای زمان رسیدن، بیشترین جمعیت کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل در پنیر XG ($7/42 \log \text{cfu/g}$) و کمترین جمعیت در پنیر FM1 ($6/35 \log \text{cfu/g}$) مشاهده شد ($p < 0/01$).

شمارش باکتری‌های سودوموناس

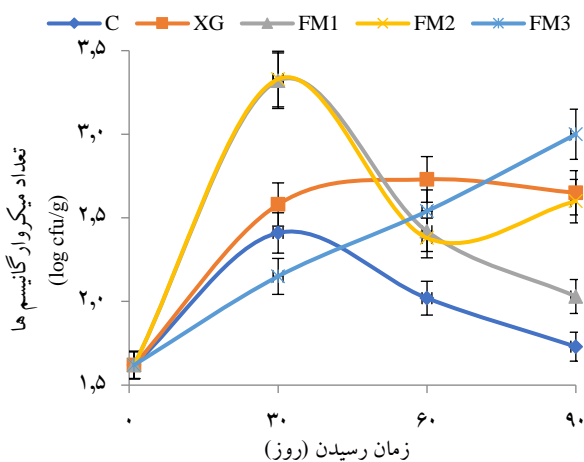
شکل ۲ تأثیر متقابل نوع پوشش و زمان رسیدن را روی

². Aydemir

¹. Yilmaz and Dagdemir



شکل ۲. اثر متقابل نوع پوشش و زمان نگهداری بر تغییرات تعداد باکتری‌های سودوموناس در نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری. C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.



شکل ۳. اثر متقابل نوع پوشش و زمان نگهداری بر تغییرات تعداد باکتری‌های کلی‌فرم در نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری. C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.

نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری حاکی از عدم رشد کپک در تمامی نمونه‌های پنیر بود. بنابراین، مطابق با نتایج حاصل، تعداد کپک در همه‌ی پنیرها در تمامی زمان‌های دوره‌ی رسیدن برابر با صفر بود. لذا شکل ۴،

(۴۹). طی دوره‌ی رسیدن پنیر، تغییرات بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی زیادی رخ می‌دهند که می‌توانند باعث تغییر خصوصیات کیفی پنیر شوند. در فرآیند تولید محصولات لبنی، عوامل محیطی مختلفی مانند شرایط آماده‌سازی اولیه، فرمولاسیون، فرآوری، بسته‌بندی، انبارداری، دمای نگهداری و توزیع و همچنین عوامل درونی محصول مانند میزان رطوبت و pH می‌توانند نوع و میزان فساد این محصولات را توسط طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها تعیین کنند. علاوه بر این، پنیرهایی که در طی فرآیند تولید، شستشو می‌شوند، بسیار مستعد آلودگی به پاتوژن‌های مختلف به‌ویژه کلی‌فرم‌ها هستند (۵۰-۵۲). حضور اولیه‌ی کلی‌فرم‌ها در پنیر، عمدتاً به دلیل آلوده شدن ثانویه شیر بعد از عملیات پاستوریزاسیون است که ناشی از عدم رعایت موازین بهداشتی در طول فرآوری پنیر می‌باشد (۵۳ و ۵۴).

موآتسوا^۱ و همکاران^۱ (۲۰۱۵) نیز حضور ابتدایی باکتری‌های کلی‌فرم در پنیر را به ضعف احتمالی فرآیندهای حرارتی^۲ اعمال‌شده بر روی شیر پنیر سازی نسبت دادند (۳۱). تعداد باکتری‌های کلی‌فرم در انتهای زمان نگهداری نسبت به روز ۱ در تمامی پنیرها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($P < 0.01$). طی دوره‌ی رسیدن، ماتریکس پنیر شرایط لازم را به منظور رشد باکتری‌های کلی‌فرم فراهم کرده است. در روز ۹۰، پنیرهای FM3 و C به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد باکتری‌های کلی‌فرم را به خود اختصاص دادند ($P > 0.01$). با توجه به این که باکتری‌های کلی‌فرم برای رشد بهینه نیاز به شرایط هوازی دارند، لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که نمونه FM3 علی‌رغم غلظت زیاد موسیلاژ دانه‌ی کتان، احتمالاً نسبت به اکسیژن نفوذپذیرتر بوده و شرایط بهینه را برای رشد باکتری‌های کلی‌فرم فراهم کرده است. باکتری‌های کلی‌فرم، بی‌هوازی اختیاری، گرم منفی و میله‌ای شکل بوده و توانایی تخمیر لاکتوز و تولید اسید و گاز را دارند (۵۴).

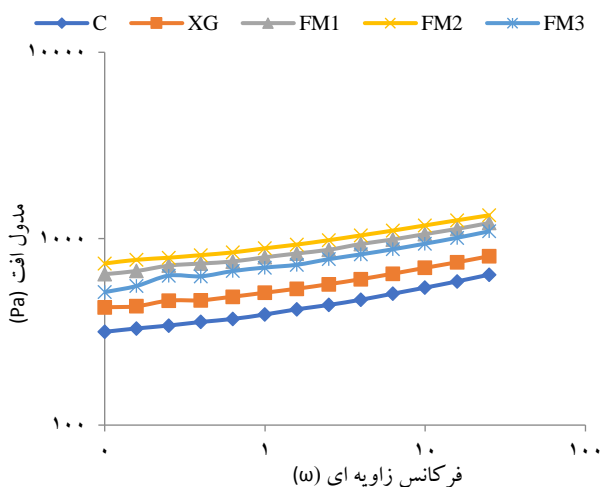
شمارش کپک و مخمر

نتایج حاصل از شمارش میکروبی کپک و مخمر

2. Thermal processing

1. Moatsou et al.

افزایش یافت و به $7/76 \log \text{cfu/g}$ رسید ($p < 0/01$). این افزایش تا روز ۶۰ بطور پیوسته ادامه یافت و با وجود کاهش



شکل ۶. تغییرات G' در فرکانس‌های مختلف برای تمامی نمونه‌های پنیر چدار پوشش‌دار در انتهای دوره‌ی نگهداری.

C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل‌استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2، FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.

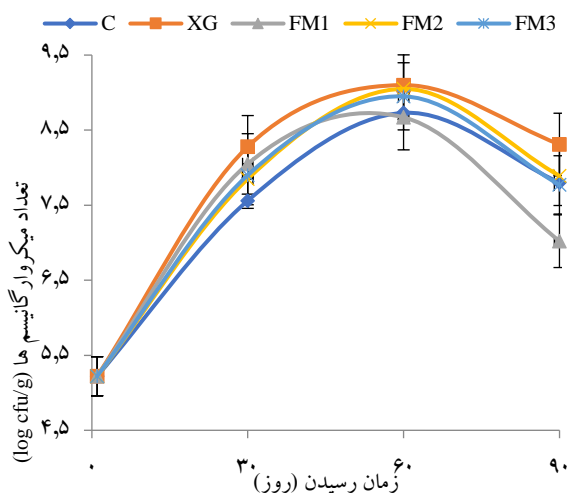
جزئی از روز ۶۰ به بعد، تعداد مخمرها در روز ۹۰ نسبت به روز ۱ حدود ۲/۵ سیکل لگاریتمی افزایش نشان داد ($p < 0/01$). همچنین نوع پوشش و زمان نگهداری بر رشد مخمرها تأثیر متقابل معنی‌داری داشتند ($p < 0/01$)، به‌طوری‌که در روز ۹۰ بیشترین تعداد مخمر در نمونه XG ($8/31 \log \text{cfu/g}$) و کمترین تعداد آن در نمونه FM1 ($7/02 \log \text{cfu/g}$) مشاهده شد ($p < 0/01$).

آزمون نوسانی پویا

مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G')

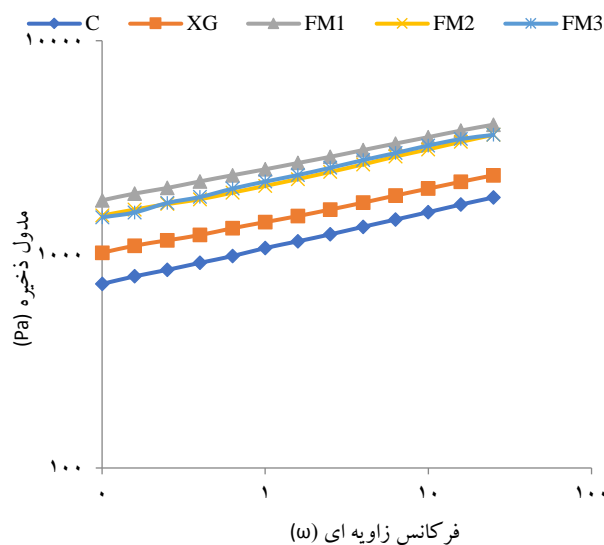
مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G') در واقع مقدار انرژی ذخیره شده در مواد یا انرژی قابل بازیافت در هر سیکل تغییر شکل بوده و در واقع قدرت شبکه را نشان می‌دهد و واحد آن پاسکال (Pa) است (۴۰ و ۴۱).

شکل ۵ تغییرات G' را در فرکانس‌های مختلف برای پنیرهای چدار پوشش‌دهی شده نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل، میزان G' با افزایش فرکانس در تمامی نمونه‌های پنیر چدار افزایش یافت و در هر فرکانسی در پنیرهای پوشش‌دهی



شکل ۴. اثر متقابل نوع پوشش و زمان نگهداری بر تغییرات تعداد مخمر در نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری.

C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل‌استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2، FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.



شکل ۵. تغییرات G' در فرکانس‌های مختلف برای تمامی نمونه‌های پنیر چدار پوشش‌دار در انتهای دوره‌ی نگهداری.

C: کنترل، پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پلی‌وینیل‌استات؛ XG: پنیر چدار پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2، FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.

نتایج حاصل از شمارش مخمر در نمونه‌های پنیر چدار را طی زمان نگهداری نشان می‌دهد. مطابق با نتایج، تعداد مخمر در تمامی پنیرها در روز ۱ برابر با $5/22 \log \text{cfu/g}$ بود که در طی ۹۰ روز نگهداری در همه‌ی نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری

ویسکوزیته کمپلکس (η^*) مقاومت در برابر جریان نمونه در حالت ساختاری (جریان ویسکوز یا الاستیک) می باشد که در برابر حرکات نوسانی مقاومت می کند (۴۱). همچنین ویسکوزیته کمپلکس معیاری از سختی کل بوده و واحد آن پاسکال در ثانیه (Pa.s) می باشد.

شکل ۷ تغییرات η^* را در فرکانسهای مختلف برای تمامی نمونه های پنیر چدار پوشش دار نشان می دهد. مطابق با نتایج، میزان ویسکوزیته کمپلکس (η^*) در تمامی نمونه ها با افزایش فرکانس، کاهش یافت. بیشترین میزان η^* در هر فرکانسی مربوط به پنیر FM1 و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه کنترل بود.

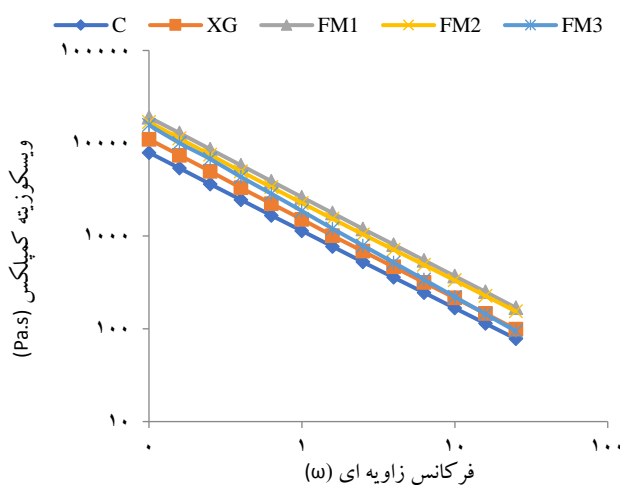
تغییرات درصد افت وزنی

در جدول ۲، تاثیر نوع پوشش و زمان نگهداری بر درصد افت وزنی نمونه های پنیر چدار نشان داده شده است. در این خصوص، درصد افت وزنی نمونه ها طی ۹۰ روز نگهداری به طور معنی دار افزایش یافت ($p < 0.01$). در روز ۶۰، میزان افت وزنی به ویژه در نمونه های پوشش دهی شده با موسیلاژ دانه کتان نسبت به روز ۳۰ افزایش چشمگیری داشت. همچنین نوع پوشش و زمان نگهداری اثر متقابل معنی داری بر درصد افت وزنی نمونه های پنیر چدار داشتند ($p < 0.05$). علاوه بر این، نوع پوشش به کار رفته نیز اثر معنی داری بر درصد افت وزنی پنیرها داشت ($p < 0.01$). بر این اساس در انتهای دوره رسیدن بیشترین درصد افت وزنی در نمونه FM3 و کمترین درصد آن در نمونه کنترل (C) مشاهده شد ($p < 0.05$).

تغییرات میزان pH و اسیدیته

در جدول ۳، اثر نوع پوشش و زمان نگهداری بر میزان pH و اسیدیته نمونه های پنیر چدار نشان داده شده است. میزان pH نمونه های پنیر چدار در روز ۹۰ نسبت به روز ۱ به طور معنی داری افزایش یافت ($p < 0.01$)، به طوری که این مقدار برای تمامی نمونه ها (به جز FM3) تا روز ۳۰ افزایش و بعد از آن تا روز ۹۰ به تدریج کاهش یافت که در نهایت مقادیر بیشتری را در روز ۹۰ نسبت به روز ۱ نشان داد ($p < 0.01$). در

شده با صمغ خوراکی موسیلاژ دانه کتان بیشترین مقدار بود، به طوری که به ترتیب نمونه های FM1، FM2 و FM3 با کمی



شکل ۷. تغییرات η^* در فرکانسهای مختلف برای تمامی نمونه های پنیر چدار پوشش دار در انتهای دوره ی نگهداری.

C: کنترل، پنیر چدار پوشش دهی شده با پلی وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد.

اختلاف بیشترین میزان G' را به خود اختصاص دادند.

مدول افت یا مدول ویسکوز (G'')

مدول ویسکوز یا مدول افت (G'') انرژی که در هر سیکل تغییر شکل از دست می رود و یا انرژی پخش شده را در طی هر سیکل آزمون بیان کرده و خواص جریانی نمونه در حالت ساختاری را نشان می دهد و واحد آن پاسکال (Pa) است (۴۰ و ۴۱).

شکل ۶ تغییرات G'' را در فرکانسهای مختلف برای پنیرهای چدار پوشش دهی شده نشان می دهد. مطابق با این شکل، مقدار G'' با افزایش فرکانس برای تمامی پنیرهای چدار افزایش یافت. همچنین در تمامی فرکانسها، پنیر FM2 بیشترین و نمونه کنترل کمترین میزان G'' را نشان دادند. مطابق با شکل های ۵ و ۶، میزان G'' در هر فرکانسی بیشتر از G' بود.

ویسکوزیته کمپلکس (η^*)

نمونه‌ی FM3 این مقدار از روز ۱ تا روز ۳۰ ثابت ماند. نگهداری اثر معنی‌داری داشت ($p < 0.01$). در این راستا میزان همچنین نوع پوشش بر میزان pH نمونه‌های پنیر طی زمان

جدول ۲. اثر نوع پوشش بر درصد افت وزنی نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری

| نوع آزمون | نمونه پنیر | زمان رسیدن (روز) | | |
|-----------------------------|------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | | ۹۰ | ۶۰ | ۳۰ |
| افت وزنی (درصد) SEM=۰/۵۵ | C | ۱۵/۶۷ ^c | ۱۲/۶۳ ^e | ۹/۱۰ ^g |
| | XG | ۱۶/۹۳ ^b | ۱۲/۸۸ ^e | ۹/۵۸ ^{fg} |
| | FM1 | ۱۷/۷۴ ^b | ۱۴/۳۱ ^d | ۹/۰۹ ^g |
| | FM2 | ۱۷/۱۹ ^b | ۱۵/۳۸ ^{cd} | ۱۰/۴۷ ^f |
| | FM3 | ۱۹/۵۹ ^a | ۱۶/۵۸ ^{bc} | ۱۰/۵۶ ^{ef} |

C: کنترل، پنیر چدار پوشش دهی شده با پلی‌وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد. اعداد حداقل با یک حرف مشابه از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند (آزمون LSD در سطح آماری ۱ درصد). SEM: استاندارد خطای میانگین‌ها

جدول ۳. تأثیر نوع پوشش بر pH و اسیدیته نمونه‌های پنیر چدار طی ۹۰ روز نگهداری

| نوع آزمون | نمونه پنیر | زمان رسیدن (روز) | | | |
|----------------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| | | ۹۰ | ۶۰ | ۳۰ | ۱ |
| pH SEM=۰/۰۲ | C | ۵/۲۱ ^c | ۵/۴۸ ^b | ۵/۵۰ ^b | ۵/۲۵ ^c |
| | XG | ۵/۳۰ ^c | ۵/۴۱ ^b | ۵/۵۰ ^b | ۵/۲۵ ^c |
| | FM1 | ۵/۴۳ ^{bc} | ۵/۵۶ ^{ab} | ۵/۶۵ ^a | ۵/۲۵ ^c |
| | FM2 | ۵/۳۱ ^c | ۵/۴۸ ^b | ۵/۵۰ ^b | ۵/۲۵ ^c |
| | FM3 | ۵/۳۱ ^c | ۵/۴۵ ^b | ۵/۵۲ ^b | ۵/۲۵ ^c |
| اسیدیته (درصد) SEM=۰/۰۴ | C | ۱/۳۰ ^b | ۰/۹۷ ^c | ۰/۴۶ ^g | ۰/۲۳ ^h |
| | XG | ۱/۵۰ ^a | ۱/۰۱ ^{de} | ۰/۶۸ ^f | ۰/۲۳ ^h |
| | FM1 | ۱/۰۵ ^d | ۰/۸۶ ^{ef} | ۰/۴۵ ^g | ۰/۲۳ ^h |
| | FM2 | ۱/۲۱ ^b | ۱/۱۲ ^c | ۰/۷۸ ^f | ۰/۲۳ ^h |
| | FM3 | ۱/۲۸ ^b | ۰/۹۹ ^e | ۰/۵۹ ^g | ۰/۲۳ ^h |

C: کنترل، پنیر چدار پوشش دهی شده با پلی‌وینیل استات؛ XG: پنیر چدار پوشش دهی شده با صمغ زانتان ۰/۵ درصد؛ FM1، FM2 و FM3: به ترتیب پنیر چدار پوشش دهی شده با موسیلاژ دانه کتان ۰/۷۵، ۱ و ۱/۲۵ درصد. اعداد حداقل با یک حرف مشابه از لحاظ آماری معنی‌دار نیستند (آزمون LSD در سطح آماری ۱ درصد). SEM: استاندارد خطای میانگین‌ها

نگهداری تأثیر معنی‌داری بر اسیدیته پنیرها داشتند ($p < 0.01$)، به‌طوریکه در روز ۹۰، بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراژ در پنیر XG (۱/۵۰ درصد) مشاهده شد ($p < 0.01$).

بحث

شمارش میکروبی

شمارش کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل

بود. بر این اساس میزان pH در روز ۹۰ در نمونه FM1 (۵/۴۲۵) بیشترین مقدار و در نمونه کنترل (۵/۲۱۰) کمترین مقدار بود ($p < 0.01$). درصد اسیدیته قابل تیتراژ نیز در تمامی نمونه‌های پنیر چدار در طی دوره نگهداری به‌طور معنی‌دار افزایش یافت ($p < 0.01$). همچنین نوع پوشش و زمان

جدول ۴. تأثیر پوشش‌های مختلف بر امتیاز ویژگی‌های حسی نمونه‌های پنیر چدار در انتهای دوره‌ی نگهداری

| عطر و طعم | فاکتورهای حسی | | | نمونه پنیر |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
| | بافت | برش پذیری | رنگ | |
| ۳/۰۰ ± ۱/۰۰ ^a | ۳/۳۳ ± ۱/۰۰ ^a | ۳/۴۴ ± ۰/۷۲ ^a | ۳/۴۴ ± ۰/۵۲ ^a | C |
| ۳/۴۴ ± ۱/۰۱ ^a | ۳/۴۴ ± ۰/۸۸ ^a | ۳/۶۶ ± ۱/۰۰ ^a | ۳/۷۷ ± ۰/۸۳ ^a | XG |
| ۳/۱۱ ± ۱/۲۶ ^a | ۳/۰۰ ± ۱/۵۸ ^a | ۲/۸۸ ± ۱/۴۵ ^a | ۴/۰۰ ± ۰/۷۰ ^a | FM1 |
| ۳/۴۴ ± ۱/۱۳ ^a | ۳/۱۱ ± ۱/۰۵ ^a | ۳/۱۱ ± ۱/۰۵ ^a | ۳/۵۵ ± ۰/۸۸ ^a | FM2 |
| ۲/۸۸ ± ۰/۷۸ ^a | ۳/۰۰ ± ۰/۷۰ ^a | ۳/۳۳ ± ۰/۸۶ ^a | ۳/۲۲ ± ۱/۲۰ ^a | FM3 |

درصد در برابر اکسیژن نسبت داد ($p < 0/01$). دی پیرو و همکاران^۵ (۲۰۱۱) گزارش کردند که تعداد TMAB در پنیر ریکوتای^۶ پوشش‌دهی شده با پوشش خوراکی کیتوزان/پروتئین آب پنیر نسبت به پنیر کنترل کمتر بود (۴۴). طبق اعلام سرکوئرا و همکاران (۲۰۱۰)، تعداد TMAB طی دوره‌ی نگهداری در پنیر پوشش‌دهی شده با گالاکتومانان به میزان کمتری افزایش یافت که علت آن نفوذپذیری کم این پوشش نسبت به گازها و کاهش نرخ انتقال اکسیژن به ماتریکس پنیر اعلام شد که منجر به خارج کردن اکسیژن از دسترس باکتری‌های TMAB شده بود (۴۳). نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققان بر روی انواع پنیرها از جمله پنیر موزارلا (۴۵)، پنیر سفید ترکیه‌ای (۴۶) و پنیر چدار (۴۷) نیز تأیید کننده این مطلب می‌باشد.

شمارش باکتری‌های سودوموناس

طبق شکل ۲، جمعیت باکتری‌های سودوموناس در انتهای دوره‌ی رسیدن نسبت به ابتدای این دوره در تمامی نمونه‌ها غیر از پنیر FM1 افزایش (حدود ۳ سیکل لگاریتمی) و در نمونه FM1 کاهش (حدود ۰/۶ سیکل لگاریتمی) یافت ($p < 0.01$). تغییرات به گونه‌ای بود که از ابتدای دوره تا روز ۶۰ رسیدن، تعداد باکتری‌ها در تمامی نمونه‌ها به‌طور پیوسته افزایش و در ۳۰ روز پایانی رو به کاهش گذاشت، به‌طوری‌که این کاهش در پنیر FM1 به میزان بیشتری رخ داد و جمعیت باکتری‌ها در این نمونه از $4/2 \log \text{cfu/g}$ در روز اول به $3/6 \log \text{cfu/g}$ در روز ۹۰ رسید. لوسرا و همکاران (۲۰۱۴) نیز

تعداد TMAB در تمامی نمونه‌های پنیر طی زمان رسیدن افزایش یافت ($p < 0/01$) (شکل ۱). لوسرا و همکاران^۱ (۲۰۱۴) نیز عنوان کردند تعداد کل باکتری‌های هوازی مزوفیل طی زمان رسیدن در پنیر موزارلا^۲ پوشش‌دهی شده با پوشش خوراکی ارتقاء یافت (۴۲). علاوه بر این، با وجود افزایش کلی تعداد این باکتری‌ها طی دوره‌ی نگهداری، تعداد آن‌ها در ۳۰ روز پایانی نسبت به روز ۶۰ کاهش یافت ($p < 0/01$). طبق اعلام سرکوئرا و همکاران^۳ (۲۰۱۰)، تعداد TMAB در پنیر رگیونال^۴ پوشش‌دهی شده با پوشش خوراکی گالاکتومانان، تا اواسط دوره‌ی رسیدن افزایش و سپس تا انتهای دوره کاهش یافت که مطابق با نتایج به‌دست آمده در این مطالعه می‌باشد (۴۳). با توجه نظر این محققین، افزایش جمعیت TMAB تا روز ۶۰ می‌تواند به دلیل حضور اکسیژن محبوس در داخل بافت پنیر پوشش‌دهی شده باشد که رشد TMAB را در پنیرها ارتقاء داده و بعد از ۶۰ روز نگهداری به دلیل مصرف اکسیژن و در نتیجه کاهش سطوح آن در ماتریکس پنیر و همچنین نفوذ ناپذیری نسبی پوشش نمونه‌های پنیر نسبت به گازها، منجر به کاهش نرخ انتقال اکسیژن به ماتریکس پنیر و در نهایت کاهش اکسیژن در دسترس باکتری‌های هوازی مزوفیل شده که کاهش تعداد آن‌ها را به همراه داشته است (۴۳).

پائین بودن جمعیت TMAB را در پنیر FM1 در انتهای دوره‌ی نگهداری می‌توان به میزان ممانعت و نفوذناپذیری بیشتر پوشش خوراکی موسیلاژ دانه‌ی کتان در غلظت ۰/۷۵

4. Regional cheese

5. Di Piero et al.

6. Ricotta cheese

1. Lucera et al.

2. Mozzarella cheese

3. Cerqueira et al.

شمارش باکتری‌های کلی فرم

طبق شکل ۳، تعداد باکتری‌های کلی فرم در روز ۱ در تمامی نمونه‌های پنیر چدار برابر با $1/62 \log \text{cfu/g}$ بود. ییلماز و دگدمیر^۴ (۲۰۱۲) نیز نشان دادند که تعداد باکتری‌های کلی فرم در پنیر یک روزه بسته‌بندی‌شده در شرایط خلاء برابر با $1/15 \log \text{cfu/g}$ بود (۳۲). آی دمیر^۵ (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را در خصوص پنیر کاشار یک روزه گزارش کرد (۴۹). طی دوره‌ی رسیدن پنیر، تغییرات بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی زیادی رخ می‌دهند که می‌توانند باعث تغییر خصوصیات کیفی پنیر شوند. در فرآیند تولید محصولات لبنی، عوامل محیطی مختلفی مانند شرایط آماده سازی اولیه، رابطهاسیون، فرآوری، بسته بندی، انبارداری، دمای نگهداری و توزیع و همچنین عوامل درونی محصول مانند میزان رطوبت و pH می‌توانند نوع و میزان فساد این محصولات را توسط طیف گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها تعیین کنند. علاوه بر این، پنیرهایی که در طی فرآیند تولید، شستشو می‌شوند، بسیار مستعد آلودگی به پاتوژن‌های مختلف به‌ویژه کلی-فرم‌ها هستند (۵۰-۵۲). حضور اولیه‌ی کلی فرم‌ها در پنیر، عمدتاً به دلیل آلوده شدن ثانویه شیر بعد از عملیات پاستوریزاسیون است که ناشی از عدم رعایت موازین بهداشتی در طول فرآوری پنیر می‌باشد (۵۳ و ۵۴).

موآتسوا و همکاران^۶ (۲۰۱۵) نیز حضور ابتدایی باکتری‌های کلی فرم در پنیر را به ضعف احتمالی فرآیندهای حرارتی^۷ اعمال شده بر روی شیر پنیر سازی نسبت دادند (۳۱). تعداد باکتری‌های کلی فرم در انتهای زمان نگهداری نسبت به روز ۱ در تمامی پنیرها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0/01$). طی دوره‌ی رسیدن، ماتریکس پنیر شرایط لازم را به منظور رشد باکتری‌های کلی فرم فراهم کرده است. در روز ۹۰، پنیرهای FM3 و C به ترتیب بیشترین و کمترین تعداد باکتری‌های کلی فرم را به خود اختصاص دادند ($p < 0/01$). با توجه به این که باکتری‌های کلی فرم برای رشد بهینه نیاز به

گزارش کردند که تعداد باکتری‌های سودوموناس در پنیر موزارلا پوشش‌دهی شده با پوشش خوراکی در نیمه اول دوره‌ی نگهداری افزایش و در ادامه به مقدار ثابتی رسید، سپس جمعیت آن‌ها در پایان زمان نگهداری نسبت به روز اول افزایش پیدا کرده بود (۴۲). افزایش جمعیت باکتری‌های سودوموناس تا روز ۶۰ می‌تواند به دلیل حضور اکسیژن محبوس در ماتریکس پنیر باشد که در دسترس این باکتری‌ها قرار گرفته و موجب ارتقاء جمعیت آن‌ها شده است و کاهش تعداد آن‌ها در ۳۰ روز پایانی می‌تواند حاکی از کاهش سطوح اکسیژن باقی مانده در ماتریکس پنیر باشد. همچنین کاهش بیشتر تعداد باکتری‌های سودوموناس در پنیر FMI شاید به دلیل عملکرد بهتر این پوشش در نفوذناپذیری به گازها و جلوگیری از انتقال اکسیژن به ماتریکس پنیر باشد که در نتیجه اکسیژن را از دسترس باکتری‌های سودوموناس خارج کرده و منجر به کاهش جمعیت این باکتری‌ها شده است.

راموس و همکاران^۱ (۲۰۱۶) و ال سی سی و همکاران^۲ (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را در پنیر راس^۳ گزارش کردند (۷ و ۴۸). این محققان نشان دادند که جمعیت میکروبی در پنیر راس پوشش‌دهی شده با کیتوزان طی زمان نگهداری کاهش یافت. آن‌ها این تغییرات را به کاهش غلظت اکسیژن در ماتریکس پنیر به دلیل اثر ممانعت‌کنندگی پوشش کیتوزان در مقابل نفوذ اکسیژن به بافت پنیر نسبت دادند. بیشترین جمعیت باکتری‌های سودوموناس در انتهای دوره‌ی رسیدن در پنیر XG مشاهده شد، به‌طوری‌که تعداد باکتری‌ها در این نمونه از $4/2 \log \text{cfu/g}$ در روز ۱ به $7/64 \log \text{cfu/g}$ در روز ۹۰ رسید (حدود ۳/۵ سیکل لگاریتمی افزایش یافت) ($p < 0/01$) که می‌تواند حاکی از نفوذ ناپذیری کمتر این پوشش در برابر گاز اکسیژن باشد که در ۳۰ روز پایانی، تاثیر ممانعت‌کنندگی کمتری نسبت به سایر پوشش‌ها بر رشد باکتری‌های سودوموناس داشته است.

5. Aydemir

6. Moatsou et al.

7. Thermal processing

1. Ramos et al.

2. EL-sisi et al.

3. Ras cheese

4. Yilmaz and Dagdemir

(۲۰۱۱) بود (۵۵). آن‌ها نشان دادند که با توجه به ساختار ویسکوالاستیک پنیر، میزان G' و G'' با افزایش فرکانس افزایش می‌یابد. میزان G' در هر فرکانسی در پنیرهای پوشش‌دهی شده با موسیلاژ دانه کتان بیشترین مقدار بود، به طوری که پنیرهای FM1، FM2 و FM3 با اختلاف کمی به ترتیب بیشترین میزان G' را نشان دادند. پرنیتایس^۵ (۱۹۷۲) توضیح داد که آب در پنیر هم به صورت آزاد و هم به صورت باند شده با پروتئین، چربی و دیگر ترکیبات عمده که هیدروفیلیک می‌باشند حضور دارد (۵۶). کاهش رطوبت، ماتریکس کازئین در پنیر را تغییر داده و در نتیجه ساختار پنیر سفت‌تر می‌شود. آب به‌عنوان نرم‌کننده^۶ بین پروتئین عمل می‌کند و بنابراین رطوبت پائین پنیر، سختی آن را افزایش می‌دهد. لذا بالا بودن میزان G' در پنیر FM1 با درصد زیاد افت وزن این نمونه که حاکی از کاهش زیاد رطوبت و خاصیت هیدروفیل کم آن است مرتبط می‌باشد. نمونه FM3 کمترین درصد رطوبت و بیشترین درصد افت وزن را در روز ۹۰ نشان داد که می‌تواند منجر به سفتی این نمونه و افزایش میزان G' آن شده باشد. بعد از نمونه FM3، نتایج مشابهی در پنیر FM2 مشاهده شد. با توجه به گزارش مارتین گونزالز و همکاران^۷ (۲۰۰۷)، بالا بودن میزان G' می‌تواند به میزان زیاد پروتئین و میزان کم رطوبت مرتبط باشد (۴۰). همچنین کمترین میزان G' در هر فرکانسی در نمونه کنترل مشاهده شد که می‌تواند با میزان کم پروتئین در این نمونه مرتبط باشد. علاوه بر این، نمونه کنترل به دلیل خاصیت هیدروفیل و ممانعت‌کنندگی بیشتر پوشش تجاری در برابر خروج رطوبت، رطوبت کمتری را از دست داده که در نهایت منجر به سفتی کمتر و کاهش مدول ذخیره شد. میزان G' در هر فرکانسی بیشتر از G'' بود. این امر نشان دهنده ساختار جامدیت^۸ بیشتر نمونه‌ها می‌باشد. مارتین گونزالز و همکاران (۲۰۰۷) نیز نتایج مشابهی را در پنیر چدار گزارش کردند (۴۰). بیشتر بودن مدول ذخیره یا مدول الاستیک نسبت به مدول افت یا مدول ویسکوز ($G' > G''$)، حاکی از ویژگی

شرایط هوازی دارند، لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که نمونه FM3 علی‌رغم غلظت زیاد موسیلاژ دانه‌ی کتان، احتمالاً نسبت به اکسیژن نفوذپذیرتر بوده و شرایط بهینه را برای رشد باکتری‌های کلی‌فرم فراهم کرده است. باکتری‌های کلی‌فرم، بی‌هوازی اختیاری، گرم منفی و میله‌ای شکل بوده و توانایی تخمیر لاکتوز و تولید اسید و گاز را دارند (۵۴).

شمارش کپک و مخمر

تعداد مخمر طی دوره‌ی رسیدن در نمونه‌های پنیر حدود ۲/۵ سیکل لگاریتمی افزایش یافت ($p < 0/01$) (شکل ۴). حضور ابتدایی اکسیژن در ماتریکس پنیر و نیز نفوذ پذیری نسبی پوشش‌های به کار رفته نسبت به اکسیژن می‌تواند اکسیژن مورد نیاز مخمرها را برای رشد طی دوره‌ی نگهداری در اختیار آن‌ها قرار داده باشد. سرکوئرا و همکاران^۱ (۲۰۱۰) نیز نشان دادند که تعداد مخمر در پنیر رگیونال^۲ پوشش‌دهی شده با گالاکتومانان طی نگهداری افزایش یافت (۴۳). ال‌سی و همکاران (۲۰۱۵) نیز از افزایش تعداد مخمر در پنیر راس^۳ پوشش‌دهی شده با کیتوزان طی نگهداری خبر دادند (۴۸).

با عنایت به اینکه کمترین تعداد مخمر در نمونه FM1 شمارش شد ($7/02 \log \text{cfu/g}$)، می‌توان چنین نتیجه گرفت که به دلیل نفوذ ناپذیری بیشتر پوشش موسیلاژ دانه‌ی کتان در غلظت ۰/۷۵ درصد نسبت به اکسیژن، اکسیژن کمتری در اختیار مخمرها در پنیرهای تهیه شده با این پوشش قرار گرفته است. راموس و همکاران (۲۰۱۶) گزارش کردند که در صورت نفوذناپذیری پوشش خوراکی پنیر نسبت به اکسیژن، جمعیت مخمرها طی دوره‌ی نگهداری، به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد (۷).

ویژگی‌های رئولوژیکی

مدول ذخیره یا مدول الاستیک (G')

مطابق با شکل ۵، میزان G' با افزایش فرکانس در تمامی نمونه‌ها افزایش یافت که مطابق با نتایج ییلماز و همکاران^۴

5. Prentice

6. Plastisizer

7. Martin-Gonzalez et al.

8. Solid-Like

1. Cerqueira et al.

2. Regional cheese

3. Ras cheese

4. Yilmaz et al.

مقاومت می‌کند (۴۰). همچنین ویسکوزیته کمپلکس معیاری از سختی کل بوده و واحد آن پاسکال در ثانیه (Pa.s) می‌باشد. میزان ویسکوزیته کمپلکس (η^*) در تمامی نمونه‌ها با افزایش فرکانس، کاهش یافت. بر اساس نظر ییلماز و همکاران (۲۰۱۱)، کاهش η^* با افزایش فرکانس، یک رفتار رقیق‌شونده با برش^۳ می‌باشد (۵۵). بیشترین و کمترین میزان η^* در هر فرکانسی به ترتیب مربوط به پنیرهای FM1 و C بود که شاید به دلیل اختلاف در میزان رطوبت، افت وزن و سختی این نمونه‌ها باشد؛ لذا با توجه به اینکه نمونه کنترل به ترتیب بیشترین و کمترین میزان رطوبت و افت وزن را در بین سایر نمونه‌ها نشان داد، از سختی کمتری برخوردار بود.

تغییرات درصد افت وزنی

مطابق با نتایج جدول ۲، درصد افت وزنی نمونه‌های پنیر طی نگهداری افزایش یافت ($p < 0.01$). طبق گزارش ژانگ و همکاران^۴ (۲۰۱۴)، افزایش درصد افت وزنی طی دوره‌ی رسیدن، شاید به دلیل حرکت پیوسته رطوبت از داخل پنیر به محیط اطراف باشد (۲۱). هنری کوثر و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که درصد افت وزن در پنیرهای پوشش‌دهی شده با پروتئین آب‌پنیر طی زمان نگهداری افزایش یافت (۳۵). راموس و همکاران (۲۰۱۲) نیز نتایج مشابهی را ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند درصد افت وزن در پنیر پوشش‌دهی شده با پوشش ایزوله آب‌پنیر طی رسیدن افزایش یافت (۲۳). لذا کاهش پیوسته رطوبت طی زمان رسیدن، باعث افزایش افت وزن در پنیرهای چدار شد. در انتهای دوره رسیدن بیشترین درصد افت وزن در نمونه FM3 و کمترین درصد آن در نمونه کنترل مشاهده شد ($p < 0.05$). در نمونه FM3 به دلیل سینریزیس و خصوصیات اسمزی بیشتر، محتوی رطوبت به میزان بیشتری کاهش یافته و در نتیجه افت وزن بیشتری در این نمونه رخ داده است. پنیرهای حاوی پوشش‌های خوراکی در مقایسه با نمونه کنترل افت وزن بیشتری را داشتند ($p < 0.01$). همچنین به دلیل محتوی رطوبت زیاد محلول‌های پوشش‌های خوراکی بلافاصله بعد از قرار گرفتن در سطح

ژل^۱ می‌باشد و در این شرایط رفتار الاستیک بر رفتار ویسکوز غالب است.

مدول افت یا مدول ویسکوز (G'')

مطابق با شکل ۶، مقدار G'' با افزایش فرکانس در تمامی پنیرها افزایش یافت. افزایش مقادیر G' و G'' با افزایش فرکانس به ساختار ویسکوالاستیک نمونه‌ها اشاره دارد. ییلماز و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند میزان G' و G'' به نوع فعل و انفعالات شبکه (G' پایدار و G'' ناپایدار) در طول دوره اندازه‌گیری رئولوژیک در اثر فرکانس وارد آمده مرتبط است. همچنین آن‌ها اظهار داشتند بالا بودن مقادیر G'' می‌تواند با میزان زیاد پروتئین و میزان کم رطوبت مرتبط باشد که تأیید کننده‌ی نتایج این مطالعه می‌باشد، به طوری که درصد پروتئین و رطوبت پنیرهای چدار طی مدت رسیدن به ترتیب افزایش و کاهش یافت که باعث افزایش G'' در طول نگهداری شد (۵۵). نولان و همکاران^۲ (۱۹۸۹) گزارش کردند که شبکه پروتئینی مسئول ایجاد ساختار ویسکوالاستیک پنیر بوده و با افزایش فرکانس، مقادیر G' و G'' به دلیل ساختار ویسکوالاستیک در نمونه‌های پنیر افزایش می‌یابند (۵۷). پنیر FM2 در تمامی فرکانس‌ها بیشترین میزان G'' را نشان داد. با توجه به اینکه این نمونه علاوه بر درصد رطوبت پائین، بیشترین میزان پروتئین را در بین سایر نمونه‌های پنیر چدار داشت، زیاد بودن میزان G'' آن با گزارشات مارتین گونزالز (۲۰۰۷) مرتبط می‌باشد. همچنین در بین نمونه‌ها، نمونه کنترل کمترین میزان G'' را در تمامی فرکانس‌ها داشت. با توجه به اظهارات مارتین گونزالز (۲۰۰۷)، دلیل این موضوع علاوه بر میزان پروتئین پائین این نمونه، برخورداری از بیشترین میزان رطوبت نسبت به سایر نمونه‌ها می‌باشد.

ویسکوزیته کمپلکس (η^*)

طبق نظر قنبرزاده (۱۳۸۸)، ویسکوزیته کمپلکس (η^*) مقاومت در برابر جریان نمونه در حالت ساختاری (جریان ویسکوز یا الاستیک) می‌باشد که در برابر حرکات نوسانی

³. Shear-thinning

⁴. Zhong et al.

¹. Gel Character

². Nolan et al.

افزایش pH می‌تواند به علت وقوع پروتولیز در پنیر باشد (۵۹). پروتولیز با آزاد ساختن گروه‌های آمین اسیدهای آمینه، pH محصول را طی دوره نگهداری افزایش می‌دهد (۶۰). میزان pH در روز ۹۰ در نمونه FM1 (۵/۴۲۵) بیشترین مقدار و در نمونه کنترل (۵/۲۱۰) کمترین مقدار بود ($p < 0/01$) که می‌تواند به دلیل فعالیت بیشتر باکتری‌های لاکتیک اسید در نمونه کنترل باشد. نمونه FM1 در روز ۹۰ در میان سایر نمونه‌ها کمترین درصد اسیدیته قابل تیترا را نیز به خود اختصاص داده است که می‌تواند با بالا بودن میزان pH در این نمونه هم‌راستا باشد.

درصد اسیدیته قابل تیترا در پنیرهای طی دوره نگهداری افزایش یافت ($p < 0/01$). این افزایش می‌تواند به دلیل تولید اسیدهای آلی مثل لاکتیک اسید و استیک اسید در اثر فعالیت باکتری‌های لاکتیک اسید استارت‌تری و غیراستارت‌تری طی دوره نگهداری پنیر باشد (۶۱ و ۶۲). این باکتری‌ها مسئول توسعه عطر و طعم و بافت در طی زمان رسیدن در پنیر می‌باشند. این موضوع می‌تواند حاکی از افزایش تعداد باکتری‌های لاکتیک اسید غیر استارت‌تری در پنیرهای چدار طی زمان نگهداری باشد. سودام و همکاران^۲ (۲۰۱۵) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند (۶۱).

ال سی سی و همکاران (۲۰۱۵) نیز نشان دادند که درصد اسیدیته پنیرهای پوشش‌دهی شده با کیتوزان طی ۱۲۰ روز افزایش یافت (۴۸). همچنین در تحقیقی گزارش شد که درصد اسیدیته پنیر چدار پوشش‌دهی شده با پروتئین آب پنیر نیز طی زمان رسیدن افزایش یافت (۶۳). در روز ۹۰، بیشترین میزان درصد اسیدیته قابل تیترا در پنیر XG (۱/۵۰ درصد) مشاهده شد ($p < 0/01$) که می‌تواند حاکی از بیشترین قابلیت زیستی باکتری‌های لاکتیک اسید (استارت‌تری و غیر استارت‌تری) در این نمونه باشد؛ زیرا فعالیت بیشتر باکتری‌های لاکتیک اسید منجر به تجزیه بیشتر لاکتوز و تولید اسیدهای آلی مثل لاکتیک اسید و استیک اسید می‌شود که در نتیجه موجب افزایش بیشتر درصد اسیدیته محصول می‌گردد.

پنیرها در ابتدای دوره رسیدن و به دنبال آن کاهش رطوبت این پوشش‌ها همراه با کاهش رطوبت داخلی پنیر طی زمان نگهداری، افت وزن بیشتری در نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پوشش‌های خوراکی مشاهده شد (۲۱)؛ بنابراین در بین انواع پنیرهای پوشش‌دهی شده، بیشترین و کمترین افت وزن طی دوره رسیدن به ترتیب مربوط به FM3 و C بود ($p < 0/01$).

در پایان دوره نگهداری نیز پنیر پوشش‌دهی شده با صمغ زانتان نسبت به سایر نمونه‌های دارای پوشش خوراکی، افت وزن کمتری را نشان داد ($p < 0/05$) که شاید به دلیل هیدروفیل تر بودن پوشش صمغ زانتان در مقایسه با موسیلاژ دانه‌ی کتان باشد. با توجه به افت وزن کمتر در پنیر کنترل، احتمالاً خاصیت هیدروفیل در کنار کمبود سینریزس و خصوصیات اسمزی پوشش تجاری، باعث افت وزن کمتر در نمونه کنترل شده است. راموس و همکاران (۲۰۱۲) و برموز- آگویرد و باربوسا- کانواس^۱ (۲۰۱۰) نیز نتایج مشابهی را نشان دادند (۲۳ و ۵۸).

تغییرات میزان pH و درصد اسیدیته

طبق جدول ۳، میزان pH نمونه‌ها در روز ۹۰ نسبت به روز ۱ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0/01$)، به‌طوریکه در تمامی نمونه‌ها (به‌جز FM3) میزان pH تا روز ۳۰ افزایش و بعد از آن تا روز ۹۰ کاهش یافت که در نهایت مقادیر بیشتری را در روز ۹۰ نسبت به ابتدای زمان نگهداری نشان داد ($p < 0/01$). در نمونه‌ی FM3 این مقدار از روز ۱ تا ۳۰ ثابت ماند. کاهش pH طی رسیدن (بین روزهای ۶۰ تا ۹۰) به دلیل متابولیسم لاکتوز باقیمانده به اسید لاکتیک توسط باکتری‌های لاکتیکی می‌باشد (۳۲، ۳۵ و ۴۴). همچنین ثابت ماندن میزان pH (در نمونه FM3 تا روز ۳۰) شاید به دلیل حل شدن بیشتر گاز دی‌اکسید کربن در اتمسفر پنیر و به دنبال آن ایجاد اثرات بافری در نتیجه نفوذپذیری کم پوشش FM3 نسبت به گاز دی‌اکسید کربن باشد (۴۴). شاید تشکیل ترکیبات آلکالین به دلیل تجزیه‌های پروتولیتیک باعث نوسانات pH نمونه‌ها طی دوره رسیدن شده باشد (۳۲).

2. Soodam et al.

1. Bermúdez-Aguirre, D., & Barbosa-Cánovas

ارزیابی حسی

مشاهده شد. نتایج ارزیابی حسی نیز نشان داد که پوشش‌دهی تأثیر معنی‌داری روی ویژگی‌های حسی پنیر چدار از قبیل عطر و طعم، بافت، رنگ و برش‌پذیری نداشت. به‌رحال، بیشترین امتیاز طعم، بافت و برش‌پذیری مربوط به نمونه‌ی XG و بیشترین امتیاز رنگ مربوط به نمونه‌ی FM1 بود ($p > 0.01$). پوشش موسیلاژ دانه‌ی کتان ۱/۲۵ درصد در نمونه‌ی FM3 تأثیر منفی روی پذیرش رنگ داشت ($p < 0.01$). با عنایت به موارد ذکر شده، پوشش خوراکی تهیه شده از موسیلاژ دانه کتان با غلظت ۰/۷۵ درصد به کار رفته در پنیر چدار (نمونه FM1)، به‌طور نسبی در مجموع پختی با خصوصیات کیفی مطلوب تر نسبت به سایر تیمارها در انتهای دوره رسیدن ارائه نمود.

منابع

- Valdes A, Burgos N, Jimenez A, Garrigos M C. Natural pectin polysaccharides as edible coatings. *Coatings*. 2015; 5, 865–886.
- Sagnelli D, Hooshmand K, Kemmer G C, Kirkensgaard J K, Mortensen K, Giosafatto C V L, Holse M, Hebelstrup K H, Bao J, Stelte W. Cross-linked amylose bio-plastic: A transgenic-based compostable plastic alternative. *Int. J. Mol. Sci*. 2017; 18, 2075.
- Valdes A, Ramos M, Beltran A, Jimenez A, Garrigos M C. State of the art antimicrobial edible coatings for food packaging applications. *Coatings*. 2017; 7, 56.
- Pourmolaie H, Khosrowshahi Asl A, Ahmadi M, Zomorodi S, Naghizadeh Raesi S. The effect of Guar and Tragacanth gums as edible coatings in Cheddar cheese during ripening. *Food Safety*. 2018; e12529, 1-9.
- Giosafatto C V L, DiPiero P, Gunning P, Mackie A, Porta R, Mariniello L. Characterization of Citrus pectin edible films containing transglutaminase-modified phaseolin. *Carbohydr. Polym*. 2014; 106, 200–208.
- Dhanapal A, Sasikala P, Rajamani L, Kavitha V, Yazhini G, Shakila Banu M. Edible films from Polysaccharides. *Food Sci. Qual. Manag*. 2012; 3, 9–18.
- Ramos M, Valdes A, Beltran A, Garrigos M C. Gelatin-based films and coatings for food packaging application: A review. *Coatings*. 2016; 6, 41.

³. Wagh et al.

نتایج ارزیابی حسی پنیر چدار نشان داد، پوشش‌دهی با پوشش‌های خوراکی و پوشش تجاری اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی پنیر چدار (رنگ، برش‌پذیری، بافت و عطر و طعم) در انتهای دوره رسیدن نداشت ($p < 0.01$) (جدول ۴). کوی و همکاران^۲ (۲۰۱۶) و واق و همکاران^۳ (۲۰۱۳) نتایج مشابهی را گزارش کردند (۶۳ و ۶۴). مطابق با نتایج، پوشش‌های خوراکی نه‌تنها اثر منفی روی ویژگی‌های حسی پنیر چدار نداشتند، بلکه برخی از آن‌ها (XG، FM1 و FM2) عطر و طعم پنیر را نسبت به نمونه کنترل بهبود بخشیدند ($p < 0.01$).

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که پوشش‌دهی پنیر چدار با مواد زیستی خوراکی (موسیلاژ دانه کتان و صمغ زانتان) تأثیر معنی‌داری بر تعداد کل باکتری‌های هوازی مزوفیل، سودوموناس و کلی‌فرم در مقایسه با پوشش تجاری پلی‌وینیل استات نداشت ($p < 0.01$)، در حالی که پوشش خوراکی صمغ زانتان به‌طور معنی‌داری جمعیت کپک و مخمر را نسبت به سایر پوشش‌ها افزایش داد ($p < 0.01$). پوشش‌دهی پنیر چدار با استفاده از موسیلاژ دانه‌ی کتان و صمغ زانتان تأثیر معنی‌داری روی خصوصیات شیمیایی از قبیل اسیدیته و pH داشت ($p < 0.01$). بیشترین نرخ pH و اسیدیته به‌ترتیب در نمونه‌های FM1 و XG بعد از ۹۰ روز رسیدگی مشاهده شد. بیشترین میزان افت وزن در پایان دوره رسیدن مربوط به نمونه‌های پوشش‌دهی شده با پوشش‌های خوراکی بود، به‌طوری‌که بیشترین مقادیر این فاکتور به‌ترتیب در نمونه‌های FM3 ($p < 0.05$) و XG ($p < 0.01$) حاصل شد. در تمامی نمونه‌های پنیر با افزایش فرکانس، G' و G'' افزایش و η^* کاهش یافتند و در هر فرکانسی G' بیشتر از G'' بود. در تمامی فرکانس‌ها، G' و η^* در نمونه FM1 و G'' در نمونه FM2 بیشترین مقدار را نشان دادند درحالی‌که کمترین مقدار این پارامترها در نمونه کنترل

¹. Cutting

². Cui et al.

- application and storage temperature for prolonging shelf-life of "Regional" cheese. *Journal Food Engineering*. 2010; 384 97, 87-94.
21. Zhong Y, Cavender G, Zhao Y. Investigation of different coating application methods on the performance of edible coatings on Mozzarella cheese. *LWT-Food Science and Technology*. 2014; 56, 1-8.
 22. Kampf N, Nussinovitch A. Hydrocolloid coating of cheeses. *Food Hydrocolloids*. 2000; 14, 531-537.
 23. Ramos ÓL, Fernandes J C, Silva S I, Pintado M E, Malcata F X. Edible films and coatings from whey proteins: a review on formulation, and on mechanical and bioactive properties. *Critical reviews in Food Science and Nutrition*. 2012; 52(6), 533-552.
 24. Costa M j, Maciel L C, Teixeira J A, Vicente A A, Cerqueira M A. Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research International*. 2018; 107, 84-92.
 25. Ghosh A, Bhowmick K N, Medda P S, DUTTA P. Effect of guar gum as an edible coating to improve shelf life and quality of tomato (*Solanum Lycopersicum L.*) fruits during storage. *Special issue*. 2014; 5, 201-207.
 26. Sharma S, Ramana Rao T V. Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *LWT-Food Science and Technology*, xxx. 2014; 1-10.
 27. Mohebbi M, Ansarifard E, Hasanpour N, Amiryousefi M R. Suitability of Aloe Vera and Gum Tragacanth as Edible Coatings for Extending the Shelf Life of Button Mushroom. *Food Bioprocess Technology*. 2012; 5, 3193-3202.
 28. Pena-Serna C, Barretto Penna, A L, Lopes Filho J. Zein-based blend coatings: Impact on the quality of a model cheese of short ripening period. *Journal of Food Engineering*. 2016; 171, 208-213.
 29. Soleimani-Rambod A, Zomorodi S, Naghizadeh Raeisi S, Khosrowshahi Asl A, Shahidi S-A. The Effect of Xanthan Gum and Flaxseed Mucilage as Edible Coatings in Cheddar Cheese during Ripening. *Coatings*. 2018; 8, 80, 1-14.
 30. Millet M, Le Tien C, Smoragiewicz W, Lacroix M. Inhibition of staphylococcus aureus on beef by nisin-containing modified alginate films and beads. *Food Control*. 2007 18, 878-884.
 31. Moatsou G, Moschopoulou E, Beka A, Tsermoula p. Effect of natamycin-containing coating on the evolution of biochemical and microbiological parameters during the ripening and storage of ovine hard-Gruy_ere-type cheese. *International Dairy Journal*. 2015; 50, 1-8.
 32. Yilmaz F, Dagdemir E. The effects of beeswax coating on quality of Kashar cheese during ripening.
 8. Margaritis A, Zajic J E. Biotechnology review: Mixing mass transfer and scale-up of polysaccharide fermentations. *Biotechnol. Bioeng*. 1978; 20, 939-1001.
 9. Sharma S, Rao T V. Xanthan gum based edible coating enriched with cinnamic acid prevents browning and extends the shelf-life of fresh-cut pears. *Food Sci. Technol*. 2015; 62, 791-800.
 10. Garcia-Ochoa F, Santos V E, Casas J A, Gomez A. Xanthan gum: Production, recovery, and properties. *Biotechnol. Adv*. 2000; 18, 549-579.
 11. Cortez-Vega W R, Piotrowicz I B B, Prentice C, Borges C D. Influence of different edible coatings in minimally processed pumpkin (*Cucurbita moschata Duch*). *Int. Food Res. J*. 2014; 21, 2017-2023.
 12. Cortez-Vega W R, Piotrowicz I B B, Prentice C, Borges C D. Conservation of papaya minimally processed with the use of edible coating based on xanthan gum, *Semina*. 2013; 34, 1753-1764.
 13. Zambrano-Zaragoza M L, Mercado-Silva E, Del Real L A, Gutierrez-Cortez E, Cornejo-Villegas M A, Quintanar-Guerrero D. The effect of nanocoatings with α -tocopherol and xanthan gum on shelf-life and browning index of fresh-cut Red Delicious apples. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol*. 2014; 22, 188-196.
 14. Tabibloghmany F, Hojjatoleslami M, Farhadian F, Ehsandoost E. Effect of Linseed (*Linum usitatissimum L.*) hydrocolloid as edible coating on decreasing oil absorption in potato chips during Deep-fat frying. *Int. J. Agric. Crop Sci*. 2013; 6, 63-69.
 15. Tee Y, Wong J, Ching Tan M, Talib R A. Development of edible film from flaxseed mucilage. *Bioresources* 2016; 11, 10286-10295.
 16. Hernández C, Pérez-Cabrera L E, González-Martínez C. Development of linseed-mucilage edible coatings and its application to extend fresh-cut cucumber shelf-life. In *Innovations in Food Science and Food Biotechnology in Developing Countries*; AMECA Inc.: Queretaro, Mexico. 2010; pp. 321-334.
 17. Hernández Lozano L C, Pérez-Cabrera L E, González-Martínez C. Development of a linseed-mucilage edible coating and its application to extend fresh-cut cucumber shelf-life, *FSFB*. In *Proceedings of the 3rd International Congress, Queretaro, NM, USA*. 2008; October 14-17.
 18. Yoon Y, Lee S, Choi K H. Microbial benefits and risks of raw milk cheese. *Food Contr*. 2016; 63, 201-215.
 19. Fajardo P, Martins J T, Fuci-nos C, Pastrana L, Teixeira J A, Vicente A A. Evaluation of a chitosan-based edible film as carrier of natamycin to improve the storability of Saloio cheese. *Journal of Food Engineering*. 2010; 101, 349-356.
 20. Cerqueira M A, Sousa-Gallagher M J, Macedo I, Rodriguez-Aguilera R, Souza B W S, Teixeira J A, Vicente A A. Use of galactomannan edible coating

- extend Ricotta cheese shelf-life. *LWT-Food Science and Technology*. 2011; 44, 2324-2327.
45. Duan J, Park S I, Daeschel M A, Zhao Y. Antimicrobial chitosan-lysozyme (CL) films and coatings for enhancing microbial safety of Mozzarella cheese. *Journal of Food Science*. 2007; 72 (9), M355-M362.
46. Öner Z, Karahan A G, Aloglu H. Changes in the microbiological and chemical characteristics of an artisanal Turkish white cheese during ripening. *LWT-Food Science and Technology*. 2006; 39, 449-454.
47. Suppakul P, Sonneveld K, Bigger S W, Miltz J. Efficacy of polyethylenebased antimicrobial films containing principal constituents of basil. *LWT-Food Science and Technology*. 2008; 41, 779-788.
48. El-Sisi A S, Mohamed Gapr E S, Kamaly K M. Use of Chitosan as an Edible Coating in RAS Cheese. *Biolife*. 2015; 3(2), pp 564-570.
49. Aydemir O. The Characterization of Kars Kashar Cheese. Ph.D. Thesis. Ondokuz Mayıs University, Graduate School of Natural and Applied Sciences Samsun, Turkey. 2010.
50. Ledenbach L H, Marshall R T. Microbiological spoilage of dairy products In *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages*. New York, NY: Springer. 2009; 10.1007/978-1, 41-67.
51. Wemmenhove E, Wells-Bennik M H J, Stara A, Van Hooijdonk A C M, Zwietering M H. How NaCl and water content determine water activity during ripening of Gouda cheese, and the predicted effect on inhibition of *Listeria monocytogenes*. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99 (7), 5192-5201.
52. Khorshidian N, Yousefi M, Khanniri E, Mortazavian A M. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017; 45, 62-72.
53. Kwenda A, Nyahada M, Musengi A, Mudyiwa M, Muredzi P. An investigation on the causes of *Escherichia coli* and coliform contamination of cheddar cheese and how to reduce the problem (A case study at a cheese manufacturing firm in Harare, Zimbabwe). *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. 2014; 3(3), 6-14.
54. Trmčić A, Chauhan K, Kent D J, Ralyea R D, Martin N H, Boor K J, Wiedmann M. Coliform detection in cheese is associated with specific cheese characteristics, but no association was found with pathogen detection. *Journal of Dairy Science*. 2016; 99(8), 6105-6120.
55. Yilmaz M T, Karaman S, Cankurt H, Kayacier A, Sagdic O. Steady and dynamic oscillatory shear rheological properties of ketchup-processed cheese mixtures: effect of temperature and concentration. *Journal of Food Engineering*. 2011; 103, 197-210.
56. Prentice J H. Rheology and texture of dairy products. *Journal of Texture Studies*. 1972; 3, 415-458.
- International Journal of Food Science and Technology. 2012; 47, 2582-2589.
33. Ulpathakumbura C P, SenakaRanadheera C, Senavirathne N D, Jayawardene L P I N P. Effect of biopreservatives on microbial, physico-chemical and sensory properties of Cheddar cheese. *Food Bioscience*. 2016; 13, 21-25.
34. El-Sisi A S, Mohamed Gapr E S, Kamaly K M. Use of Chitosan as an Edible Coating in RAS Cheese. *Biolife*. 2015; 3(2), pp 564-570.
35. Henriques M, Santos G, Rodrigues A, Gomes D, Pereira C, Gil M. Replacement of conventional cheese coatings by natural whey protein edible coatings with antimicrobial activity. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2011; 34-47, UDC 637.3.045.055.
36. Harrigan W F, McCance M E. *Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology*, 8th edition. Academic Press, London. 1990.
37. Van Hekken D L, Park Y W, Tunick M H. Effects of reducing fat content on the proteolytic and rheological properties of Cheddar-like caprine milk cheese. *Small Ruminant Research*. 2013; 110, 46- 51.
38. AOAC. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. 3rd 365 rev. AOAC, Arlington, VA. 1997.
39. Zomorodi S H, Khosrowshahi A, Razavirohani S M, Miraghaei S. Survival of *Lactobacillus plantarum* and *Bifidobacterium bifidum* in free and microencapsulated forms on Iranian white cheese produced by ultrafiltration. *International journal of Dairy Technology*. 2010; 64, 84-91.
40. Martin-Gonzalez M F, Rodriguez J J, Gurram S, Clark S, Swanson B G, Barbosa-Ganovas G V. Yield, composition and rheological characteristics of cheddar cheese made with high pressure processed milk. 2007; *LWT* 40, 697-705.
۴۱. قنبرزاده ب. مبانی رئولوژی مواد و بیوپلیمرهای غذایی. ۶۰۸۶. تهران. انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸، ۳۹۰.
42. Cerqueira M A, Bourbon A I, Pinheiro A C, Martins J T, Souza B W S, Teixeira J A, Vicente A A. Galactomannans use in the development of edible films/coatings for food applications. *Trends in Food Science & Technology*. 2011; 22, 662-671.
43. Cerqueira M A, Sousa-Gallagher M J, Macedo I, Rodriguez-Aguilera R, Souza B W S, Teixeira J A, Vicente A A. Use of galactomannan edible coating application and storage temperature for prolonging shelf-life of "Regional" cheese. *Journal Food Engineering*. 2010; 384 97, 87-94.
44. Di Pierro P, Sorrentino A, Mariniello L, Giosafatto C V L, Porta R. Chitosan/wheyprotein film as active coating to

57. Martin-Gonzalez M F, Rodriguez J J, Gurram S, Clark S, Swanson B G, Barbosa- Ganovas G V. Yield, composition and rheological characteristics of cheddar cheese made with high pressure processed milk. *LWT* 40. 2007; 697–705.
58. Bermúdez-Aguirre D, Barbosa-Cánovas G V. Processing of soft Hispanic cheese (“Queso Fresco”) using thermo-sonicated milk: a study of physicochemical characteristics and storage life. *Journal of Food Science*. 2010; 75(9), S548e S558.
59. Fritzen-Freire C B, Muñler C M O, Laurindo J B, Prudeñcio E S. The influence of *Bifidobacterium Bb-12* and *lactic acid* incorporation on the properties of MinasFrescal cheese. *Journal of Food Engineering*. 2010; 96, 621–627.
60. Lucey J A, Johnson T, Horne D S. Invited Review: Perspectives on the Basis of the Rheology and Texture Properties of Cheese. *Journal of Dairy Science*. 2003; 86, 2725–2743.
61. Soodam K, Ong L, Powell I B, Kentish S E, Gras S L. Effect of calcium chloride addition and draining pH on the microstructure and texture of full fat Cheddar cheese during ripening. *Food Chemistry*. 2015; 181, 111–118.
62. Ong L, Shah N P. Probiotic Cheddar cheese: Influence of ripening temperatures on survival of probiotic microorganisms, cheese composition and organic acid profiles. *LWT-Food Science and Technology*. 2009; 42 (7), 1260–1268.
63. Wagh Y R, Pushpadass H A, Magdaline Eljeeva Emerald F, Surendra Nath B. Preparation and characterization of milk protein films and their application for packaging of Cheddar cheese. *Association of Food Scientists & Technologists*. 2013; 51 (12), 3767-3775.
64. Cui H Y, Wu J, Li C Z. Anti-listeria effects of chitosan-coated nisin-silica liposome on Cheddar cheese. *Journal of dairy science*. 2016; 99, 1–9.

The effect of flax seed mucilage and xanthan gum as an edible coating on microbial, physicochemical, rheological and sensory properties of cheddar cheese during ripening

Afshin Soleimani-Rambod¹, **Shahin Zomorodi**^{*2}, Shahram Naghizadeh Raeisi¹, Asghar Khosrowshahi Asl³ and Seyed-Ahmad Shahidi¹

¹ Department of Food Hygiene, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

² Department of Agricultural Engineering Research, West Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran

³ Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

The object of this study was to investigate the possibility of using xanthan gum and flaxseedmucilage as edible coatings for Cheddar cheese and the effect of these coatings on the qualitative properties of Cheddar cheese during ripening. Samples were prepared triplicate as follows: Coated with polyvinyl acetate as control (C), coated with 0.5% xanthan gum (XG), coated with 0.75%, 1%, and 1.25% flaxseed mucilage (FM1, FM2, and FM3 respectively). All samples were kept at $8\pm 2^{\circ}\text{C}$ in a cold room for 90 days. Edible coatings did not significantly affect the growth of total mesophilic aerobic bacteria, Pseudomonas bacteria, and Coliform bacteria ($P>0.01$). In contrast, a xanthan gum coating significantly increased the population of Mold and Yeast ($P<0.01$). The type of coating had a significant effect on acidity and pH ($P<0.01$); so that the highest pH and acidity rates were observed in the FM1 and XG samples respectively after 90 days of ripening. The highest amount of weight loss at the end of the ripening period was observed significantly in FM3 ($P<0.05$). In all frequencies, G' and η^* in FM1 and G'' in FM2 showed the highest value, while the lowest values of these parameters were observed in the control sample. Sensory evaluation revealed that coating have no significant effect on sensory properties of cheese. Therefore, in order to achieve the desired qualitative and organoleptic properties, the coating of Cheddar cheese is recommended by using Xanthan gum (0.5%) or Flaxseed mucilage (1.25%).

Key words: Edible coatings, Cheddar cheese, Flaxseed, Xanthan, Polyvenil acetate.

* s.zomorodi@areeo.ac.ir