مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال بیست و یکم، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۵، صفحات ۶۹-۵۱

بررسی اثر فیلم پروبیوتیک بر پایه ضایعات مرکبات به عنوان جایگزین کاغذ پارچ منت در نگهداری پنیر فتا

اصغر عزیزیان[۱]، نگین نوری[۲]، حسن گندمی[۱]، علی میثاقی[۱]، علی خنجری[۱]

۱- گروه بهداشت و کنترل مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- نویسنده مسئول: دانشیار گروه بهداشت و کنترل مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. پست الکترونیکی: nnoori@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: توسعه بسته‌بندی‌های فعال و زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان راهکاری جدید برای افزایش ایمنی و ماندگاری فرآورده‌های لبنی، اهمیت فزاینده‌ای یافته است. ازاینرو هدف این پژوهش، ارزیابی کارایی فیلم پروبیوتیک تهیه‌شده بر پایه ضایعات مرکبات به‌عنوان جایگزین کاغذ پلی‌پروپیلنی پارچمنت در نگهداری پنیر فتا بوده است.

مواد و روش‌ها: تیمارهای مورد مطالعه شامل: نمونه‌های دارای کاغذ پارچ منت، فیلم و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بود و برای آزمون‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی طی ۶۳ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: شمارش اولیه پروبیوتیک‌ها در فیلم‌ها در روز نخست در محدوده ۹ Log cfu/g بود ($P >$ ۰/۰۵) که طی نگهداری کاهش یافت. در پایان دوره، زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (۵/۳۳ Log cfu/g) به‌طور معنی‌داری بیشتر از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (۴/۹۰ Log cfu/g) و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* (۳/۱۶ Log cfu/g) بود ($P <$ ۰/۰۵). فیلم‌های پروبیوتیک، به‌ویژه فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، فعالیت ضدمیکروبی قوی‌تری نشان دادند. در پنیر فتا، جمعیت *استافیلوکوکوس اورئوس* در تیمار فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به ۴/۲۲ Log cfu/g رسید که به‌طور معنی‌داری کمتر از تیمار کاغذ پارچمنت (۶/۲۱ Log cfu/g) در روز آخر بود ($P <$ ۰/۰۵). همچنین این تیمار بهترین عملکرد را در کنترل کلی‌فرم‌ها و کپک‌ها نشان داد. افزودن پروبیوتیک‌ها موجب کاهش نفوذپذیری بخار آب و افزایش شفافیت فیلم‌ها بدون تغییر معنی‌دار در استحکام کششی و ضخامت گردید. ارزیابی حسی نیز بالاترین امتیاز پذیرش‌کلی را برای پنیرهای با فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نشان داد.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج که عملکرد فیلم پروبیوتیک بر پایه ضایعات مرکبات، به‌ویژه حاوی لاکتوباسیلوس‌ها را با عملکرد کاغذ پارچمنت مقایسه کرد، این نوع فیلم می‌تواند به‌عنوان جایگزینی مؤثر و پایدار برای کاغذ پارچمنت در نگهداری پنیر پیشنهاد شود.

واژگان کلیدی: مرکبات، پارچمنت، ضایعات، پروبیوتیک، پنیر

پیام‌های اصلی

- **توسعه فیلم پروبیوتیک پایدار:** فیلم‌های بر پایه ضایعات مرکبات با جمعیت اولیه پروبیوتیک‌ها در حدود ۹ Log cfu/g ولید شدند و قابلیت استفاده به‌عنوان جایگزین کاغذ پارچمنت را نشان دادند.
- **زنده‌مانی بالای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*:** پس از ۶۳ روز نگهداری، زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به‌طور معنی‌داری بیشتر از *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* بود.
- **حفظ و بهبود کیفیت پنیر فتا:** افزودن پروبیوتیک‌ها موجب کاهش نفوذپذیری بخار آب و افزایش شفافیت فیلم شد و فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بالاترین پذیرش کلی حسی را در پنیر فتا ایجاد کرد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

• مقدمه

پنیر سفید فتا یکی از شناخته‌شده‌ترین و قدیمی‌ترین پنیرهای آب‌نمکی جهان به شمار می‌رود که قدمت تولید آن به حدود ۴۰۰۰ سال پیش در کشور یونان بازمی‌گردد. این نوع پنیر که در گروه پنیرهای سفید و نرم قرار داشته و فرآیند رسیدن و نگهداری آن در محیط آب‌نمک انجام می‌شود. انواع مختلفی از پنیرهای آب‌نمکی در مناطق شرقی اروپا، خاورمیانه و شبه‌جزیره بالکان تولید می‌شود که پنیر فتا شاخص‌ترین عضو این گروه محسوب می‌شود. پنیر فتا معمولاً از شیر گوسفند، بز یا ترکیبی از آن‌ها تهیه شده و دارای طعمی شور و مطبوع و بافتی سفید، ترد و شکننده است که آن را به یکی از پرمصرف‌ترین پنیرها در سبد غذایی خانوار تبدیل کرده است (۲، ۱).

پنیر فتا منبعی غنی از املاح معدنی مهمی نظیر کلسیم و سدیم بوده و مقادیر قابل توجهی از فولیک‌اسید و ویتامین‌های محلول در چربی و آب از جمله ویتامین‌های A، K، B6 و B12 را فراهم می‌کند (۳، ۱). با این وجود، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاص پنیر فتا نظیر ظرفیت بافری زیاد، pH نسبتاً بالا، محتوای چربی بالا، دسترسی بالای مواد مغذی، فعالیت آبی مناسب و ساختار متراکم بافت پنیر، این فرآورده را در مقایسه با بسیاری از محصولات لبنی مستعد رشد میکروارگانیسم‌های فسادزا و بیماری‌زا می‌سازد (۴). بنابراین، کنترل آلودگی‌های میکروبی و حفظ کیفیت محصول در طول نگهداری، به‌ویژه در شرایط سردخانه‌ای، چالشی اساسی صنعت تولید پنیر فتا محسوب می‌شود.

در فرایند صنعتی تولید پنیر سفید ایرانی فتا، به منظور افزایش مدت زمان نگهداری و بهبود خواص بافتی از کاغذ پارچمنت به‌طور گسترده در سطح پنیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کاغذ که عمدتاً از جنس پلی‌پروپیلن با ماهیت نفت‌پایه ساخته می‌شوند، به دلیل ویژگی‌هایی نظیر عدم پارگی، مقاومت در برابر رطوبت، عدم لوله‌شدن و قابلیت حفظ یکنواختی pH در توده پنیر، نقش مهمی در تثبیت کیفیت محصول در طول عمل‌آوری ایفا می‌کند (۵ و ۶). پس از انعقاد شیر و افزودن نمک، آزاد شدن آب پنیر و تشکیل آب‌نمک اشباع در سطح محصول رخ می‌دهد که وجود کاغذ پارچمنت موجب حفظ این آب‌نمک بر سطح پنیر و یکنواخت شدن pH در محدوده ۴/۵ تا ۴/۷ در کل توده پنیر می‌گردد. این امر از دولایه‌شدن سطح پنیر جلوگیری و کیفیت بافتی و حسی محصول را بهبود می‌بخشد (۵).

علاوه‌بر مزایای عملکردی، استفاده گسترده از کاغذهای پارچمنت با چالش‌های زیست‌محیطی قابل توجهی همراه است. این مواد به دلیل وابستگی به منابع نفتی، زیست‌تخریب‌ناپذیری و نیاز به سوزاندن برای دفع، سهم قابل توجهی در آلودگی محیط زیست دارند. افزون بر این، پلی‌پروپیلن در برابر حملات میکروبی و اکسیداسیون حساس بوده و فاقد خاصیت فعال ضدمیکروبی است (۵). این محدودیت‌ها موجب شده است که پژوهشگران فعال در صنعت غذا به دنبال توسعه مواد بسته‌بندی پایدار، زیست‌تخریب‌پذیر و دارای عملکرد فعال باشند.

در دهه‌های اخیر، فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر به‌عنوان جایگزینی نوین و دوستدار محیط زیست برای بسته‌بندی‌های متداول معرفی و شناخته شده‌اند. فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر معمولاً بر پایه پلیمرهای طبیعی نظیر پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها یا ترکیبی از آن‌ها تولید می‌شوند و به دلیل زیست‌دسترسی مناسب، هزینه تولید پایین‌تر و قابلیت اصلاح عملکردی، توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرده‌اند (۷). ترکیباتی نظیر ژلاتین، صمغ‌ها، فیبرها و کربوهیدرات‌های نشاسته‌ای و غیرنشاسته‌ای به‌طور گسترده در تهیه این فیلم‌ها به کار می‌روند (۷).

فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به شرط دارا بودن خواص فیزیکی و مکانیکی مناسب، علاوه بر ایجاد مانع فیزیکی در برابر انتقال رطوبت، اکسیژن و دی‌اکسید کربن، می‌توانند با حفظ ترکیبات معطر فرار و جلوگیری از مهاجرت چربی‌ها، کیفیت حسی مواد غذایی را بهبود بخشند. از آنجا که رشد میکروب‌ها در عامل اصلی بروز فساد از سطح مواد غذایی محسوب می‌شود، غنی‌سازی فیلم‌ها با ترکیبات ضدمیکروبی یا زیست‌فعال، به‌عنوان راهکاری مؤثر برای افزایش ماندگاری و ایمنی محصولات غذایی مورد توجه قرار گرفته‌است (۷ و ۸). کنترل انتقال بخار آب محصولات غذایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا تغییرات رطوبتی می‌تواند واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی مخرب را تسریع کرده و پایداری محصولات را کاهش دهد (۸).

در این بین، استفاده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان ماده اولیه برای تولید فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، رویکردی همسو با اقتصاد زنجیره‌ای و توسعه پایدار محسوب می‌شود. مرکبات

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

شامل میوه‌هایی نظیر ماندارین، پرتقال، لیمو و گریپ‌فروت بوده و کشور ایران با تولید سالانه بیش از ۳ میلیون تن انواع مرکبات، در زمره بزرگ‌ترین تولیدکنندگان در جهان قرار دارد. برآوردها نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از این تولیدات به‌صورت ضایعات و عمدتاً پوست میوه، از چرخه مصرف خارج می‌شود (۹). پوست مرکبات به سبب وجود ترکیباتی نظیر آسکوربیک اسید و ترکیبات فنولی با ساختار حلقوی دارای خواص ضدمیکربی و آنتی‌اکسیدانی است (۱۱، ۱۰)، همچنین پوست مرکبات سرشار از پکتین، فیبرهای خوراکی، اسانس‌ها و ترکیبات زیست‌فعال است و قابلیت بالایی برای تبدیل به محصولات با ارزش افزوده دارد. مطالعات پیشین، خاصیت پری‌بیوتیکی پوست مرکباتی نظیر پرتقال و لیموشیرین را به دلیل حضور فیبرها و پکتین تأیید کرده‌اند (۱۳، ۱۲).

مطابق آنچه گفته شد و با توجه به پتانسیل ضایعات مرکبات در تولید فیلم‌های خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر و نیز نقش مؤثر پروبیوتیک‌ها در مهار میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و مولد فساد و بهبود کیفیت مواد غذایی، پژوهش حاضر با هدف توسعه فیلم پروبیوتیک بر پایه ضایعات مرکبات و ارزیابی کارایی آن به‌عنوان جایگزینی پایدار برای کاغذ پارچمنت در نگهداری پنیر فتا انجام شد. در این پژوهش، تأثیر این فیلم‌ها بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکوشیمیایی و حسی پنیر فتا طی دوره نگهداری سرد مورد بررسی قرار گرفت تا زمینه‌ای برای کاربرد صنعتی این سامانه بسته‌بندی نوین فراهم گردد.

• مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی پروبیوتیک‌ها جهت تلقیح در فیلم

در این مطالعه باکتری‌های پروبیوتیک لیوفیلیزه *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* (PTCC 1643)، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* (PTCC 1644) و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* (PTCC 1896) از سازمان پژوهش‌های علمی صنعتی ایران خریداری و طبق پروتکل مظفر و همکاران (۲۰۲۰) از شرایط لیوفلیزه به باکتری‌های فعال احیا شدند (۱۴).

تهیه فیلم پروبیوتیک

جهت تهیه فیلم، میوه‌های لیموشیرین و پرتقال از مزرعه ارگانیک (بدون استفاده از سموم) در شهرستان بابل استان مازندران تهیه و پس از شست‌وشو و ضدعفونی، پوست میوه‌ها جمع‌آوری و پس از خشک کردن، آسیاب شد. محلول تشکیل فیلم با مخلوط‌کردن ۸ گرم پودر پوست پرتقال- لیموشیرین در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر تهیه شد سپس با استفاده از همزن مغناطیسی به مدت ۴۵ دقیقه در دمای ۸۵ درجه سلسیوس هم‌زده شد از نرم‌کننده گلیسرول (۶ میلی لیتر / ۱۰۰ میلی لیتر محلول) و روغن دانه آفتابگردان (۱ درصد وزنی-وزنی) و توئین ۸۰ به ترتیب جهت ایجاد خاصیت آبگریزی و امولسی‌فایری استفاده و محلول هموژن شد (۱۰).

به محلول فوق، تعداد 10^9 CFU/ml از هر کدام از باکتری‌های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* با توجه به تیمارهای مختلف (شامل: نمونه‌های دارای کاغذ پارچ منت، فیلم و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*) اضافه شد. سپس به صفحات پتری شیشه‌ای منتقل شده و به مدت ۳ روز در دمای ۵۰ درجه سلسیوس در خشک‌کن سینی خشک شد. فیلم‌های خشک شده از پلیت‌های پتری خارج شده و به مدت ۱۰ دقیقه در محلول ۲ درصد (حجمی /حجمی) کلسیم کلراید (به منظور استحکام بیشتر و ایجاد اتصالات عرضی در فیلم) غوطه‌ور شدند و پس از آن فیلم‌ها در دمای یخچال نگهداری شدند (۱۴).

تولید پنیر فتا و تهیه تیمارها

برای تولید پنیر فتا، از شیر تازه و کامل گاو که در دمای ۷۲ درجه سلسیوس به مدت ۱۵ ثانیه پاستوریزه شد، استفاده گردید. قبل از شروع به انجام مراحل مختلف پنیرسازی دمای شیر را به ۳۵ درجه سلسیوس رسانده و به ظروف استریل مخصوص تهیه پنیر مقدار ۵ لیتر شیر ریخته شد. سپس، استارتر (شرکت دالتون، ایتالیا) به مقدار ۲ درصد (حجمی/حجمی) و پس از نیم ساعت ۰/۰۲ درصد (وزنی /حجمی) کلرید کلسیم به نمونه‌های شیر اضافه شد. نهایتا رنت (شرکت دالتون، ایتالیا) به مقدار۰/۰۰۱ گرم (وزن به حجم) به شیر افزوده شد و ۳ تا ۵ دقیقه به آرامی هم‌زده شد. به منظور کارایی بهتر رنت، ۱ سانتی‌متر مکعبی برش داده شد و دمای شیر در مدت زمان تشکیل لخته در حدود ۳۵ درجه سلسیوس نگهداری شد و پس از گذشت یک ساعت، لخته تشکیل و سپس جهت آبگیری به مدت شش ساعت تحت فشار ۱۰ کیلوگرمی قرار گرفت. سپس لخته را به‌صورت قطعات ۵۰ گرمی با ابعاد یکسان برش داده و یک برگ از فیلم تهیه شده بر روی پنیر قرار داده شد به نحوی که ضخامت پنیر در تمامی تیمارها یکسان بود و در داخل ظروف یک بار مصرف پلی اتیلنی درب‌دار و استریل قرار گرفت و درب‌بندی شدند و نمونه‌ها به مدت ۹ هفته در 4 درجه سلسیوس جهت انجام ارزیابی‌های مختلف نگهداری شدند (۳، ۱).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

بررسی بقاء *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم

به منظور بررسی بقاء باکتری‌های پروبیوتیک مورد مطالعه در فیلم، ۱ گرم از فیلم‌های تهیه شده با ۹ میلی‌لیتر آب پپتونه ۰/۱ درصد در داخل لوله آزمایش مخلوط و به مدت ده دقیقه ورتکس شد. شمارش تعداد باکتری‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به مدت ۹ هفته به ترتیب در محیط‌های ام آر اس آگار (De Man, Rogosa and Sharpe (MRS)) و ام آر اس + سیستئین ۰/۰۵ درصد در شرایط میکروآئروفیل و بی‌هوازی صورت گرفت (۱۴).

تعیین فعالیت ضدمیکروبی فیلم

جهت بررسی میزان فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها از میکروارگانیسم‌های *سالمونلا تایفی‌موریوم* (ATCC 14028)، *لیستریا مونوسایتوژنز* (ATCC 19117)، *اشریشیاکلی* (ATCC 25218)، *استافیلوکوکوس اورئوس* (ATCC 65218) و *آسپرژیلوس فلاووس* استفاده شد که کشت لیوفیلیزه و سوش‌های اولیه این میکروارگانیسم‌ها از گروه بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه تهران تهیه شد و جهت احیاشدن به محیط کشت عمومی آبگوشت قلب و مغز براث (Brain Heart Infusion (BHI) Broth) انتقال داده شد تا توانایی رشد و زنده‌مانی در باکتری‌ها تا زمان تلقیح افزایش پیدا کند .پس از سه بار کشت متوالی به لوله‌های کووت حاوی 4 میلی‌لیتر آبگوشت قلب و مغز براث استریل اضافه شد تا جایی که لوله کووت جذب نوری ۰/۱ را در طول موج 600 نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر نشان داد از این لوله کووت بر روی محیط مولرهینتون آگار (Mueller–Hinton Agar) کشت داده شد (۱۴).

فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌ها به روش دیسک دیفیوژن (Disk Diffusion Assay) تعیین شد . بدین صورت که دیسک‌هایی از فیلم‌های تهیه شده به قطر ۱۰ میلی‌متر برش داده شد و در مرکز پلیت‌های کشت داده شده قرار داده شد و به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند، ناحیه ممانعت از رشد به صورت هاله شفاف اطراف فیلم مشاهده شد (۱۴).

آزمون‌های میکروبی و شیمیایی پنیر

برای تهیه رقت، مقدار ۱۰ گرم پنیر تولیدی همگن‌شده در کیسه‌های زیپ‌دار استریل حاوی۹۰ میلی‌لیتر تری سدیم سیترات (۲ گرم در ۱۰۰ گرم) استریل توزین شد و مدت ۲ دقیقه توسط استومیکر همگن شدند. پس از تهیه سری رقت‌ها کشت انجام شد و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه گذاری شد. اثرات ضدمیکروبی فیلم‌ها را به وسیله‌ی آزمون‌های شمارش کلی‌فرم‌ها، *استافیلوکوکوس اورئوس* و کپک در زمان‌های مختلف انجام و نمونه‌ها در دمای یخچالی (۴ درجه سلسیوس) نگهداری شدند.

شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس*

برای شمارش این باکتری طبق استاندارد ملی ایران شماره ۱۹۲۴ مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران از محیط کشت بردپارکر آگار (Birdparker Agar) استفاده شد، پلیت‌ها در دمای ۳۷ درجه به مدت ۴۸ ساعت قرارداده، سپس برای تائید آن آزمون کوآگولاز انجام شد (۱۴).

شمارش جمعیت کلی‌فرم‌ها در پنیر فتا

به منظور شمارش میانگین تعداد کلی‌فرم‌ها از روش کشت بر روی محیط ویولت رد بایل آگار (Violet-Red-Bile-Glucose Agar (VRBGA) استفاده شد. پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور با دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند (۱۵).

شمارش کپک

به منظور شمارش میانگین تعداد کپک از روش کشت بر روی محیط پلیت کانت اگار ((Plate Count Agar (PCA) حاوی کلرامفنیکل استفاده شد. پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل انکوباتور با دمای ۲۵ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند (۱۵).

اندازه‌گیری اسیدیته و pH

از نمونه‌ی همگن‌شده مقدار ۱۰ گرم به بشر اضافه شد و pH نمونه‌ها با استفاده از pH متر کالیبره شده با بافر ۴ و۷ ارزیابی شد. برای اندازه‌گیری اسیدیته مقدار ۱۰ گرم نمونه در یک هاون با آب مقطر ۴۰ درجه سلسیوس به‌طور کامل مخلوط و هم‌زده شد و در یک بالن ژوژه حجم مخلوط را به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و ۲۵ میلی‌لیتر از آن را در حضور معرف فنول فتالین با سود $\frac{1}{9}$ نرمال تیتر شد. درصد اسیدیته بر حسب اسید لاکتیک محاسبه شد (یک میلی‌لیتر سود $\frac{1}{9}$ معادل ۰/۰۱ گرم اسید لاکتیک است) (۱۶).

۴ ×حجم سود مصرفی بر حسب ml×۱۰= اسیدیته بر حسب درجه درنیک

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

بررسی خواص فیزیکی و مکانیکی فیلم

اندازه‌گیری ضخامت فیلم

ضخامت فیلم‌های تهیه شده با استفاده از میکرومتر دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ میلی‌متر در حداقل ۱۰ نقطه تصادفی اندازه‌گیری شد (۱۴، ۱۰).

اندازه‌گیری میزان رطوبت فیلم‌ها

پس از آنکه فیلم‌ها به تعادل رطوبتی رسیدند، میزان رطوبت آن‌ها تعیین شد. تکه‌های فیلم وزن شده در درون کپسولی که قبلا به وزن ثابت رسیده است قرار داده شد. برای اطمینان از این که کپسول‌ها به وزن ثابت رسید پس از خروج از آون در دسیکاتور قرار داده شد و پس از سردشدن با ترازو (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) توزین شدند. سپس کپسول‌های حاوی فیلم در آون در ۱۱۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت حرارت داده شد. سپس از روی کاهش وزن نمونه‌ها نسبت به نمونه اولیه درصد رطوبت تعیین شد. در این آزمایش تبخیر پلاستی سایزر از درون فیلم‌ها ناچیز درنظر گرفته شد (۱۷).

A/B×100 = درصد رطوبت برمبنای وزن مرطوب

A= وزن نمونه و آون

B= وزن آون

شفافیت فیلم

نمونه‌های فیلم به صورت چهار گوش بریده شدند و در سمت درونی سلول اسپکتروفوتومتر (طیف نورسنج) قرار گرفتند. طیف جذب (۲۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) برای هر نمونه با بکارگیری اسپکتروفوتومتر، ثبت شد و کدورت فیلم با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (۱۸).

ضخامت فیلم (میلی‌متر) /جذب در طول موج ۶۰۰ نانومتر = کدورت فیلم

اندازه‌گیری میزان عبور بخار آب از درون فیلم‌ها

برای انجام این آزمایش از روش شماره E ۹۶ مصوب ASTM استفاده گردید (۱۹). برای انجام آزمایش درون سلول‌های اندازه‌گیری نفوذپذیری، آب ریخته شد. سپس سطح سلول بوسیله روکش با استفاده از پارافین مذاب پوشانده شد. سلول‌ها درون دسیکاتور حاوی سیلیکاژل قرار گرفتند. آب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس، رطوبت ۱۰۰ درصد ایجاد می‌کند. اختلاف رطوبت در دو سمت روکش در دمای ۲۵ درجه سلسیوس گرادینت فشار بخاری معادل ۱۰۳ × ۲/۳۳۷ پاسکال ایجاد می‌کند. تغییرات وزن سلول‌ها طی زمان با استفاده از یک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. در تمام نمونه‌ها با رسم منحنی تغییرات وزن سلول نسبت به زمان، یک خط راست (R2>۰/۹۹) حاصل شد. نرخ انتقال بخار آب معادل با شیب خطوط حاصله تقسیم بر سطح سلول بود و از رابطه زیر حاصل شد. سطح سلول ها ۰/۰۰۲۸۷ متر مربع بود.

سطح سلول /شیب خط = نرخ انتقال بخار آب

اندازه‌گیری تنش کششی

آزمایشات کشش با استفاده از دستگاه Testometric (مدل M350-10CT، ساخت انگلستان) و با استفاده از روش شماره D882-91 مصوب ASTM انجام شد. فیلم‌ها به شکل مستطیلی به ابعاد ۱۰×۱ سانتی‌متر مربع بریده خواهند شد. فاصله بین دو فک دستگاه ۵۰ میلی‌متر و سرعت حرکت فک‌ها ۵۰ میلی‌متر در دقیقه انتخاب شد (۱۴).

ارزیابی حسی

در پایان دوره نگهداری، اثرات حسی تیمارها در پنیر فتا با استفاده از آزمایش قابلیت پذیرش حسی مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های پنیر فتا به‌طور مساوی به هفت قسمت با وزن ۱۰۰ گرم تقسیم و در ظروف شیشه‌ای به‌طور تصادفی کدگذاری شدند. ویژگی‌های حسی (رنگ و ظاهر، عطر و بو، طعم و مزه) تیمارهای تهیه شده، توسط گروه ۹ نفره انتخاب شده از افراد آموزش دیده به عنوان تست پنل ارزیابی شد. نمونه‌ها به‌طور یکسان و با کدگذاری بصورت انفرادی به آنها داده شد تا با استفاده از سیستم ۵ امتیازی ارزیابی شود (۳).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

آزمون‌های آماری با استفاده از برنامه نرم افزاری Spss نسخه‌ی ۲۱ انجام شد، آنالیز واریانس یک طرفه و دو طرفه (ANOVA) انجام گردید و تفاوت میان جفت میانگین‌ها بر اساس فواصل اطمینان با استفاده از آزمون Tukey-b انجام گرفت و سطح اطمینان معناداری P<۰/۰۵ لحاظ شد. به منظور آنالیز نتایج حسی از تست کروسکال والیس استفاده شد.

• یافته‌ها

زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم‌ها

زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم‌های مختلف طی دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج قابل مشاهده در نمودار ۱، به‌مرور کاهش زنده‌مانی مشاهده شد، اما میزان کاهش در هر تیمار متفاوت بود.

در روز اول، شمارش اولیه *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به‌ترتیب ۸/۹۰ Log cfu/g، ۸/۸۷ Log cfu/g و ۸/۸۸ Log cfu/g گزارش شد که تقریباً مقدار یکسانی را نشان می‌دهد (P >۰/۰۵). در

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

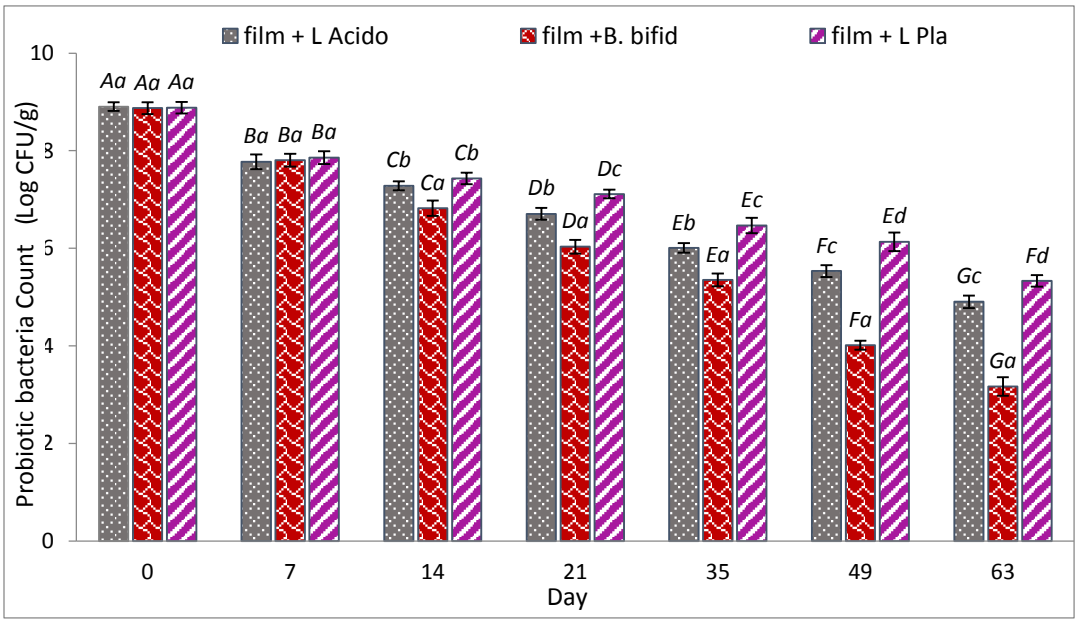
[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

روز ۱۴، کاهش بیشتری ثبت شد و زنده‌مانی *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* در نمونه‌های فیلم به‌طور معنادار از دو باکتری دیگر کمتر بود (P <۰/۰۵). در انتهای دوره نگهداری (روز ۶۳)، مقدار زنده‌مانی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم‌های مختلف به‌ترتیب به Log ۴/۹۰ cfu/g، ۳/۱۶ Log cfu/g و ۵/۳۳ Log cfu/g کاهش یافت که نشان‌دهنده افت تدریجی در طول دوره نگهداری است. طبق نتایج تفاوت معنادار در تعداد نهایی سه باکتری مشاهده شد به‌طوریکه، بیشترین زنده‌مانی مربوط به *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* و کمترین تعداد شمارش شده مربوط به *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* بود (P <۰/۰۵).

فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها

نتایج مقایسه اثر ضدمیکروبی فیلم‌های مختلف در برابر باکتری‌های بیماری‌زا در نمودار ۲ قابل مشاهده است. بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های مورد آزمایش علیه *سالمونلا تایفی‌موریوم*، *لیستریا مونوسایتوژنز*، اشریشیاکلی، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *آسپرژیلوس فلاووس* نشان داد که فیلم‌ها اثرات ضدمیکروبی متفاوتی ایجاد کرده‌اند (P <۰/۰۵) .

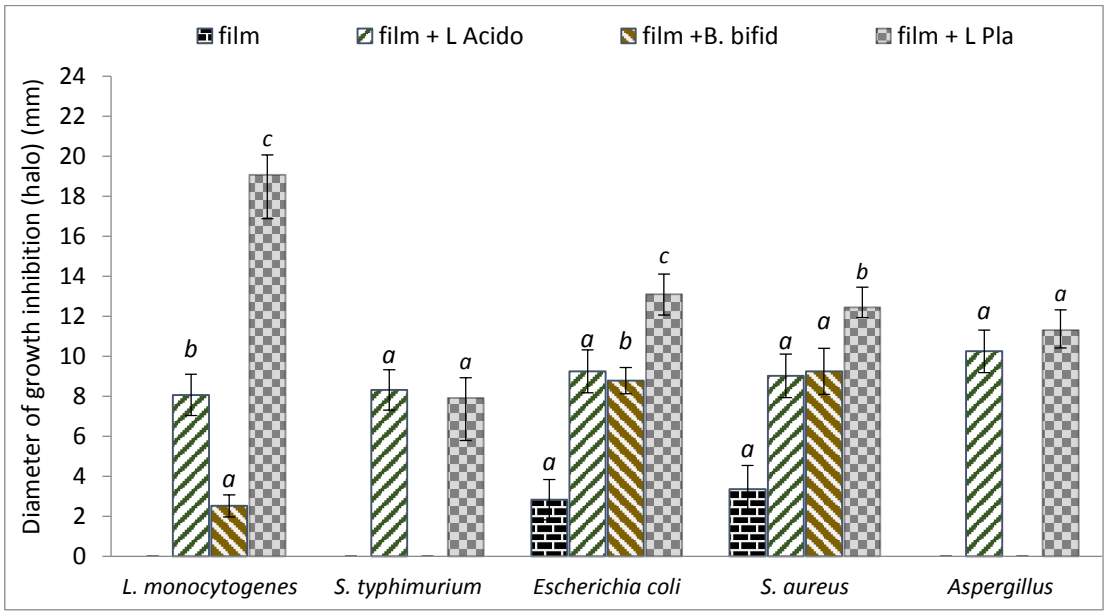
در بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های مختلف علیه *لیستریا مونوسایتوژنز* مشخص شد فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نسبت به فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* اثر قوی تری داشته و هاله عدم رشد وسیع‌تری (۱۹/۰۷ میلی‌متر) نشان داد درحالیکه فیلم‌های دیگر به ترتیب با ۸/۰۷ و ۲/۵۲ میلی‌متر قطر هاله عدم رشد) به‌طور معناداری اثرات ضد لیستریایی ایجاد کردند (P <۰/۰۵) و فیلم فاقد پروبیوتیک اثر ضد لیستریایی ایجاد نکرد. در بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های مختلف علیه *سالمونلا تایفی موریوم* مشخص شد فیلم‌های حاوی *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و فاقد پروبیوتیک فعالیت ضدمیکروبی نداشته اما فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* اثر داشته و تقریباً هاله یکسانی را نشان دادند (P >۰/۰۵). به‌طورکلی فیلم فاقد پروبیوتیک فقط علیه اشریشیاکلی (۲/۸۳ میلی‌متر) و *استافیلوکوکوس اورئوس* (۳/۳۵ میلی‌متر) فعالیت ضدمیکروبی نشان داد که به‌طور معنادار کمتر از فیلم‌های حاوی پروبیوتیک بود (P <۰/۰۵). هچنین در بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های مختلف علیه اشریشیاکلی و *استافیلوکوکوس اورئوس* بیشترین هاله عدم رشد مربوط به فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بود (P <۰/۰۵) و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* اثر مشابهی نشان دادند (P >۰/۰۵). از طرفی در بررسی فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های مختلف علیه *آسپرژیلوس فلاووس* نیز فقط فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به ترتیب با ۱۰/۲۵ و ۱۱/۳۲ میلی‌متر هاله عدم رشد ایجاد کردند که تقریباً مقدار مشابهی بود (P >۰/۰۵).



نمودار ۱. نتایج بررسی زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم‌های مختلف در طی نگهداری بر حسب log cfu/g (میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین فیلم‌های مختلف در یک روز (P <۰/۰۵) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار برای یک فیلم در روزهای مختلف است (P <۰/۰۵) .

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]



نمودار ۲. بررسی فعالیت ضدمیکروبی و هاله عدم رشد فیلم‌های تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات علیه برخی باکتری‌های بیماری‌زا (میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار نتایج فیلم‌های مختلف علیه یک باکتری بیماری‌زا است ($P <۰/۰۵$).

شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس*

نتایج بررسی تأثیر فیلم‌های مختلف تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات نسبت به کاغذ پارچمنت بر شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس* کواگولاز مثبت در پنیر فتا در نمودار ۳ قابل مشاهده است. بر اساس داده‌ها، تغییرات جمعیت *استافیلوکوکوس اورئوس* در طول ۶۳ روز نگهداری تحت استفاده از فیلم‌های پروبیوتیک‌دار، نسبت به گروه فیلم خالص (فیلم فاقد پروبیوتیک) و کاغذ پارچمنت تأثیر معناداری بر کنترل زنده‌مانی این پاتوژن داشتند ($P <۰/۰۵$) اما در تمام تیمارها روند کلی افزایشی بود، به‌طوری که در گروه‌های فیلم فاقد پروبیوتیک و نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* در طول دوره نگهداری بیشترین میزان و به ترتیب از ۲/۶۳ Log cfu/g و ۲/۶۹ Log cfu/g در ابتدای مطالعه به ۶/۳۲ Log cfu/g و ۶/۲۱ Log cfu/g در روز آخر رسید و با سایر گروه‌ها اختلاف معنادار داشتند ($P <۰/۰۵$) اما این دو تیمار تفاوت معناداری با یکدیگر نشان ندادند($P >۰/۰۵$). نمونه‌های دارای فیلم حاوی پروبیوتیک عملکرد بهتری در کنترل زنده‌مانی این پاتوژن داشتند به‌طوری که بهترین عملکرد برای فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* مشاهده شد که تعداد *استافیلوکوکوس اورئوس* کواگولاز مثبت از ۲/۵۷ Log cfu/g در ابتدای مطالعه به ۴/۲۲ Log cfu/g در روز آخر رسید و با سایر گروه‌ها اختلاف معنادار داشت ($P <۰/۰۵$). و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* اثر مشابهی نشان دادند ($P >۰/۰۵$).

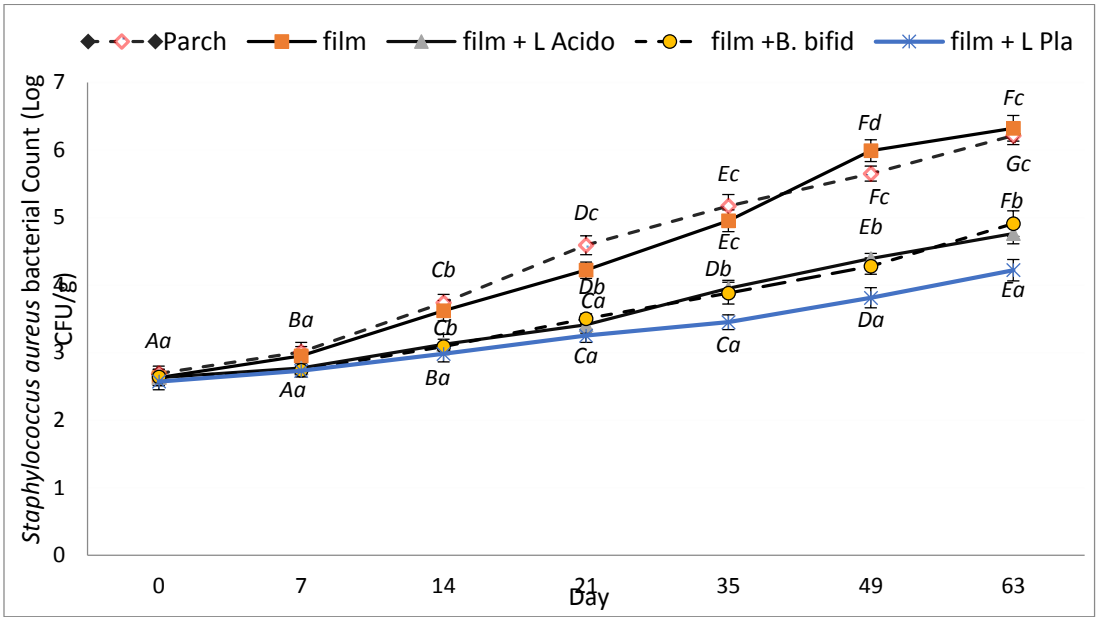
شمارش جمعیت کلی‌فرم‌ها در پنیر فتا

در نمودار ۴ نتایج بررسی تأثیر فیلم‌های مختلف تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات نسبت به کاغذ پارچمنت بر شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس* در پنیر فتا قابل مشاهده است.

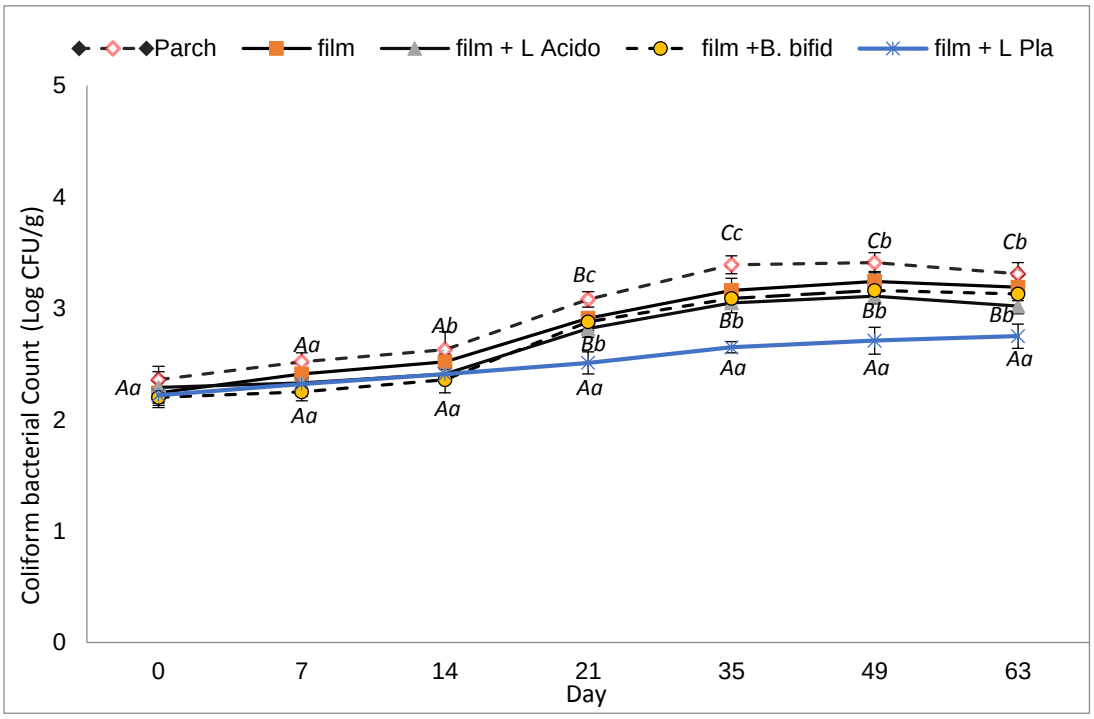
داده‌های حاصل نشان داد که جمعیت کلی‌فرم‌ها در تمام تیمارها با شیب ملایم طی نگهداری افزایشی بود. استفاده از فیلم‌های حاوی پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* نسبت به گروه کاغذ پارچمنت و گروه فیلم بدون پروبیوتیک تأثیر معنی‌داری در کاهش جمعیت کلی‌فرم‌ها طی نگهداری نداشت ($P >۰/۰۵$) و به ترتیب از Log ۲/۲۹ cfu/g و ۲/۲۰ Log cfu/g در ابتدای مطالعه به Log cfu/g ۳/۰۲ و ۳/۱۳ Log cfu/g در روز آخر رسیدند ($P >۰/۰۵$) اما در نتایج فیلم حاوی پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* تفاوت معنادار با سایر تیمارها مشاهده شد به‌طوری که از Log cfu/g ۲/۲۲ در روز اول، به ۲/۷۵ Log cfu/g در انتهای مطالعه رسید ($P <۰/۰۵$) و بهترین عملکرد را در کنترل جمعیت کلی‌فرم‌ها داشت.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]



نمودار ۳. .نتایج تأثیر فیلم‌های مختلف بر شمارش *استافیلوکوکوس اورئوس* کواگولاز مثبت در پنیر فتا طی نگهداری بر حسب log cfu/g (میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف در یک روز است (P <۰/۰۵) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار یک تیمار در روزهای مختلف است (P <۰/۰۵).



نمودار ۴. نتایج تأثیر فیلم‌های مختلف بر تغییرات جمعیت کلی‌فرم‌ها در پنیر فتا طی نگهداری بر حسب log cfu/g (میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف در یک روز است (P <۰/۰۵) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار یک تیمار در روزهای مختلف است (P <۰/۰۵).

تغییرات رشد کپک در پنیر فتا

در این مطالعه، روند رشد کپک‌ها در نمونه‌های دارای کاغذ پارچ منت، فیلم بدون پروبیوتیک و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* طی ۶۳ روز نگهداری مورد بررسی قرار گرفت (نمودار ۵) و مشاهده می‌شود که در تمام تیمارها روند کلی رشد کپک‌ها افزایشی بود. بیشترین میزان افزایش جمعیت کپک‌ها مربوط به به گروه فیلم بدون پروبیوتیک بود به این صورت که از ۱/۱۸ Log cfu/g در ابتدای مطالعه به Log cfu/g ۵/۹۶ در روز آخر رسید. نتایج نشان داد که استفاده از فیلم‌های

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

حاوی پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* نسبت به گروه فیلم بدون پروبیوتیک تأثیر معنی‌داری در کاهش جمعیت کپک‌ها طی نگهداری داشتند (P <۰/۰۵) داده‌ها نشان داد که استفاده از کاغذ پارچمنت نسبت به گروه فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در کنترل جمعیت کپک‌ها موثرتر عمل کرد و تفاوت معنی‌داری داشته است (P <۰/۰۵) اما مؤثرترین تیمار نمونه‌های پنیر دارای فیلم حاوی پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بود که از ۱/۲۱ Log cfu/g در ابتدای مطالعه به ۳/۵۶ Log cfu/g در روز آخر رسید (P <۰/۰۵).

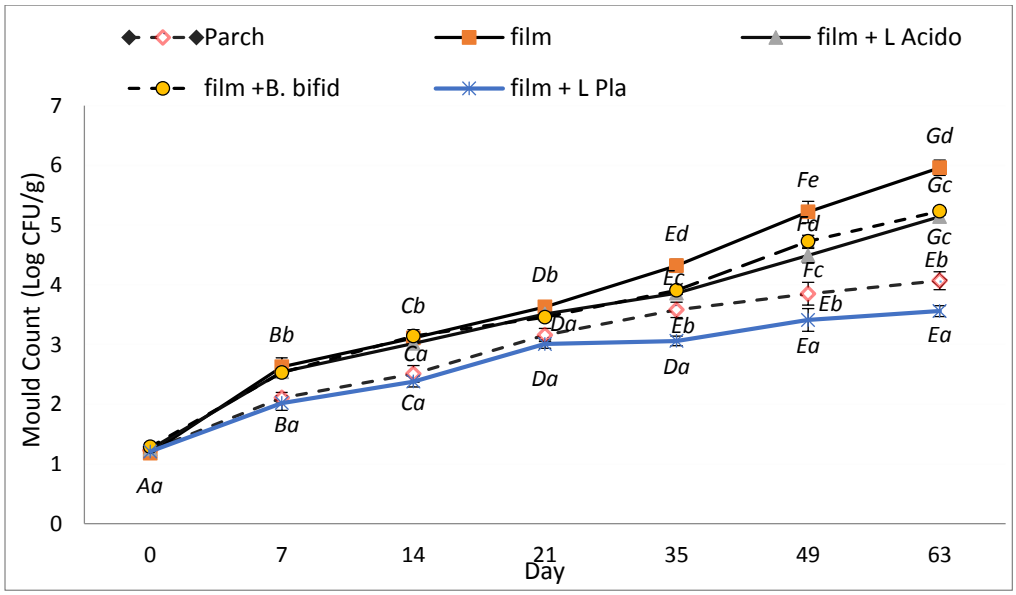
اسیدیته و pH

نتایج بررسی pH در جدول ۱ ارائه شده است. داده‌های حاصل نشان داد که طی ۶۳ روز در نمونه‌های پنیر دارای فیلم حاوی پروبیوتیک کاهش یافت و کمترین میزان pH در نمونه‌های پنیر دارای فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بدست آمد که به ترتیب از ۴/۶۳ و ۴/۶۰ در روز صفر به ۴/۴۴ و ۴/۴۳ در روز آخر رسیدند و نتایج مشابهی نشان دادند (P >۰/۰۵). در این بین در نمونه‌های پنیر دارای فیلم حاوی *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* به میزان کمی کاهش در میزان pH را نشان داد، اما میزان pH در نمونه‌های پنیر دارای کاغذ پارچمنت و فیلم بدون پروبیوتیک طی نگهداری افزایش یافت و به ترتیب از ۴/۶۲ و ۴/۶۵ در روز صفر به ۴/۸۹ و ۴/۸۶ در روز آخر رسیدند و نتایج مشابهی نشان دادند (P >۰/۰۵).

جدول ۱. میانگین تغییرات pH پنیر در تیمارهای مختلف در طی نگهداری (میانگین±انحراف معیار).

روز	تیمار				
	Parch	film	film + L. Acid	film +B. bifid	film + L. Plan
صفر	۴/۶۲ ± ۰/۰۵^{Aa}	۴/۶۵ ± ۰/۰۲^{Aa}	۴/۶۳ ± ۰/۰۳^{Aa}	۴/۶۱ ± ۰/۰۲^{Aa}	۴/۶۰ ± ۰/۰۳^{Aa}
۷	۴/۶۶ ± ۰/۰۴^{Aa}	۴/۶۷ ± ۰/۰۱^{Aa}	۴/۶۵ ± ۰/۰۱^{Aa}	۴/۶۴ ± ۰/۰۲^{Aa}	۴/۶۳ ± ۰/۰۲^{Aa}
۱۴	۴/۶۷ ± ۰/۰۱^{Aa}	۴/۷۰ ± ۰/۰۲^{Ba}	۴/۶۸ ± ۰/۰۳^{Aa}	۴/۶۶ ± ۰/۰۲^{Aa}	۴/۶۷ ± ۰/۰۱^{Aa}
۲۱	۴/۷۱ ± ۰/۰۳^{Ab}	۴/۷۲ ± ۰/۰۱^{Bb}	۴/۶۱ ± ۰/۰۱^{Aa}	۴/۶۵ ± ۰/۰۰^{Aa}	۴/۶۳ ± ۰/۰۲^{Aa}
۳۵	۴/۷۷ ± ۰/۰۲^{Bb}	۴/۸۰ ± ۰/۰۳^{Cb}	۴/۵۶ ± ۰/۰۵^{Aa}	۴/۶۳ ± ۰/۰۲^{Aa}	۴/۵۸ ± ۰/۰۱^{Aa}
۴۹	۴/۸۵ ± ۰/۰۳^{Cd}	۴/۸۳ ± ۰/۰۱^{Cd}	۴/۵۰ ± ۰/۰۱^{Ab}	۴/۶۱ ± ۰/۰۰^{Ac}	۴/۴۷ ± ۰/۰۰^{Ba}
۶۳	۴/۸۹ ± ۰/۰۴^{Cc}	۴/۸۶ ± ۰/۰۱^{Dc}	۴/۴۴ ± ۰/۰۳^{Ba}	۴/۵۵ ± ۰/۰۲^{Bb}	۴/۴۳ ± ۰/۰۱^{Ca}

حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف در یک روز است (P <۰/۰۵) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار یک تیمار در روزهای مختلف است (P <۰/۰۵).



نمودار ۵. نتایج تأثیر فیلم‌های مختلف بر شمارش کپک‌ها در پنیر فتا طی نگهداری بر حسب log cfu/g (میانگین±انحراف معیار).

حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف در یک روز است (P <۰/۰۵) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار یک تیمار در روزهای مختلف است (P <۰/۰۵).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

همچنین در جزئیات تغییرات اسیدیته در نمونه‌های پنیر در جدول ۲ نشان داده شده است. در تمام نمونه‌ها اسیدیته با شیب ملایم طی نگهداری افزایشی بود. میزان اسیدیته در پنیر های دارای کاغذ پارچمنت و گروه فیلم بدون پروبیوتیک تفاوت معنی‌داری طی نگهداری نشان ندادند ($P>۰/۰۵$) اما همانطور که مشاهده می‌شود، در پایان نگهداری بیشترین مقدار اسیدیته در تیمارهای حاوی پروبیوتیک مشاهده شد ($P<۰/۰۵$) به‌طوریکه در نمونه‌های دارای فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به ترتیب از ۰/۷۴ و ۰/۷۲ در روز صفر به ۱/۸۰ و ۱/۸۸ در روز آخر رسید و نتایج مشابهی نشان دادند ($P>۰/۰۵$).

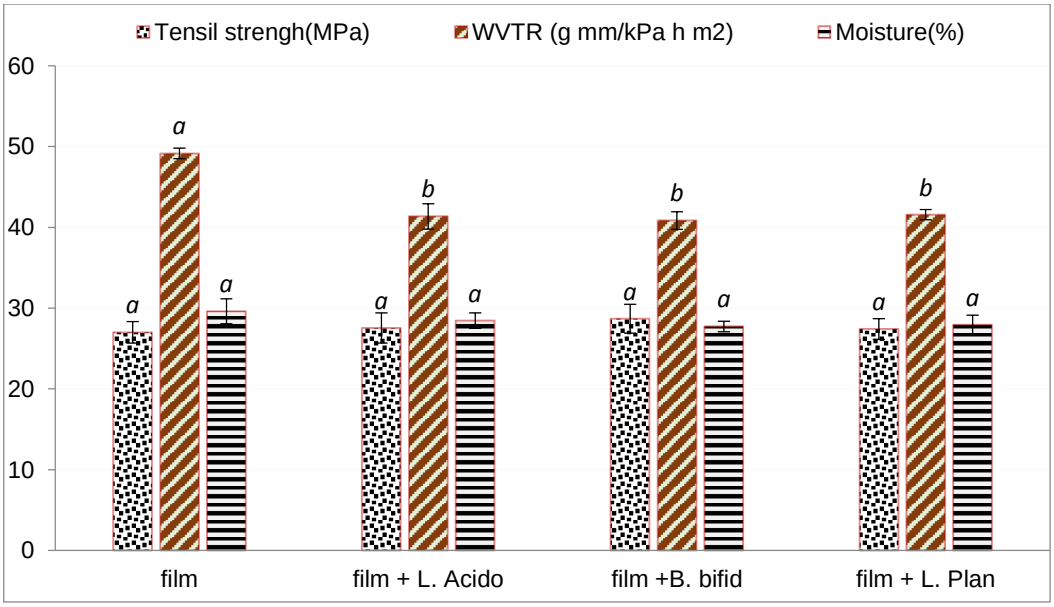
نتایج اندازه‌گیری خواص فیزیکی فیلم‌ها

در این مطالعه، ویژگی‌های فیزیکی فیلم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آنها در نمودارهای نمودار ۶ و ۷ آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود افزودن پروبیوتیک‌ها به فیلم‌ها، تأثیر معنی‌داری بر خواص شفافیت (کدورت) و میزان انتقال بخار آب و این فیلم‌ها نسبت به فیلم بدون پروبیوتیک داشت ($P<۰/۰۵$) به‌طوریکه افزودن پروبیوتیک‌های *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* موجب کاهش میزان انتقال بخار آب و افزایش شفافیت شد اما این فیلم‌ها با یکدیگر تفاوت معناداری نشان ندادند ($P>۰/۰۵$). اما در ارزیابی ویژگی‌های استحکام کششی، درصد رطوبت و شاخص ضخامت در هیچ کدام از فیلم‌ها تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P>۰/۰۵$).

جدول ۲. میانگین تغییرات اسیدیته پنیر در تیمارهای مختلف در طی نگهداری (میانگین±انحراف معیار).

روز	تیمار				
	Parch	film	film + L. Acid	film +B. bifid	film + L. Plan
صفر	۰/۷۳ ± ۰/۰۲^{Aa}	۰/۷۷ ± ۰/۰۱^{Aa}	۰/۷۴ ± ۰/۰۴^{Aa}	۰/۷۵ ± ۰/۰۲^{Aa}	۰/۷۲ ± ۰/۰۳^{Aa}
۷	۰/۷۵ ± ۰/۰۵^{Aa}	۰/۸۰ ± ۰/۰۳^{Aa}	۰/۸۱ ± ۰/۰۳^{Aa}	۰/۸۲ ± ۰/۰۲^{Ba}	۰/۸۳ ± ۰/۰۴^{Ba}
۱۴	۰/۷۹ ± ۰/۰۳^{Aa}	۰/۸۲ ± ۰/۰۲^{Aa}	۰/۹۴ ± ۰/۰۴^{Bb}	۰/۹۱ ± ۰/۰۱^{Cb}	۰/۹۸ ± ۰/۰۱^{Cb}
۲۱	۰/۸۸ ± ۰/۰۰^{Ba}	۰/۸۸ ± ۰/۰۱^{Ba}	۴/۱۳ ± ۰/۰۲^{Cb}	۱/۰۸ ± ۰/۰۳^{Db}	۱/۱۶ ± ۰/۰۶^{Db}
۳۵	۰/۹۱ ± ۰/۰۱^{Ca}	۰/۹۲ ± ۰/۰۳^{Ba}	۴/۴۵ ± ۰/۰۲^{Dc}	۱/۳۵ ± ۰/۰۲^{Eb}	۱/۵۳ ± ۰/۰۵^{Ed}
۴۹	۰/۹۵ ± ۰/۰۴^{Ca}	۱/۹۷ ± ۰/۰۲^{Ba}	۱/۶۱ ± ۰/۰۱^{Ec}	۱/۵۰ ± ۰/۰۲^{Fb}	۱/۶۳ ± ۰/۰۲^{Fc}
۶۳	۱/۰۳ ± ۰/۰۱^{Da}	۱/۰۱ ± ۰/۰۰^{Ca}	۱/۸۰ ± ۰/۰۱^{Fc}	۱/۶۵ ± ۰/۰۲^{Gb}	۱/۸۸ ± ۰/۰۷^{Gc}

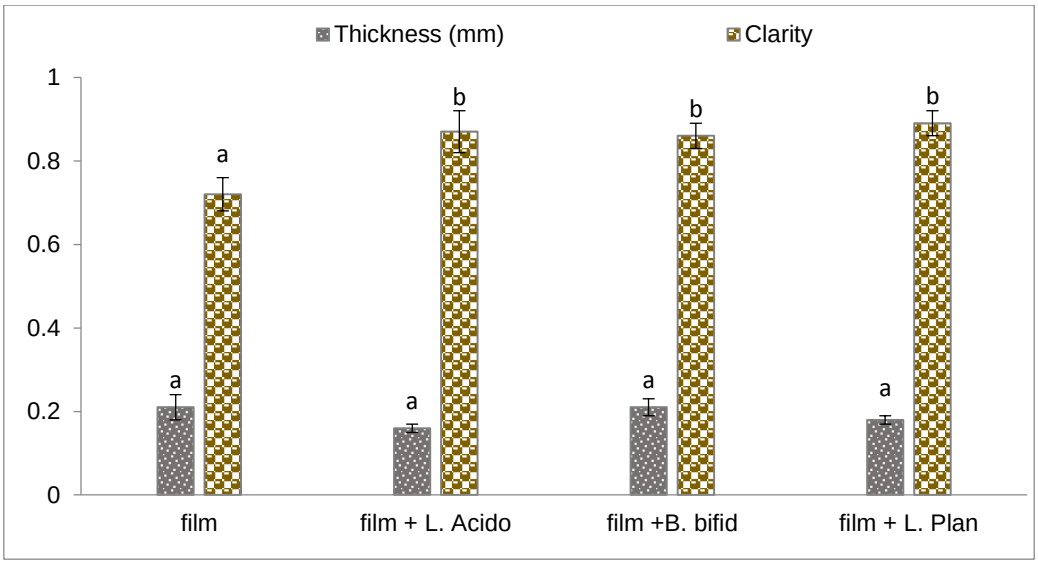
حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار تیمارهای مختلف در یک روز است ($P<۰/۰۵$) و حروف بزرگ غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار یک تیمار در روزهای مختلف است ($P<۰/۰۵$).



نمودار ۶. نتایج بررسی ویژگی‌های استحکام کششی، میزان انتقال بخار آب، درصد رطوبت و شاخص تورم در فیلم‌های تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات (میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین فیلم‌های مختلف در یک ویژگی فیزیکی است ($P<۰/۰۵$).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]



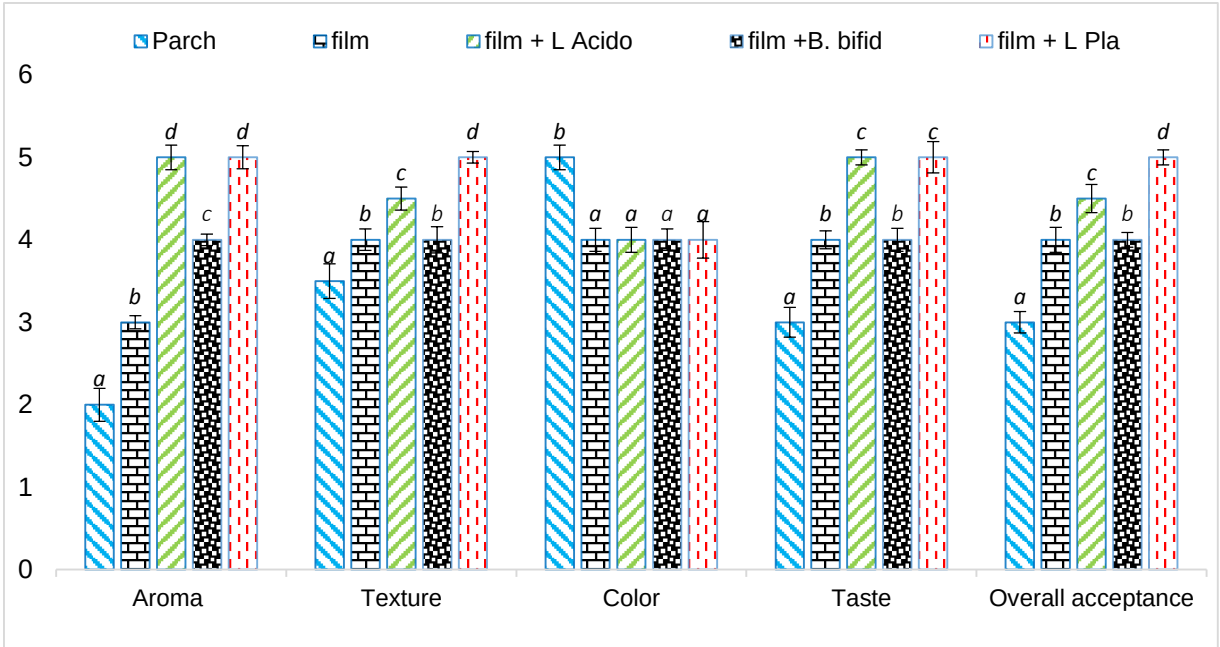
نمودار ۷. نتایج بررسی ویژگی‌های ضخامت و شفافیت (کدورت) در فیلم‌های تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات

(میانگین±انحراف معیار). حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین فیلم‌های مختلف در یک ویژگی فیزیکی است (P <۰/۰۵).

نتایج ارزیابی حسی تیمارهای مختلف پنیر فتا

در این مطالعه، ویژگی‌های حسی شامل عطر، بافت، طعم، رنگ و پذیرش‌کلی در نمونه‌های پنیر دارای کاغذ پارچمنت، فیلم بدون پروبیوتیک و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به مورد ارزیابی قرار گرفت (نمودار ۸).

مطابق نتایج، در ارزیابی عطر و طعم، نمونه‌های دارای فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بالاترین امتیاز (۵) را در این شاخص دریافت کردند و نمونه‌های پنیر فتا پوشش داده شده با کاغذ پارچمنت کمترین امتیاز (۳) را دریافت کرد (P <۰/۰۵). در ارزیابی بافت نیز نمونه‌های دارای فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بالاترین امتیاز (۵) و نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت کمترین امتیاز (۳/۵) را دریافت کردند (P <۰/۰۵) اما در پارامتر رنگ نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت بیشترین امتیاز و نمونه‌های پروبیوتیک‌دار و فیلم خالص به‌طور یکسان کمترین امتیاز را دریافت کردند (P >۰/۰۵). همچنین در ارزیابی پذیرش‌کلی نمونه‌ها، مشخص شد که گروه‌ها تفاوت معنادار نشان دادند (P <۰/۰۵) به‌طوری که نمونه‌های دارای فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بالاترین امتیاز را در این شاخص دریافت کرد و نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت کمترین امتیاز را دریافت کردند.



نمودار ۸. نتایج ارزیابی حسی پنیر فتا پوشش داده شده با کاغذ پارچمنت و فیلم‌های مختلف تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات

حروف کوچک غیر مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارهای مختلف در یک ویژگی است (P <۰/۰۵).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

• بحث

بررسی بقاء پروبیوتیک‌ها در فیلم

نتایج این پژوهش نشان داد که زنده‌مانی باکتری‌های پروبیوتیک *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در فیلم‌های تهیه شده بر پایه ضایعات مرکبات طی دوره نگهداری ۹ هفته‌ای به‌طور تدریجی کاهش یافت. کاهش زنده‌مانی پروبیوتیک‌ها در فیلم خوراکی پدیده‌ای گزارش‌شده در مطالعات پیشین است و معمولاً به عواملی نظیر تنش‌های اسمزی، کاهش فعالیت آبی، محدودیت انتقال مواد مغذی، نفوذ اکسیژن و تجمع متابولیت‌های اسیدی در ترکیبات فیلم نسبت داده می‌شود (۲۱، ۲۰).

شباهت شمارش اولیه پروبیوتیک‌ها در روز نخست نشان‌دهنده یکنواختی فرآیند تلقیح و مناسب بودن شرایط اولیه تشکیل فیلم برای هر سه سویه است. این موضوع بیانگر آن است که ترکیبات فیلم تهیه‌شده از ضایعات مرکبات در ابتدای نگهداری محیط مناسبی برای استقرار سلول‌های پروبیوتیک فراهم کرده است، یافته‌ای که با گزارش‌های مشابه در فیلم‌های پلی‌ساکاریدی و فیبری هم‌خوانی دارد (۲۲). با پیشرفت زمان نگهداری، کاهش معنی‌دار زنده‌مانی، به‌ویژه پس از روز چهاردهم، مشاهده شد که می‌تواند ناشی از کاهش تدریجی رطوبت فیلم، افزایش غلظت اسیدهای آلی و محدود شدن تبادل گازها در ساختار متراکم فیلم باشد (۲۳).

در این میان، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* کمترین پایداری را در طول نگهداری نشان داد. حساسیت بالاتر این سویه را می‌توان به ماهیت بی‌هوازی شدید بیفیدوباکتریوم‌ها و حساسیت آن‌ها به حضور اکسیژن و تنش‌های اکسیداتیو نسبت داد (۲۴). علاوه بر این، گزارش شده است که بیفیدوباکتریوم‌ها در مقایسه با لاکتوباسیل‌ها مقاومت کمتری نسبت به تغییرات pH و کاهش فعالیت آبی دارند، به‌ویژه در سامانه‌های نیمه‌خشک مانند فیلم‌های خوراکی (۲۵). در مقابل، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بیشترین زنده‌مانی را در پایان دوره نگهداری نشان داد. این برتری را می‌توان به توانایی بالای این سویه در تحمل شرایط اسیدی، سازگاری با ترکیبات گیاهی و فیبری و مقاومت نسبت به تنش‌های محیطی نسبت داد (۲۶). *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* قادر است از کربوهیدرات‌های پیچیده و فیبرهای موجود در ضایعات مرکبات، به‌ویژه ترکیباتی نظیر پکتین، بهره‌برداری کرده و از این طریق بقای خود را در ترکیبات فیلم حفظ نماید؛ موضوعی که در مطالعات مرتبط با سامانه‌های پری‌بیوتیک–پروبیوتیک نیز گزارش شده است (۲۷).

لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس نیز عملکردی بینابینی از نظر زنده‌مانی نشان داد. اگرچه کاهش معنی‌داری در طول نگهداری مشاهده شد، اما بقای این سویه به‌طور قابل توجهی بیشتر از *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* باقی ماند. این یافته با مطالعات پیشین که مقاومت بالاتر لاکتوباسیل‌ها را در برابر تنش‌های محیطی در فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر گزارش کرده‌اند، هم‌راستا است (۲۸).

از دیدگاه کاربردی، نتایج این بخش نشان می‌دهد که انتخاب سویه پروبیوتیک نقش کلیدی در طراحی فیلم‌های فعال دارد. دستیابی به شمارش نهایی بالاتر برای *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* در پایان دوره نگهداری، حداقل مقدار توصیه‌شده برای ایجاد اثرات عملکردی پروبیوتیک‌ها در مواد غذایی را برآورده می‌سازد (۲۹).

فعالیت ضدمیکروبی فیلم‌های پروبیوتیک

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که افزودن پروبیوتیک‌ها به فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر منجر به ایجاد خاصیت ضدمیکروبی فعال و وابسته به نوع سویه می‌شود. این رفتار با ماهیت فیلم‌های فعال هم‌خوانی دارد، زیرا حضور میکروارگانیسم‌های زنده می‌تواند از طریق تولید متابولیت‌های ضدمیکروبی و تغییر ریزمحیط سطح ماده غذایی، رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا را مهار کند. مطالعات پیشین نیز گزارش کرده‌اند که فیلم‌های حاوی باکتری‌های اسیدلاکتیک در مقایسه با فیلم‌های غیرفعال، کارایی بالاتری در کنترل پاتوژن‌های غذایی دارند (۲۳، ۲۱).

تفاوت مشاهده‌شده در الگوی مهار میکروارگانیسم‌ها را می‌توان به ویژگی‌های فیزیولوژیک سویه‌های پروبیوتیک نسبت داد. *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به‌طور گسترده به‌عنوان سویه‌ای با توان بالای تولید ترکیبات ضدمیکروبی شناخته می‌شود و قادر است طیف وسیعی از اسیدهای آلی، باکتریوسین‌ها و سایر متابولیت‌های بازدارنده را تولید کند. این ویژگی موجب می‌شود اثر مهاری آن نه‌تنها محدود به باکتری‌های گرم‌مثبت نباشد، بلکه برخی باکتری‌های گرم‌منفی را نیز در بر گیرد (۳۰، ۲۶). در مقابل، بیفیدوباکتریوم‌ها معمولاً دامنه اثر محدودتری داشته و حساسیت بیشتری به شرایط محیطی فیلم‌ها نشان می‌دهند، امری که می‌تواند کاهش کارایی ضدمیکروبی آن‌ها را توضیح دهد (۲۴).

رفتار متفاوت فیلم‌ها در برابر پاتوژن‌های مختلف نیز قابل تفسیر است. باکتری‌های گرم‌منفی به دلیل ساختار دیواره سلولی پیچیده‌تر و حضور غشای خارجی حاوی لیپوپلی‌ساکاریدها، مقاومت بیشتری نسبت به ترکیبات ضدمیکروبی طبیعی دارند. بنابراین، مهار این گروه از

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

میکروارگانیسم‌ها معمولاً نیازمند سویه‌هایی با توان متابولیکی بالاتر یا تولید ترکیبات فعال قوی‌تر است، ویژگی‌ای که در لاکتوباسیل‌ها بیش از بیفیدوباکتریوم‌ها گزارش شده است (۳۲، ۳۱).

مشاهده فعالیت محدود فیلم فاقد پروبیوتیک علیه برخی میکروارگانیسم‌ها می‌تواند به حضور ترکیبات زیست‌فعال ذاتی در ترکیبات ضایعات مرکبات نسبت داده شود. پلی‌فنول‌ها، ترکیبات فنولی و اسانس‌های باقی‌مانده در پوست مرکبات دارای خاصیت ضدمیکروبی ذاتی هستند، اما اثر آن‌ها به‌تنهایی معمولاً ضعیف‌تر از سامانه‌های ترکیبی پروبیوتیک–فیبر است. ترکیب این ترکیبات با فعالیت زیستی پروبیوتیک‌ها می‌تواند اثر هم‌افزایانه‌ای ایجاد کند که منجر به افزایش کارایی ضدمیکروبی فیلم می‌شود (۳۱، ۲۳).

در مورد مهار رشد قارچ‌ها، عملکرد بهتر فیلم‌های حاوی لاکتوباسیل‌ها را می‌توان به توان این باکتری‌ها در تولید متابولیت‌های ضدقارچی خاص نسبت داد. اسیدهای آلی، اسید فنیل‌لاکتیک و سایر ترکیبات کم‌مولکول تولیدشده توسط لاکتوباسیل‌ها نقش مهمی در مهار رشد قارچ‌های مولد سموم ایفا می‌کنند، در حالی که بیفیدوباکتریوم‌ها معمولاً ظرفیت محدودی برای تولید چنین ترکیباتی دارند (۳۳).

تغییرات جمعیت *استافیلوکوکوس اورئوس* در پنیر فتا

نتایج این بخش نشان می‌دهد که نوع پوشش مورد استفاده نقش تعیین‌کننده‌ای در کنترل زنده‌مانی *استافیلوکوکوس اورئوس* کواگولاز مثبت در پنیر فتا طی دوره نگهداری دارد. اگرچه در تمامی تیمارها روند کلی افزایش جمعیت این پاتوژن مشاهده شد، اما شدت این افزایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر حضور یا عدم حضور پروبیوتیک‌ها در ساختار فیلم قرار گرفت. این یافته با ماهیت پنیر فتا به‌عنوان یک محصول با pH نسبتاً بالا، فعالیت آبی مناسب و محتوای غنی مواد مغذی سازگار است؛ شرایطی که بستر مساعدی برای رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* فراهم می‌کند (۳۴).

عملکرد ضعیف‌تر کاغذ پارچمنت و فیلم فاقد پروبیوتیک در مهار این پاتوژن نشان می‌دهد که بسته‌بندی‌های غیرفعال عمدتاً نقش محافظ فیزیکی دارند و فاقد توانایی ایجاد تغییرات زیستی در ریزمحیط سطح پنیر هستند. این نوع پوشش‌ها اگرچه می‌توانند در حفظ رطوبت و یکنواختی pH مؤثر باشند، اما به دلیل نداشتن خاصیت ضدمیکروبی فعال، قادر به مهار رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا نیستند. مطالعات پیشین نیز تأکید کرده‌اند که استفاده از مواد بسته‌بندی غیرفعال به‌تنهایی نمی‌تواند رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* را در پنیرهای نرم و نیمه‌نرم به‌طور مؤثر کنترل کند (۳۵).

در مقابل، فیلم‌های حاوی پروبیوتیک توانستند رشد *استافیلوکوکوس اورئوس* را به‌طور معنی‌داری محدود کنند که این امر بیانگر عملکرد فعال این سامانه‌های بسته‌بندی است. مکانیسم‌های متعددی برای این اثر مهاری پیشنهاد شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به کاهش pH موضعی در سطح پنیر، تولید اسیدهای آلی، رقابت برای مواد مغذی و فضا، و ترشح ترکیبات ضدمیکروبی نظیر باکتریوسین‌ها اشاره کرد (۳۶، ۳۰). چنین مکانیسم‌هایی به‌ویژه در محیط‌های سطحی مانند پنیر فتا، که رشد میکروبی عمدتاً در سطح رخ می‌دهد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند.

از منظر ایمنی غذایی، کنترل *استافیلوکوکوس اورئوس* اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا این باکتری قادر به تولید انتروتوکسین‌های مقاوم به حرارت است که حتی در صورت کاهش جمعیت باکتری نیز می‌توانند خطرات جدی برای سلامت مصرف‌کننده ایجاد کنند. بنابراین، کاهش سرعت رشد این پاتوژن در طول نگهداری، حتی بدون حذف کامل آن، می‌تواند نقش مهمی در کاهش ریسک ایمنی محصول ایفا کند (۳۷).

تغییرات جمعیت کلی‌فرم‌ها در پنیر فتا

کلی‌فرم‌ها به‌عنوان شاخص‌های بهداشتی، حضور و رشد میکروارگانیسم‌های این گروه در پنیر فتا را می‌توان بازتابی از شرایط فرآوری، آلودگی ثانویه و قابلیت رشد باکتری‌های گرم‌منفی در طول نگهداری دانست. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اگرچه روند کلی تغییرات جمعیت کلی‌فرم‌ها در تمام تیمارها افزایشی بوده است، اما نوع فیلم مورد استفاده نقش تعیین‌کننده‌ای در شدت این افزایش ایفا کرده است. این مشاهده با ویژگی‌های ذاتی پنیر فتا، از جمله فعالیت آبی نسبتاً بالا و ساختار نرم، هم‌راستا است؛ شرایطی که امکان رشد تدریجی کلی‌فرم‌ها را حتی در حضور نمک فراهم می‌کند (۳۴).

عدم تفاوت معنی‌دار میان کاغذ پارچمنت، فیلم فاقد پروبیوتیک و فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* نشان می‌دهد که این سامانه‌ها توان محدودی در مهار باکتری‌های گرم‌منفی شاخص دارند. این موضوع می‌تواند به مقاومت ذاتی کلی‌فرم‌ها نسبت به بسیاری از متابولیت‌های ضدمیکروبی طبیعی نسبت داده شود. وجود غشای خارجی حاوی لیپوپلی‌ساکارید در باکتری‌های گرم‌منفی، نفوذ اسیدهای آلی و سایر ترکیبات ضدمیکروبی را محدود می‌کند و در نتیجه اثربخشی بسیاری از باکتری‌های اسیدلاکتیک علیه این گروه کاهش می‌یابد (۳۱، ۲۴).

نکته قابل توجه دیگر، نقش بالقوه ترکیبات ضایعات مرکبات در تقویت اثر پروبیوتیک‌ها است. ترکیبات فنولی، پکتین و سایر

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

اجزای زیست‌فعال موجود در پوست مرکبات ممکن است با فعالیت پروبیوتیک‌ها اثر هم‌افزایانه ایجاد کنند. هرچند این ترکیبات به‌تنهایی معمولاً اثر مهاری قوی بر کلی‌فرم‌ها ندارند، اما در ترکیب با متابولیت‌های تولیدی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* می‌توانند شرایط نامطلوب‌تری برای رشد این باکتری‌ها فراهم آورند (۲۳).

از دیدگاه ایمنی و کیفیت، کنترل جمعیت کلی‌فرم‌ها اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا افزایش این شاخص می‌تواند نشان‌دهنده کاهش کیفیت بهداشتی محصول و افزایش احتمال حضور سایر پاتوژن‌های گرم‌منفی باشد. بنابراین، حتی کاهش سرعت رشد کلی‌فرم‌ها در طول نگهداری می‌تواند به‌عنوان یک مزیت کاربردی در نظر گرفته شود، به‌ویژه در پنیرهای سنتی و نیمه‌سنتی مانند پنیر فتا که معمولاً در شرایط سردخانه‌ای طولانی‌مدت نگهداری می‌شوند (۳۵).

تغییرات رشد کپک‌ها در پنیر فتا

رشد کپک‌ها یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده ماندگاری پنیر فتا به شمار می‌رود، زیرا این گروه از میکروارگانیسم‌ها به‌خوبی قادرند در شرایط نگهداری سرد، فعالیت آبی نسبتاً بالا و حضور نمک به رشد خود ادامه دهند. نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه در تمامی تیمارها افزایش تدریجی جمعیت کپک‌ها مشاهده شد، اما شدت این افزایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نوع پوشش و حضور پروبیوتیک‌ها قرار گرفت. این رفتار با گزارش‌های پیشین درباره پنیرهای نرم و آب‌نمکی هم‌خوانی دارد که در آن‌ها مهار کامل کپک‌ها بدون استفاده از عوامل فعال، معمولاً امکان‌پذیر نیست (۳۴).

عملکرد ضعیف‌تر فیلم فاقد پروبیوتیک در کنترل رشد کپک‌ها نشان می‌دهد که ترکیبات فیلم به‌تنهایی، حتی اگر بر پایه ترکیبات زیست‌تخریب‌پذیر طراحی شده باشد، توان کافی برای مهار میکروارگانیسم‌های قارچی ندارد. این یافته تأیید می‌کند که فیلم‌های غیرفعال عمدتاً نقش سد فیزیکی را ایفا می‌کنند و قادر به ایجاد تغییرات شیمیایی یا زیستی مؤثر در سطح پنیر نیستند. در چنین شرایطی، کپک‌ها می‌توانند با استفاده از رطوبت سطحی و مواد مغذی در دسترس، به رشد خود ادامه دهند (۳۵).

کاهش رشد کپک‌ها در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* بیانگر نقش بازدارنده باکتری‌های اسیدلاکتیک در کنترل قارچ‌ها است. این اثر مهاری عمدتاً به تولید متابولیت‌های ضدقارچی نظیر اسیدهای آلی، پراکسید هیدروژن و برخی ترکیبات فرار نسبت داده می‌شود که می‌توانند رشد و جوانه‌زنی اسپورهای قارچی را محدود کنند (۳۳). با این حال، شدت این اثر در این سویه‌ها محدود بوده که می‌تواند ناشی از دامنه نسبتاً باریک ترکیبات ضدقارچی تولیدی یا حساسیت آن‌ها به شرایط محیطی سطح پنیر باشد.

نکته قابل توجه، عملکرد بهتر کاغذ پارچمنت نسبت به برخی فیلم‌های پروبیوتیک در مهار رشد کپک‌ها است. این موضوع می‌تواند به ویژگی‌های فیزیکی پارچمنت، از جمله کاهش تماس مستقیم سطح پنیر با اکسیژن و ایجاد شرایط نامساعدتر برای رشد قارچ‌های هوازی نسبت داده شود. از آنجا که اغلب کپک‌ها برای رشد به اکسیژن نیاز دارند، محدودیت انتقال گاز می‌تواند نقش مؤثری در کاهش رشد آن‌ها ایفا کند، حتی در غیاب ترکیبات ضدمیکروبی فعال (۳۴). در میان فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر، برتری عملکرد فیلم حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* نشان‌دهنده توان بالاتر این سویه در مهار قارچ‌ها است. *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به‌عنوان یکی از قوی‌ترین تولیدکنندگان ترکیبات ضدقارچی در میان باکتری‌های اسیدلاکتیک شناخته می‌شود و قادر است متابولیت‌هایی مانند اسید فنیل‌لاکتیک، اسید هیدروکسی‌فنیل‌لاکتیک و سایر ترکیبات کم‌مولکول را تولید کند که اثر مهاری قابل توجهی بر کپک‌های مولد فساد دارند (۳۳، ۲۶). افزون بر این، سازگاری بالای این سویه با ترکیبات فیبری حاصل از ضایعات مرکبات می‌تواند به حفظ فعالیت متابولیکی آن در طول دوره نگهداری کمک کرده و در نتیجه، اثر ضدقارچی پایدارتری ایجاد کند.

از منظر کاربردی، کنترل رشد کپک‌ها اهمیت دوچندانی دارد، زیرا علاوه بر کاهش کیفیت حسی، برخی گونه‌های کپک قادر به تولید مایکوتوکسین‌ها هستند که سلامت مصرف‌کننده را به‌طور جدی تهدید می‌کنند. بنابراین، کاهش سرعت رشد کپک‌ها در طول نگهداری، حتی بدون حذف کامل آن‌ها، می‌تواند نقش مهمی در افزایش ایمنی و ماندگاری پنیر فتا ایفا کند (۳۱).

تغییرات pH و اسیدیته پنیر فتا

کاهش pH در نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با فیلم‌های حاوی پروبیوتیک را می‌توان به فعالیت متابولیکی باکتری‌های اسیدلاکتیک و تولید اسیدهای آلی نسبت داد. باکتری‌هایی نظیر *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* به‌طور مؤثر قادر به تخمیر لاکتوز و سایر کربوهیدرات‌های در دسترس بوده و اسید لاکتیک و متابولیت‌های اسیدی ثانویه تولید می‌کنند. این فرآیند منجر به کاهش تدریجی pH در سطح و توده پنیر می‌شود که با گزارش‌های پیشین در مورد پنیرهای نرم و آب‌نمکی هم‌خوانی دارد (۳۸، ۳۴).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

در مقابل، افزایش pH در نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت و فیلم فاقد پروبیوتیک را می‌توان به فقدان فعالیت اسیدزای فعال و غلبه واکنش‌های ثانویه تجزیه پروتئین نسبت داد. در این شرایط، تجزیه پروتئین‌ها و آزاد شدن ترکیبات قلیایی نظیر آمین‌ها و آمونیاک می‌تواند موجب افزایش تدریجی pH شود. این پدیده پیش‌تر در مطالعات مربوط به نگهداری پنیر فتا و سایر پنیرهای شور گزارش شده است، جایی که عدم حضور باکتری‌های فعال، تعادل اسیدی–قلیایی محصول را به سمت قلیایی شدن سوق می‌دهد (۳۹).

رفتار متفاوت فیلم حاوی *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* از نظر تغییرات pH نیز قابل توجه است. کاهش محدود pH در این تیمار می‌تواند به حساسیت بالاتر بیفیدوباکتریوم‌ها به شرایط محیطی نظیر حضور اکسیژن، نمک و pH اولیه پنیر فتا نسبت داده شود. بیفیدوباکتریوم‌ها عموماً فعالیت اسیدزایی مطلوب‌تری در محیط‌های کم‌اکسیژن و ترکیبات خاص لبنی دارند و در شرایط سطحی پنیر ممکن است فعالیت متابولیکی کمتری از خود نشان دهند (۴۰).

افزایش اسیدیته در نمونه‌های حاوی پروبیوتیک، تأییدکننده روند تجمع اسیدهای آلی در طول نگهداری است. با این حال، بیشینه اسیدیته در تیمارهای پروبیوتیک‌دار نشان می‌دهد که حضور این میکروارگانیسم‌ها نه‌تنها pH را کاهش می‌دهد، بلکه موجب تثبیت محیط اسیدی پایدارتر در پنیر می‌شود. چنین محیطی می‌تواند به‌عنوان یک عامل بازدارنده طبیعی در برابر رشد بسیاری از باکتری‌های بیماری‌زا و فسادزا عمل کند و با نتایج بخش‌های میکروبی این مطالعه هم‌راستا است (۳۳).

از منظر کاربردی، کاهش کنترل‌شده pH و افزایش ملایم اسیدیته در پنیر فتا یک مزیت مهم محسوب می‌شود، زیرا pH پایین‌تر می‌تواند ایمنی میکروبی را بهبود بخشد، بدون آنکه منجر به افت شدید کیفیت حسی شود. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که پنیر فتا در بازه pH حدود ۴/۴ تا ۴/۸ دارای تعادل مناسبی میان ایمنی، بافت و طعم است (۳۹). بنابراین، عملکرد فیلم‌های پروبیوتیک، به‌ویژه فیلم‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم*، از این منظر مطلوب ارزیابی می‌شود.

خواص فیزیکی فیلم‌های حاوی پروبیوتیک

خواص فیزیکی فیلم‌های بسته‌بندی، به‌ویژه شفافیت و نفوذپذیری نسبت به بخار آب، نقش کلیدی در کارایی آن‌ها به‌عنوان پوشش‌های محافظ مواد غذایی ایفا می‌کند. تغییر در این ویژگی‌ها می‌تواند مستقیماً بر پایداری میکروبی، حفظ کیفیت حسی و پذیرش مصرف‌کننده تأثیر بگذارد. نتایج این پژوهش نشان داد که حضور پروبیوتیک‌ها در ترکیبات فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر منجر به تغییرات معنادار در برخی از ویژگی‌های فیزیکی شده است، در حالی که سایر پارامترهای مکانیکی و ساختاری بدون تغییر باقی مانده‌اند.

کاهش نفوذپذیری بخار آب در فیلم‌های حاوی پروبیوتیک را می‌توان به برهم‌کنش‌های فیزیکی و شیمیایی میان سلول‌های باکتریایی و شبکه پلیمری فیلم نسبت داد. حضور سلول‌های پروبیوتیک نظیر *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس*، *بیفیدوباکتریوم بیفیدوم* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* می‌تواند به‌عنوان یک پرکننده زیستی (Bio-filler) عمل کرده و با کاهش فضای آزاد میان زنجیره‌های پلیمری، مسیرهای عبور مولکول‌های آب را محدود کند. این پدیده در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است و نشان می‌دهد که افزودن اجزای زیستی به فیلم‌های بر پایه پلی‌ساکارید یا پروتئین می‌تواند ساختاری متراکم‌تر و با نفوذپذیری کمتر ایجاد کند (۴۱، ۳۲).

افزایش شفافیت فیلم‌های پروبیوتیک‌دار نیز احتمالاً ناشی از توزیع یکنواخت‌تر اجزای فیلم و بهبود همگنی ریزساختار آن است. هنگامی که سلول‌های پروبیوتیک به‌خوبی در ترکیبات پلیمری پراکنده شوند، پراکندگی نور کاهش یافته و فیلم ظاهری شفاف‌تر پیدا می‌کند. این ویژگی از منظر کاربردی اهمیت زیادی دارد، زیرا شفافیت بالاتر بسته‌بندی امکان مشاهده محصول را برای مصرف‌کننده فراهم کرده و پذیرش بازار را افزایش می‌دهد. مطالعات مشابه بر روی فیلم‌های فعال نشان داده‌اند که همگنی ساختاری یکی از عوامل اصلی بهبود خواص نوری فیلم‌ها است (۴۲).

عدم مشاهده تفاوت معنادار در ویژگی‌های استحکام کششی، درصد رطوبت و ضخامت فیلم‌ها نشان می‌دهد که افزودن پروبیوتیک‌ها ساختار مکانیکی کلی فیلم را تضعیف نکرده است. این نکته از دیدگاه صنعتی بسیار حائز اهمیت است، زیرا یکی از چالش‌های اصلی در توسعه فیلم‌های فعال، حفظ استحکام و قابلیت کاربری آن‌ها در کنار افزودن اجزای زیستی یا ضدمیکروبی است. نتایج حاضر نشان می‌دهد که حضور پروبیوتیک‌ها در مقادیر مورد استفاده، بدون ایجاد اختلال در پیوستگی شبکه پلیمری، صرفاً برخی ویژگی‌های عملکردی کلیدی را بهبود بخشیده است. یافته‌های مشابهی در مورد فیلم‌های حاوی ترکیبات زیستی دیگر نیز گزارش شده است (۴۳).

از منظر عملکردی، ترکیب کاهش نفوذپذیری بخار آب و افزایش شفافیت را می‌توان یک مزیت دوگانه برای کاربرد در بسته‌بندی پنیر فتا در نظر گرفت. کاهش انتقال بخار آب می‌تواند از تغییرات نامطلوب رطوبت سطحی پنیر جلوگیری

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

کرده و به‌طور غیرمستقیم رشد میکروارگانیسم‌های فسادزا را محدود کند، در حالی که شفافیت بالاتر فیلم، کیفیت ظاهری محصول را حفظ می‌کند. این ویژگی‌ها به‌ویژه در مقایسه با کاغذ پارچمنت‌های متداول که اغلب فاقد عملکرد فعال و کنترل دقیق انتقال رطوبت هستند، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (۴۴).

ارزیابی حسی

نتایج این مطالعه نشان داد که حضور پروبیوتیک‌ها در فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر تأثیر مثبت و قابل توجهی بر شاخص‌های عطر، طعم و بافت داشت، در حالی که رنگ محصول تحت تأثیر چندان معنی‌داری قرار نگرفت.

امتیاز بالاتر عطر و طعم در نمونه‌های حاوی *لاکتوباسیلوس اسیدوفیلوس* و *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* احتمالاً به ترکیبات فرار تولیدشده توسط این سویه‌ها بازمی‌گردد. باکتری‌های اسیدلاکتیک قادر به تولید طیف وسیعی از ترکیبات معطر شامل اسیدهای آلی، استرها، آلدهیدها و کتون‌ها هستند که می‌توانند کیفیت حسی پنیر را بهبود دهند و طعم و عطر محصول را مطلوب‌تر کنند (۴۵). این یافته با مطالعات پیشین مبنی بر تأثیر مثبت پروبیوتیک‌ها و باکتری‌های فعال در پنیرهای نرم و نیمه‌سخت بر ویژگی‌های ارگانولپتیک هم‌خوانی دارد.

در شاخص بافت، امتیاز بالاتر برای نمونه‌های حاوی *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* می‌تواند به حفظ رطوبت و ثبات ساختار پنیر ناشی از تولید متابولیت‌های اسیدی و تعامل با ترکیبات پروتئینی نسبت داده شود. کاهش pH و افزایش اسیدیته کنترل‌شده توسط پروبیوتیک‌ها موجب انعقاد جزئی پروتئین‌ها و حفظ تردی و یکپارچگی بافت پنیر می‌شود (۳۹).

این ویژگی در نمونه‌های دارای کاغذ پارچمنت کمتر مشاهده شد، که می‌تواند ناشی از نبود فعالیت میکروبی فعال و افزایش تجمع آب سطحی باشد.

پذیرش‌کلی نمونه‌ها نیز نشان‌دهنده مزیت ترکیبی فیلم‌های حاوی پروبیوتیک است، به‌ویژه نمونه‌های با *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* که بالاترین امتیاز را کسب کردند. این یافته با نتایج سایر بخش‌ها هم‌راستا است؛ به‌طوری که کنترل مؤثر میکروبی، کاهش pH و اسیدیته مناسب، بهبود بافت و افزایش عطر و طعم، همگی منجر به تجربه حسی بهتر و پذیرش بالاتر مصرف‌کننده می‌شوند (۴۵، ۳۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاوی پروبیوتیک تهیه شده از ضایعات مرکبات می‌تواند به‌طور مؤثری پنیر فتا را در برابر رشد میکروارگانیسم‌های فسادزا و پاتوژن‌ها محافظت کند، بافت و کیفیت حسی محصول را بهبود بخشد و همزمان خواص فیزیکی مطلوبی مانند شفافیت و کاهش نفوذپذیری بخار آب ایجاد نماید. میان پروبیوتیک‌های مورد بررسی، *لاکتوباسیلوس پلانتاروم* بیشترین تأثیر مثبت را بر کنترل میکروبی، کاهش pH، افزایش اسیدیته و پذیرش‌کلی محصول داشت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که فیلم‌های فعال پروبیوتیک‌دار می‌توانند جایگزینی مناسب و پایدار برای بسته‌بندی‌های سنتی مانند کاغذ پارچمنت باشند و فرصت توسعه بسته‌بندی‌های دوست‌دار محیط زیست و عملکردی در صنایع لبنی را فراهم کنند.

• References

1. Moatsou, G. & Kandarakis, I. Sheep and Goat Dairy Products. London: Academic Press. 2019.
2. Katsiari MC, Voutsinas LP, Alichanidis E, Roussis IG. Lipolysis in reduced sodium Feta cheese made by partial substitution of NaCl by KCl. International Dairy Journal. 2000; 10(5-6):369-73.
3. Rezaeian M, Azizian A, Hadi S, Hadi V. Effect of Gelatin Coating Containing *Lactobacillus Rhamnosus* and *Bifidobacterium Bifidum* on Chicken Fillet Inoculated with *Listeria Monocytogenes*. Journal of Human Environment and Health Promotion. 2025; Jul 10:0-.
4. Karimi R, Sohrabvandi S, Mortazavian AM. Sensory characteristics of probiotic cheese. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2012;11(5):437-52.
5. Alvarez, V.; Pascall, M. Packing. In Encyclopedia of Dairy Sciences, 2nd edition, Fuquay, J., Fox, P., and McSweeney, P. Eds., Academic Press, California, USA. 2011; 16-23 pp.
6. Ena Gupta, Neha mishra, Pragya Mishra, Abeer Shiekh, Karishma Gupta, Priyanka singh. Fruit peels: a strong natural source of antioxidant and prebiotics. Carpathian Journal of Food Science and Technology, Special Issue, 2020: 12(5), 134-143
7. Pereda, M., Marcovich, N. E., & Mosiewicki, M. A.. Sodium caseinate films containing linseed oil resin as oily modifier. Food Hydrocolloids, 2015; 44, 407-415.
8. Han, J. H., & Aristippos, G. Edible films and coatings. A review. In Innovations in Food Packaging. 2005; 239–262.
9. Asikin Y, Taira I, Inafuku S, Sumi H, Sawamura M, Takara K, Wada K. Volatile aroma components and antioxidant activities of the flavedo peel extract of unripe Shiikuwasha (Citrus depressa Hayata). Journal of food science. 2012; Apr;77(4):C469-75.
10. Arafat, Y.; Altemimi, A.; Pratap-Singh, A.; Badwaik, L.S. Active Biodegradable Films Based on Sweet Lime Peel Residue and Its Effect on Quality of Fish Fillets. Polymers. 2021; 13, 1240.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

11. Bousbia, N.; Vian, M.A.; Ferhat, M.A.; Meklati, B.Y.; Chemat, F. A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Microwave hydrodiffusion and gravity. J. Food Eng. 2009; 90, 409–413.

12. Van Doan H, Hoseinifar SH, Naraballobh W, Jaturasitha S, Tongsiri S, Chitmanat C, Ringø E. Dietary inclusion of Orange peels derived pectin and Lactobacillus plantarum for Nile tilapia (Oreochromis niloticus) cultured under indoor biofloc systems. Aquaculture. 2019; Jun 15;508:98-105.

13. Gupta E, Mishra P, Shiekh A, Gupta K. Fruit peels: a strong natural source of antioxidant and prebiotics. Carpathian Journal of Food Science & Technology. 2020; Nov 1;12(5).

14. Mozaffarzogh M, Misaghi A, Shahbazi Y, Kamkar A. Evaluation of probiotic carboxymethyl cellulose-sodium caseinate films and their application in extending shelf life quality of fresh trout fillets. LWT. 2020; May 1;126:109305.

15. Vanaki E, Kamkar A, Noori N, Azizian A, Mohammadkhan F. The effect of aqueous extract of Arctium lappa root on the survival of *Lactobacillus acidophilus* La-5 and *Bifidobacterium bifidum* Bb-12 and sensorial and physicochemical properties of synbiotic yogurt. Food Science & Nutrition. 2024;12(3):2182-91.

16. Kazemeini H, Azizian A, Ahmadi K. Preparation of Synbiotic Yogurt Sauce Containing Spirulina platensis Microalgae Extract and Its Effect on the Viability of Lactobacillus acidophilus. BioMed Research International. 2023; 26;2023.

17. Alizadeh Behbahani B, Tabatabaei Yazdi F, Shahidi F, Mortazavi SA, Mohebbi M. Investigation of chemical compounds and antibacterial activity of tarragon (Artemisia dracunculus) essential oil on some pathogenic bacteria in vitro. Qom Univ Med Sci J 2017;11(9):42-51. [Full Text in Persian]

18. Ojagh, S.M, Rezaei, M., Razavi, S.H. and Hosseini, S.M.H. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. Food Chem. 2010; 122: 161-166.

19. Bahramian B, Abedi-Firoozjah R, Kiani-Salmi N, Azizian A, Dorud N, Noori SM, Hashemi M, Assadpour E, Tavassoli M, Sadeghi E, Zhang F. Multifunctional performance of gallic acid in biodegradable food packaging films and coatings: Mechanisms, developments, applications, and horizons. European Polymer Journal. 2024 Dec 11;221:113559.

20. Cook, M. T., Tzortzis, G., Charalampopoulos, D., & Khutoryanskiy, V. V. Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. Journal of Controlled Release. 2012; 162(1), 56–67.

21. Soukoulis, C., & Bohn, T. A comprehensive overview on the micro- and nano-technological encapsulation advances for enhancing the chemical stability and bioavailability of carotenoids. Critical Reviews in Food Science and Nutrition.2018; 58(1), 1–36.

22. Burgain, J., Gaiani, C., Linder, M., & Scher, J. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. Journal of Food Engineering. 2011; 104(4), 467–483.

23. Ramos, M., Valdés, A., Beltrán, A., & Garrigós, M. C. Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. Coatings. 2018; 6(4), 41.

24. Tripathi, M. K., & Giri, S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. Journal of Functional Foods, 2014; (9) 225–241.

25. Anal, A. K., & Singh, H. Recent advances in microencapsulation of probiotics for industrial applications and targeted delivery. Trends in Food Science & Technology, 2007; 18(5), 240–251.

26. Arena, M. P., Silvain, A., Normanno, G., Grieco, F., Drider, D., Spano, G., & Fiocco, D. Use of Lactobacillus plantarum strains as a bio-control strategy against food-borne pathogenic microorganisms. Frontiers in Microbiology, 2016; 7, 464.

27. Figueroa-González, I., Quijano, G., Ramírez, G., & Cruz-Guerrero, A. Probiotics and prebiotics—Perspectives and challenges. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2011; 91(8), 1341–1348.

28. Gbassi, G. K., & Vandamme, T. Probiotic encapsulation technology: From microencapsulation to release into the gut. Pharmaceutics, 2012; 4(1), 149–163.

29. FAO/WHO. Guidelines for the evaluation of probiotics in food. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization. 2002.

30. Silva, C. C. G., Silva, S. P. M., & Ribeiro, S. C. Application of bacteriocins and protective cultures in dairy food preservation. Frontiers in Microbiology, 2018; 9, 594.

31. Burt, S. Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. International Journal of Food Microbiology, 2004; 94(3), 223–253.

32. Figueroa-González, I., Quijano, G., Ramírez, G., & Cruz-Guerrero, A. Probiotics and prebiotics—Perspectives and challenges. *J*ournal of the Science of Food and Agriculture, 2011; 91(8), 1341–1348.

33. Crowley, S., Mahony, J., & van Sinderen, D. Current perspectives on antifungal lactic acid bacteria as natural bio-preservatives. Trends in Food Science & Technology, 2013; 33(2), 93–109.

34. Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. Fundamentals of cheese science (2nd ed.). Springer. 2017.

35. Delgado, S., Rachid, C. T. C. C., Fernández, E., Rychlik, T., Alegría, Á., & Mayo, B. Diversity of the microbiota in traditional cheeses and challenges for food safety. Food Research International, 2019; 125, 108585.

36. Gálvez, A., Abriouel, H., López, R. L., & Ben Omar, N. Bacteriocin-based strategies for food biopreservation. International Journal of Food Microbiology, 2010; 120(1–2), 51–70.

37. Le Loir, Y., Baron, F., & Gautier, M. Staphylococcus aureus and food poisoning. Genetics and Molecular Research, 2003; 2(1), 63–76.

38. Walstra, P., Wouters, J. T. M., & Geurts, T. J. Dairy science and technology (2nd ed.). CRC Press. 2006.

39. Tamime, A. Y. Feta and related cheeses. Blackwell Publishing. 2007.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

40. Gomes, A. M. P., & Malcata, F. X. Bifidobacterium spp. and Lactobacillus spp. in dairy products: Microbiological, technological and probiotic aspects. International Dairy Journal, 1999; 9(11), 825–845.

41. Rhim, J.-W., & Ng, P. K. W. Natural biopolymer-based nanocomposite films for packaging applications. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2007; 47(4), 411–423.

42. Pereda, M., Añón, M. C., & Ruseckaite, R. A. Mechanical and barrier properties of edible films based on blends of sodium caseinate and chitosan. Food Hydrocolloids, 2012; 26(2), 167–175.

43. Rhim, J.-W., Park, H. M., & Ha, C.-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. Progress in Polymer Science, 2013; 38(10–11), 1629–1652.

44. Sorrentino, A., Gorrasi, G., & Vittoria, V. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. Trends in Food Science & Technology, 2007; 18(2), 84–95.

45. Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Calasso, M., & Camarca, A. Pros and cons of probiotics in dairy products. International Dairy Journal, 2015; 42, 1–15.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]

Effect of Citrus Waste–Based Probiotic Films as an Alternative to Parchment Paper on the Shelf Life and Quality of Feta Cheese

Azizian A[1], Noori N[2], Gandomi H[1], Misaghi A[1], Khanjari A[1]*

1- Department of Food Hygiene and Control, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

*2- *Corresponding author:Department of Food hygiene and control, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran Email: nnoori@ut.ac.ir*

Received 1 Dec, 2025 **Accepted 18 Jan, 2026**

Background and Objectives: The development of active and biodegradable packaging systems has gained increasing importance as a sustainable strategy to enhance the safety and shelf life of dairy products. Accordingly, the aim of this study was to evaluate the effectiveness of a citrus waste–based probiotic film as an alternative to parchment polypropilen paper for the preservation of feta cheese.

Materials & Methods: Treatments including: samples wrapped with parchment paper, film, and films containing *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, and *Lactobacillus plantarum*. The samples were evaluated through microbiological, physicochemical, and sensory analyses.

Results: The initial probiotic counts in the films on the first day ranging from 9 Log CFU/g, followed by a gradual decline during storage. At the end of the storage, the viability of *L. plantarum* (5.33 Log CFU/g) was significantly higher than that of *L. acidophilus* (4.90 Log CFU/g) and *B. bifidum* (3.16 Log CFU/g) ($P<0.05$). Probiotic films, particularly those containing *L. plantarum*, exhibited stronger antimicrobial activity. In feta cheese, the population of *Staphylococcus aureus* in samples packaged with the *L. plantarum* film reached 4.22 Log CFU/g, which was significantly lower than that observed in samples wrapped with parchment (6.21 Log CFU/g) ($P<0.05$). Moreover, this treatment showed the best performance in controlling coliforms and molds. Incorporation of probiotics into the films resulted in reduced water vapor permeability and increased clarity, without causing significant changes in tensile strength or film thickness. Sensory evaluation indicated that cheeses with the *L. plantarum* containing film achieved the highest overall acceptability scores.

Conclusion: According to the results, that compared the functional of citrus waste–based probiotic films, particularly those containing Lactobacillus strains, with functional of parchment paper, it can be proposed as an effective and sustainable alternative to parchment paper for the preservation of cheese.

Keywords: Citrus, Parchment, Waste, Probiotic, Cheeses

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-11-08]

[DOI: 10.66224/nsft.21.3.51]