مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

بسته‌بندی پنیر فراپالایش با فیلم نانوکامپوزیت بر پایه موسیلاژ دانه چیا حاوی عصاره زرشک و نانو ذرات اکسید قلع و بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

شیرین فروزان[۱]، سجاد پیرسا[۲]، ابوالفضل علیرضالو[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- استاد گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲-دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۸

کلمات کلیدی:

پنیر فراپالایش،

فیلم نانوکامپوزیت،

موسیلاژ دانه چیا،

عصاره زرشک،

نانو ذرات اکسید قلع

DOI:10.22034/FSCT.22.163.216.

* مسئول مکاتبات:

چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی پنیر فراپالایش بسته‌بندی‌شده با فیلم‌های نانوکامپوزیت زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه موسیلاژ دانه چیا حاوی عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع بر اساس طرح مرکب مرکزی (CCD[1])، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از فیلم‌های تولیدشده، کاهش معنی‌داری در pH و افزایش اسیدیته نمونه‌ها در طول دوره نگهداری ۱۵ و ۳۰ روزه ایجاد کرد. بررسی میزان رطوبت نیز نشان داد که فیلم‌های حاوی موسیلاژ چیا و ترکیبات فعال، باعث کاهش معنی‌دار رطوبت نسبت به نمونه شاهد شدند. علاوه بر این، استفاده از فیلم‌های مذکور موجب کاهش میزان لیپولیز و پروتئولیز در نمونه‌های پنیر شد که این امر به محدودیت فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک و لیپولیتیک ناشی از کاهش نفوذپذیری رطوبت و افزایش غلظت نمک، نسبت داده شد. بررسی کشت میکروبی نمونه‌ها، حاکی از عدم رشد کلی‌فرم، کپک و مخمر در فیلم‌های بهینه جهت بسته‌بندی فراپالایش طی مدت زمان نگهداری بود. تحلیل ویژگی‌های حسی نشان داد که فیلم‌های حاوی عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع پذیرش کلی بهتری در رنگ، بافت و بو داشتند و از تغییرات نامطلوب در طول نگهداری جلوگیری کردند. همچنین این فیلم‌ها مقاومت مکانیکی و خواص مانع را بهبود داده و از نفوذ اکسیژن به محصول جلوگیری کردند که منجر به کاهش سرعت فساد و حفظ کیفیت محصول شد. در نهایت، یافته‌های این تحقیق پتانسیل بالای استفاده از فیلم‌های نانوکامپوزیت زیست‌تخریب‌پذیر با ترکیبات فعال طبیعی را برای بسته‌بندی مواد غذایی به‌ویژه محصولات لبنی نشان داد. این روش نه‌تنها موجب افزایش ارزش تغذیه‌ای و ماندگاری مواد غذایی می‌شود، بلکه راه‌حلی پایدار و سازگار با محیط‌زیست برای بسته‌بندی ارائه می‌دهد.

1 - Central Composed Design

1-مقدمه

صنایع غذایی در چند دهه گذشته رشد نمایی در استفاده از بسته‌بندی را تجربه کرده است که ناشی از تقاضا برای محصولات بادوام‌تر، ایمن‌تر و راحت‌تر برای مصرف کننده نهایی است. تخمین زده می‌شود که بیش از ۴۰ درصد از مواد بسته‌بندی مورد استفاده در سطح جهان به بخش مواد غذایی اختصاص دارد؛ که نشان دهنده اهمیت این جزء در زنجیره ارزش غذایی است [۱]. بسته‌بندی در محافظت از مواد غذایی اصلی اساسی است و تضمین می‌کند که محصولات تا زمانی‌که به دست مصرف کنندگان برسند، ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای خود را حفظ می‌کنند. این امر بر اهمیت توسعه راه‌حل‌های بسته‌بندی جدید تأکید می‌کند که ضمن مقابله با چالش‌های زیست‌محیطی رو به رشد، به تقاضاهای بازار نیز می‌پردازد [۲]. از لحاظ تاریخی، مقوا، کاغذ و پلاستیک عمدتاً به عنوان بسته‌بندی مواد غذایی استفاده می‌گردید. در حالی‌که مقوا و کاغذ قابل بازیافت هستند، با محدودیت‌هایی در رابطه با مانع رطوبت و گاز، مواجه هستند که برای حفظ بسیاری از انواع مواد غذایی مهم است [۳]. فیلم‌های خوراکی، لایه‌ای نازک از مواد بیوپلیمری هستند که در سطح یا بین اجزای مواد غذایی قرارگرفته و به عنوان سدی در برابر انتقال مواد (چربی و گازها) عمل می‌کنند. این فیلم‌ها از محصول در برابر رشد میکروارگانیسم‌ها و ضربات مکانیکی محافظت کرده و باعث بهبود ظاهر، کیفیت و افزایش ماندگاری محصول می‌شوند [٤]. چیا با نام علمی *Salvia hispanica L.*، گیاهی است علفی از تیره مریم گلی و خانواده *Lamiaceae* که حدوداً از ۹۰۰ گونه تشکیل شده است و در تمام نقاط جهان (آمریکای شمالی، مرکزی و جنوبی، آفریقای جنوبی، آسیای جنوب شرقی و اروپا) امکان رشد دارد [۵ و ٦]. دانه چیا سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه (اسیدهای چرب ω-3 (لینولنیک اسید، ٥٤-٦٧٪) و ω-6 (لینولئیک اسید، ۱۲-۲۱٪)) است و از نظر اسیدهای چرب اشباع ضعیف است. همچنین حاوی پروتئین (۱۵-۲٤٪)، فیبر غذایی (۱۸-۳۰٪)، کربوهیدرات (۲٦-٤۱٪) و مواد معدنی (٤-٦٪) است [۷]. ۲٤ درصد وزن دانه‌ها را پروتئین تشکیل می‌دهد. پروتئین اصلی موجود در دانه چیا گلوبولین است که ۵۲ درصد از کل محتوای پروتئین را تشکیل می‌دهد. آلبومین‌ها (۱۷٪)، گلوتلین‌ها (۱٤٪) و پرولامین‌ها (۱۲٪)، پروتئین‌های دیگری هستند که در فراوانی کمتری یافت می‌شوند؛ همچنین محتوای پروتئین چیا بیشتر از سایر محصولات بوده و دارای قابلیت هضم خوب (۷۸.۹٪)، مشابه پروتئین کازئین (۸۸.٦٪) است [۸]. موسیلاژ دانه چیا دارای خواص برجسته‌ای مانند ظرفیت نگهداری آب بالا، ویسکوزیته خوب، تشکیل ژل، کنترل سینرزیس و تثبیت امولسیون مناسب است که آن را به یک ماده بالقوه برای تولید بسته‌بندی خوراکی تبدیل می‌کند؛ این ماده از یک ماتریکس منشعب از زایلوز، گلوکز و اسید گلوکورونیک تشکیل شده است [۹ و ۱۰]. موسیلاژ دانه چیا دارای محتوای بالایی از زایلان‌ها (۳۸٪) است، که در توانایی اتصال عرضی فیلم‌های موسیلاژ نقش دارند و ده تا صد برابر وزن خود آب جذب می‌کنند. علاوه بر این، موسیلاژ دارای همی سلولز بالایی است که ویژگی‌های سد کننده خوبی مانند مقاومت در برابر روغن و نفوذپذیری اکسیژن کم دارد [۱۱]. امروزه عصاره‌های گیاهی به دلیل توانایی‌های ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی خود به طور فزاینده‌ای به افزودنی‌های مهم در صنایع غذایی، تبدیل شده‌اند که باعث تاخیر در ایجاد طعم‌های بد، بهبود ثبات رنگ، کاهش بارمیکروبی، افزایش خاصیت آنتی‌اکسیدانی و... در مواد غذایی می‌شوند [۱۲]. زرشک با نام علمی *Berberis Vulgaris* از خانواده *Berberidaceae*، تقریباً دارای ۵۰۰ گونه در سراسر جهان است [۱۳]. شناخته‌شده‌ترین گونه زرشک، معروف به زرشک اروپایی، زرشک معمولی یا *Épine-Vinette*، است که در مناطق بومی اروپای مرکزی و جنوبی، آسیا (شامل مناطق شمالی پاکستان و ایران) و منطقه شمال شرقی ایالات متحده متداول است

[١٤]. زرشک حاوی اسید آسکوربیک، تری‌ترپنوئیدها، ویتامین K، بیش از ۱۰ فنل و بیش از ۳۰ برابر آلکالوئیدها است. آلکالوئید اصلی جدا شده از زرشک، بربرین است؛ به طوری‌که بربرین یک آلکالوئید ایزوکینولین است که در چندین عصاره گیاهی یافت می‌شود و به دلیل اثر ضد توموری خود، با تشدید فرآیند آپوپتوز سلول‌های تومور، با تعدیل فعالیت آن و همچنین فعالیت چندین ژن پرو آپوپتوز و ضد آپوپتوز شناخته شده است [١٥]؛ همچنین بربرین دارای خواص ضدالتهابی است و می‌تواند به درمان بیماری‌های سیستم عصبی مرکزی و محیطی کمک کند [١٦]. استفاده از نانوذرات مختلف، در بسته‌بندی مواد غذایی می‌تواند با تنظیم تبادل گازها در بین لایه‌ها، ماندگاری مواد غذایی را افزایش دهد؛ همچنین به حذف گازهای نامطلوب از کالاهای بسته بندی شده کمک می‌کند که وجود آنها ممکن است عمر مفید محصول غذایی را کاهش دهد. افزایش خواص مانع، خواص حرارتی مانند نقطه ذوب و دمای انتقال شیشه، در تشخیص رشد یا حضور باکتری‌ها و عملکردهای تغییر یافته مانند ترشوندگی سطح و آبگریزی، همگی از ویژگی‌های بسته‌بندی‌های حاوی نانوذرات هستند [١٧]. نانوذرات SnO_2 نسبت سطح به حجم بالایی دارند، که آنها را به رقبای بالقوه‌ای برای عمل به عنوان جذب کننده رادیکال‌های آزاد و ترکیب آنتی اکسیدان، تبدیل می‌کند. همچنین به عنوان عوامل ضد باکتریایی استفاده می‌شوند، زیرا به دلیل اندازه کوچکتر، توانایی عبور آسان از غشای سلولی را دارند [١٨]؛ به طوری‌که در گذشته به دلیل خاصیت ضدباکتریایی در ساخت قوطی کنسرو مورد استفاده قرار می‌گرفت. همچنین در بسیاری از زمینه‌های مختلف، مانند باتری‌های قابل شارژ لیتیومی، فیلم‌های رسانای شفاف، سلول‌های فوتوولاتیک حساس به رنگ، مواد کاتالیزوری، نظارت بر محیط زیست، حسگرهای بیوشیمیایی و حسگرهای گاز فوق حساس، از نانوذرات SnO_2 به دلیل خواص میکروساختاری و الکتریکی آن استفاده می‌شود [١٩]. پنیر یکی از پرمصرف فرآورده‌های لبنی در سراسر جهان است، بیش از هزار نوع پنیر در طیف وسیعی از طعم‌ها، بافت‌ها و اشکال در کشورهای مختلف تولید می‌شود [٢٠]؛ یکی از مهم‌ترین انواع پنیرهای سفید ایرانی، پنیر فراپالایش می‌باشد؛ که طی فرایند فراپالایش یا اولترافیلتراسیون تولید می‌شود؛ در طی فرآیند فراپالایش ماکرومولکول‌های دارای وزن مولکولی ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰ دالتون از حلال و املاح محلول به طور انتخابی جدا می‌شوند [٢١]. پنیر سفید ایرانی به روش فراپالایش در ایران دارای سرانه‌ی مصرف بالایی است. این نوع پنیر در طبقه‌ی پنیرهای تازه، طبقه‌بندی می‌شود و دارای بافتی نرم و مالش‌پذیر است؛ زیرا بلافاصله پس از تولید بدون طی دوره‌ی رسیدگی وارد بازار مصرف می‌شود. همچنین این محصول دارای ٣٤ ٪ ماده خشک، ٦٦٪ رطوبت، حداکثر ١/٧٥٪ اسیدیته و ١٢٪ پروتئین می‌باشد. در طول مدت زمان انبارمانی، واکنش‌های بیوشیمیایی مختلفی سبب تغییر در کیفیت محصول می‌شود و با توجه به اینکه این محصول دارای رطوبت بالایی است؛ لذا بیشتر در معرض فساد توسط میکروارگانیسم‌ها قرار دارد؛ که بدین منظور باید از بسته‌بندی‌های مناسب جهت جلوگیری از این امر استفاده گردد [٢٢]. بنابراین با توجه به ارزش غذایی و مصرف بالای پنیر، در سال‌های اخیر گرایش روز افزونی برای استفاده از ترکیبات دارای خاصیت آنتی باکتریایی و آنتی اکسیدانی به منظور افزایش ارزش تغذیه‌ای و افزایش مدت زمان ماندگاری آن صورت گرفته که در این بین فیلم‌های خوراکی حاوی عصاره‌های گیاهی و نانوذرات به دلیل ویژگی‌های مطلوب مورد توجه قرار گرفته است [٢٣]. *Motelica* و همکاران (٢٠٢١)، فیلم‌های زیست تخریب‌پذیر آنتی‌باکتریایی مبتنی بر آلژینات با نانوذرات نقره و اسانس علف لیمو جهت بسته‌بندی نوآورانه برای پنیر را تهیه و مورد آنالیز و بررسی قرار دادند. نتایج گزارشات نشان داد که استفاده از عوامل ضد میکروبی در فرمولاسیون فیلم تولیدی همچون نانوذرات نقره و اسانس علف لیمو منجر به افزایش خاصیت ضدمیکروبی گردید [٢٤]. حسنی و همکاران (٢٠٢٤)، ویژگی‌های ساختاری و فیزیکوشیمیایی فیلم نانوکامپوزیتی نشاسته سیب‌زمینی و

صـــمغ عربی حاوی نانوذرات اکســید بور و اســانس زوفا انیسون را مورد بررسی قرار دادند. ظرفیت آنتی اکسیدانی و ضـــخامت لایه‌ها با افزودن اســـانس مورد نظر به طور قابل توجهی افزایش یافت. افزایش ازدیاد طول در نقطه شکست لایه‌ها، برخلاف استحکام کششی آن‌ها، با افزایش نانوذرات و اسانس کاهش یافت. همچنین، نتایج فعالیت ضد میکروبی فیلم‌هـا نشـــان داد کـه بـا افزایش دو متغیر مـذکور نـاحیـه بـازدارنـدگی افزایش یـافـت [۲۵]. هـدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی بسته‌بندی پنیر فراپالایش با فیلم نانوکامپوزیت پایه موسـیلاژ دانه چیا حاوی عصـاره زرشک و نانو ذرات اکسید قلع، می باشد.

2- مواد و روش

دانه چیا از بازار محلی ارومیه، ایران خریداری شد. زرشک از باغات ارومیه، ایران تهیه گردید. نانو ذرات اکسید قلع از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان، ایران، گلیسرول از شرکت سیگما آلدریچ، آمریکا، سدیم هیدروکسید، اسید کلریدریک، دی کرومات پتاسیم، سولفات سدیم از شرکت مرک، آلمان تهیه گردید. استارتر تجاری پنیر از شرکت لبنی دانیسکوی آلمان، شیرخام با چربی ۳.۵ درصد از شرکت پگاه ارومیه، ایران خریداری شد.

2-1- تهیه فیلم زیست تخریب‌پذیر بر پایه موسیلاژ دانه چیا حاوی عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع

جهت تهیه فیلم زیست تخریب‌پذیر، ابتدا ۳ گرم موسیلاژ دانه چیا با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۱۵ دقیقه روی هیتر مغناطیسی مگنت‌دار با دمای ٦۰ درجه سانتی‌گراد مخلوط و محلول حاصله پس از مدت زمان عنوان شده از صافی به منظور حذف ناخالصی‌ها، عبور داده شد. سپس گلیسرول به عنوان پلاستی‌سایزر به میزان ۳۰ درصد به محلول اضافه و دوباره به مدت ده دقیقه روی همزن مغناطیسی هم زده شد. در ادامه مطابق طرح آماری طرح مرکب مرکزی در جدول ۱، ترکیب عصاره زرشک در سطح-های متفاوت (۰، ۳ و ٦ cc/g basic polymer) نسبت به ماده خشک پلیمر به محلول پلیمر افزوده و با استفاده از دستگاه هموژنایزر (D9I12 شرکت هیدولف، آلمان)، به مدت ۲ دقیقه با دور ۱۳۰۰۰rpm هموژن گردید و همچنین نانوذره اکسید قلع در سطوح متفاوت (۰، ۲ و ٤ mg/g basic polymer) نسبت به ماده خشک پلیمر به محلول اضافه و به مدت ۱۰ دقیقه همزنی گردید تا محلول یکنواختی حاصل شد و سپس توسط حمام اولتراسوند به مدت ۲۰ دقیقه نانو ذرات موجود در محلول به طور یکسان پخش شد. در مرحله بعد گلیسرول به میزان ٤۰٪ وزن ماده خشک کل به عنوان نرم کننده اضافه و به مدت ۱۵ دقیقه همزنی و ۱۰ دقیقه دیگر هواگیری شد. در نهایت ۲۵ میلی لیتر از محلول حاصله در مرکز پلیت ریخته و سپس در داخل آون در دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد خشک و فیلم مورد نظر تولید گردید. پس از خشک شدن مورد ارزیابی قرار گرفت [۲٦].

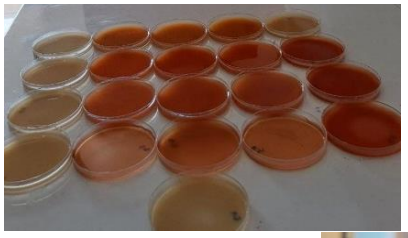

Fig 1 Examples of different films prepared

2-2- تولید پنیر فراپالایش

نمونه‌های پنیر در شرکت پگاه آذربایجان غربی – (ارومیه، ایران) طبق روند تولید پنیر UF پیشنهاد شده توسط شرکت تولید شد. به این منظور شیر خام با چربی ۳/۵٪ با روش پاستوریزاسیون با دمای بالا (HTST) پاستوریزه و سپس تحت دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد در سیستم فراپالایش دارای صافی‌های غشایی لوله‌ای تا رسیدن به ماده خشک ۳٤٪ تغلیظ گردید؛ در نهایت پس از طی کردن مراحل تهیه پنیر (هموژنیزاسیون، پاستوریزاسیون، تلقیح استارتر، اضافه کردن رنت و نمک)، مرحله درب‌بندی و گرمخانه‌گذاری (۲۸ درجه به مدت ۲٤ ساعت) جهت رسیدن pH به ٤/۷ انجام شد؛ در نهایت نمونه تولیدی به سردخانه با دمای ٤ درجه سانتی‌گراد جهت نگهداری تا زمان آزمون‌ها منتقل شد [۲۷]

2-3- تهیه فیلم نانوکامپوزیت در بسته‌بندی پنیر فراپالایش

پس از تهیه پتیر فراپالایش، از فیلم زیست تخریب‌پذیر تولیدی در بالا برای بسته‌بندی ضدمیکروبی و جهت حفظ کیفیت نمونه پنیر فراپالایش و نگهداری آن استفاده شد. به این منظور، ٦۰–۵۰گرم نمونه پنیر تولیدی با ابعاد (۷×۷×۱) بریده و در بسته‌های بهینه انتخاب شده، بسته بندی و شماره‌گذاری گردیدند؛ سپس در طی مدت زمان ماندگاری ۱۵ و ۳۰روزه، آزمون‌های مربوطه بر روی نمونه‌ها، انجام شدند.

Fig 2 Examples of packed cheeses with different films prepared

3- آزمون‌های پنیر فراپالایش بسته‌بندی شده با فیلم زیست تخریب‌پذیر

3-1- اسیدیته

در اندازه‌گیری درصد اسیدیته نمونه‌های پنیر فراپالایش بسته بندی شده، ابتدا ۱۰ گرم از نمونه را وزن کرده و با ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر به طور کامل مخلوط و به حجم ۲۵۰میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس محلول حاصله را از صافی رد کرده و ۲۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده با ٤–۳ قطره معرف فنل فتالئین مخلوط و با NaOH 0/1 نرمال تا ظهور رنگ صورتی تیتر گردید؛ در نهایت طبق فرمول زیر و میزان سود مصرفی، درصد اسیدیته نمونه محاسبه شد. این آزمون برای هر نمونه در سه تکرار انجام و میانگین حاصله، گزارش گردید [۲۸].

۱۰۰ ×۰/٤۵ ×حجم سود مصرفی (میلی لیتر) =اسیدیته (بر حسب اسیدلاکتیک)

3-2- pH

به منظور بررسی میزان pH نمونه‌های پنیر، از دستگاه pH سنجی (Metrohm، ساخت کشور سوئیس) که قبلاً با دو محلول بافر ٤ و ۷ کالیبره شده، استفاده شد؛ جهت آماده‌سازی نمونه، ابتدا ۱۰ گرم نمونه وزن شده با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و یکنواخت گردید، سپس pH نمونه، قرائت شد. این آزمون برای هر نمونه در سه تکرار انجام و میانگین حاصله گزارش گردید [۲۸].

3-3- میزان نمک

در اندازه‌گیری میزان نمک پنیر فراپالایش بسته‌بندی شده، ابتدا ۱۰ گرم از نمونه مورد نظر در ۵۰ میلی‌لیتر آب جوش مخلوط گردید. سپس به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانیده و محلول حاصله با کاغذ صافی واتمن صاف گردید، در نهایت ۲۵ میلی‌لیتر از محلول صاف شده، برداشته و ۱-۰/۵ میلی لیتر دی کرومات پتاسیم به عنوان معرف به نمونه اضافه و با نیترات نقره ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ نارنجی آجری تیتر گردید، سپس با قرار دادن میزان نیترات نقره مصرفی در رابطه زیر درصد نمک پنیر بسته‌بندی شده، محاسبه شد [۲۹].

$$\text{درصد نمک} = \frac{\text{حجم نیترات نقره مصرفی} \times \text{نرمالیته نیترات نقره} \times 8/5 \times 100}{\text{وزن برداشتی نمونه}}$$

3-4- لیپولیز

اندیس اسیدی به عنوان شاخصی از شدت لیپولیز در نمونه‌های پنیر فراپالایش مورد بررسی، قرار گرفت. بدین جهت ۱۰ گرم از نمونه پنیر با ۶۰ میلی‌لیتر دی اتیل اتر و ۶ گرم سولفات سدیم بدون آب روی همزن مغناطیسی مخلوط و بعد از همزنی کامل محلول حاصله با استفاده از کاغذ واتمن ۱ صاف و رسوب باقی مانده دوبار با دی اتیل اتر شسته شد. در نهایت محلول حاصل از صافی با ۰/۵ میلی‌لیتر معرف فنل فتالئین مخلوط و با پتاس ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ ارغوانی پایدار (۲۰ثانیه) تیتر گردید؛ بعد از تیتراسیون، حلال موجود در محلول زیر هود تبخیر و چربی باقیمانده، وزن شد که با واحد میلی اکی والان در ۱۰۰ گرم چربی بیان گردید [۳۰].

3-5- پروتئولیز

به منظور بررسی میزان پروتئولیز نمونه‌های پنیرفراپالایش، ازت کل با روش کلدال و ازت محلول در اسید تری کلرو استیک ۱۲٪ (ازت غیرپروتئینی) به عنوان شاخص پروتئولیز، تعیین گردیدند؛ که به منظور بررسی ازت محلول ابتدا ۳۰ گرم از نمونه مورد بررسی در آب مقطر مخلوط و pH آن در pH ایزوالکتریک (۴/۶) با استفاده از HCL و NaOH ۱نرمال تنظیم شد. سپس نمونه‌ها در گرمخانه با دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده و بعد از مدت زمان قراگیری در گرمخانه، نمونه‌ها سانتریفوژ و سپس با استفاده از کاغذ صافی واتمن صاف و ازت محلول به روش کلدال اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور بررسی ازت غیرپروتئینی، ۲۰ میلی‌لیتر از محلول صاف شده بدست آمده از مرحله قبلی با ۴ میلی‌لیتر اسید تری کلرو استیک ۱۲٪ مخلوط کرده و در محیط تاریک به مدت ۴۵-۳۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده و سپس ۱۵-۱۰ دقیقه سانتریفیوژ کرده و بعد از صاف کردن با کاغذ صافی، مقدار ازت غیرپروتئینی با روش کلدال اندازه گیری گردید [۳۱].

3-7- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر فراپالایش بسته‌بندی شده، مطابق با تست ۵ نقطه‌ای هدونیک توسط ۲۰ تفر ارزیاب حسی از کارکنان آزمایشگاه کنترل غذا و دارو ارومیه، انجام شد. بدین منظور، نمونه‌های مورد بررسی به صورت تصادفی کدگذاری شده و جهت تعدیل دمایی به مدت یک ساعت در دمای محیط قرار گرفتند؛ سپس طبق فرم ارزیابی که در اختیارشان قرار داده شد به خواص ارگانولپتیکی نمونه‌ها شامل رنگ، بافت، بو و طعم از ۱ تا ۵ امتیاز دادند؛ که امتیاز ۵ بیانگر بالاترین کیفیت و امتیاز ۱ نیز بیانگر پایین‌ترین کیفیت برای ویژگی‌های حسی مورد بررسی بود [۳۲].

4- تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش جهت بهینه‌سازی فرمولاسیون فیلم زیست تخریب پذیر تولیدی بر پایه موسیلاژ دانه چیا از روش سطح پاسخ (RSM) طرح مرکب مرکزی (CCD) برای بررسی دو متغییر مستقل عصاره زرشک با سطوح (۰،۳، ۰،۶٪) و نانوذرات اکسید قلع با سطوح (۰، ۲، ۴٪) مطابق جدول ۱-A استفاده شد؛ به طوری‌که به منظور تجزیه و تحلیل آماری فاکتورهای فیزیکوشیمیایی نمونه‌های تولیدی، از نرم افزار Design expert ورژن ۱۱ استفاده گردید؛ سپس نمونه‌های

بهینه شامل ۱) فیلم خالص (CSM[2])، ۲) اثر بیشترین درصد عصاره زرشک بر روی فیلم (CSM/Ex[3])، ۳) اثر بیشترین درصد نانو ذرات اکسید قلع بر روی فیلم (CSM/NPs[4]) و ٤) اثر متقابل هر دو متغیر بر روی فیلم (CSM/Ex/NPs[5])، براساس طرح فاکتوریل انتخاب شدند و خواص ساختاری، مکانیکی و میکروبی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت؛ در نهایت از فیلم‌های بهینه بدست آمده از مرحله قبلی طبق جدول ۱-B جهت بسته‌بندی پنیر فراپالایش تولیدی استفاده گردید. اثر مدت زمان ماندگاری و حضور یا عدم حضور فیلم فعال بر ویژگی‌های کیفی پنیر فراپالایش، بررسی شد.

Table 1-A Statistical analysis table of prepared film samples

Run	Extract%	SnO_2 NPs%
*1 (Blank)	0	0
*2 (Max NPs)	0	4
3	3	0
4	0	2
5	3	2
6	3	2
7	3	2
8	3	2
9	3	2
10	6	2
*11 (Max Extract)	6	0
*12 (Optimum)	6	4
13	3	4

Blank Film: Chia seed mucilage nanocomposite film
Max SnO_2 Film: Chia seed mucilage nanocomposite film containing the highest percentage of tin oxide nanoparticles
Max Extract Film: Chia seed mucilage nanocomposite film containing the highest percentage of barberry extract
Optimum Film: Chia seed mucilage nanocomposite film containing the highest percentage of tin oxide nanoparticles and barberry extract

Table 1-B. Selected films for Cheese samples packaging

Run	A: Extract (%)	B: SnO_2 NPs (%)
R_1	0	0
R_2	0	4
R_{11}	6	0
R_{12}	6	4

5 - بحث و نتایج

5-1- اسیدیته و pH

مطابق تجزیه و تحلیل آماری، تاثیر مدت زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی بر میزان pH و اسیدیته نمونه‌های پنیر فراپالایش بسته‌بندی شده با فیلم زیست‌تخریب‌پذیر بر

2 - Chia Seed Mucilage

3 - The highest percentage of barberry extract on Chia Seed Mucilage film

4 - The highest percentage of tin oxide nanoparticles on Chia Seed Mucilage film

5 - The interaction of both variables (on barberry extract and tin oxide nanoparticles) on Chia Seed Mucilage film

پایه موسیلاژ دانه چیا حاوی عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع، معنادار بود ($P<0.05$)؛ همانگونه که در جدول ۲، نیز ارائه گردیده است، با گذشت مدت زمان نگهداری، میزان pH و اسیدیته نمونه‌های بسته‌بندی شده به ترتیب کاهش و افزایش یافتند؛ علت کاهش pH در طول دوره نگهداری، می‌تواند ناشی از تجزیه میکروبی لاکتوز، پروتئولیز (تولید اسیدهای آمینه اسیدی) و اکسیداسیون لیپید (تولید اسیدهای چرب آزاد) باشد [۳۳] و در نمونه‌های حاوی هر دو فاکتور مورد بررسی، بیشترین میزان کاهش مشاهده گردید؛ بطوری‌که می‌تواند ناشی از فعالیت ضدمیکروبی بالا و ترکیبات فنولیک فاکتورهای مورد استفاده در فرمولاسیون فیلم خوراکی باشد؛ همچنین تخمیر لاکتوز توسط باکتری‌های استارتر و تولید اسید لاکتیک و سایر اسیدهای آلی، مهمترین عامل افزایش اسیدیته در طی مدت زمان نگهداری است [۳٤]. نتایج مشابهی توسط Mezhoudi و همکاران (۲۰۲۲)، در فیلم‌های خوراکی بر پایه ژلاتین ماهی حاوی عصاره مورینگا اولیفرا در بسته‌بندی پنیر ریکوتا، گزارش گردیده است [۳۵]. همچنین Ríos-de-Benito و همکاران (۲۰۲۱) با بررسی تاثیر پوشش خوراکی بر پایه کیتوزان و سدیم کازئینات حاوی اسانس پونه کوهی و نانوذرات سیلیکا بر روی پنیر پانلا به نتایج مشابهی در مورد کاهش pH و افزایش اسیدیته رسیدند [۳٦].

Table 2 The results of pH and acidity of UF packaged cheese

Sample	pH		Acidity (g/100)	
	15th day	30th day	15th day	30th day
Control	4.7 ± 0.6^{Aa}	4.7 ± 0.4^{Aa}	1.081 ± 0.28^{Ad}	1.098 ± 0.11^{Bd}
CSM	4.7 ± 0.5^{Aa}	4.6 ± 0.3^{Ba}	1.221 ± 0.25^{Abc}	1.314 ± 0.12^{Bbc}
CSM/Ex	4.8 ± 0.6^{Aa}	4.6 ± 0.5^{Ba}	1.303 ± 0.17^{Aab}	1.336 ± 0.34^{Bab}
CSM/NP	4.8 ± 0.5^{Aa}	4.6 ± 0.4^{Ba}	1.299 ± 0.21^{Ab}	1.343 ± 0.17^{Bab}
CSM/Ex/NP	4.6 ± 0.4^{Ab}	4.4 ± 0.2^{Bb}	1.351 ± 0.15^{Aa}	1.384 ± 0.22^{Ba}

Capital dissimilar letters in each row indicate significant differences between different days ($P<0.05$)
Small non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples ($P<0.05$)

5-2- رطوبت

نتایج آنالیز آماری محتوای رطوبتی نمونه‌های پنیر فراپالایش مورد بررسی، در جدول ۳ ارائه شده است؛ مطابق نتایج در طی مدت زمان نگهداری در تمامی نمونه‌های شاهد و پوشش داده شده، میزان رطوبت به طور معناداری کاهش یافت ($P<0.05$)؛ این کاهش به دلیل استفاده از آب پنیر ناشی از پدیده سینرسیس و جریان اسمزی در طول رسیدن پنیر است [۳٦]. همچنین در اثر استفاده از فیلم خوراکی بر پایه موسیلاژ دانه چیا و فیلم‌های خوراکی حاوی عصاره و نانوذرات، میزان رطوبت نسبت به نمونه شاهد کاهش یافت ولی تفاوت بین نمونه‌های پوشش داده شده، مشاهده نشد. علت کاهش میزان رطوبت در اثر استفاده از فیلم خوراکی را می‌توان به خاصیت آبدوستی موسیلاژ دانه چیا نسبت داد و از طرفی افزودن عصاره و نانوذرات به دلیل داشتن خاصیت آنتی اکسیدانی بالا در هر دو فاکتور و ترکیبات فنولیک در عصاره منجر به تعامل ترکیبات هیدروکسیل با موسیلاژ و جذب آب توسط پیوندهای هیدروژنی گردیده و در نهایت میزان رطوبت نمونه‌ها در طی مدت زمان نگهداری کاهش یافت [۳۷ و ۳۸]. نتایج موافقی توسط Ríos-de-Benito و همکاران (۲۰۲۱) در پوشش خوراکی فعال بر پایه کازئینات سدیم/ کیتوزان حاوی اسانس پونه کوهی تقویت شده با ذرات سیلیس و کاربرد آن بر روی پنیر پانلا ارائه شده است. به علاوه Soleimani-Rambod و همکاران (۲۰۱۸) در مورد پنیر چدار بسته‌بندی شده با پوشش خوراکی صمغ زانتان و موسیلاژ بذر کتان به نتایج مشابهی رسیدند [۳۸].

Table 3 The results of moisture of UF packaged cheese

Sample	Moisture (g/100)	
	15th day	30th day
Control	64.243±1.8^{Aa}	61.069±1.9^{Bb}
CSM	62.711±1.4^{Ab}	62.31±1.6^{Ba}
CSM/Ex	62.748±2.5^{Ab}	61.066±1.8^{Bc}
CSM/NP	62.743±1.5^{Ab}	61.068±2.1^{Bc}
CSM/Ex/NP	62.741±2.1^{Ab}	61.06±2.1^{Bc}

Capital dissimilar letters in each row indicate significant differences between different days (P<0.05)
Small non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples (P<0.05)

5-3- نمک

مطابق نتایج آنالیز آماری گزارش شده در جدول ٤، میزان نمک نمونه‌های پنیر فراپالایش مورد بررسی، در طی مدت زمان نگهداری در تمامی نمونه‌های پوشش داده شده به طور معناداری افزایش یافت (P<0.05)؛ همچنین تفاوت معنادار قابل توجهی در مقایسه نمونه‌های فاقد و حاوی فاکتورهای مورد بررسی مشاهده نگردید. علت افزایش میزان نمک در اثر استفاده از فیلم خوراکی را می‌توان به کاهش انتقال رطوبت و همچنین کم بودن رطوبت محیط اطراف نسبت داد [۳۹]. نتایج موافقی توسط Yangilar و همکاران (۲۰۱۷) برای پنیر کاشار بسته‌بندی شده با فیلم‌های خوراکی ناتامایسین غنی شده با اسانس پونه کوهی و رزماری گزارش شد [٤٠].

Table 4 The results of salt of UF packaged cheese

Sample	Salt (g/100)	
	15th day	30th day
Control	2.62±0.17^{Aa}	2.58±0.47^{Bcd}
CSM	2.55±0.54^{Ab}	2.60±0.24^{Bbc}
CSM/Ex	2.52±0.32^{Ac}	2.61±.024^{Bb}
CSM/NP	2.53±0.18^{Ac}	2.62±0.32^{Bb}
CSM/Ex/NP	2.51±0.24^{Acd}	2.64±0.17^{Ba}

Capital dissimilar letters in each row indicate significant differences between different days (P<0.05)
Small non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples (P<0.05)

5-4- پروتئولیز

پروتئولیز به عنوان یک رویداد بیوشیمیایی در طول رسیدن پنیر به ویژگی‌های حسی پنیر از طریق هیدرولیز کازئین‌ها به پپتیدهای کوچک و اسیدهای آمینه آزاد در توده پنیر، کمک می‌کند [٤١]. مطابق تجزیه و تحلیل آماری (جدول ٥)، میزان پروتئولیز نمونه‌های پنیر فراپالایش مورد بررسی، در طی مدت زمان نگهداری در تمامی نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت (P<0.05)؛ همچنین طبق نتایج با افزودن عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع، میزان پروتئولیز نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت (P<0.05)؛ بطوری‌که کمترین مقدار پروتئولیز در نمونه حاوی هردو فاکتور عصاره و نانوذره مشاهده گردید؛ علت کاهش پروتئولیز در طی مدت زمان نگهداری و بسته‌بندی‌های مختلف می‌تواند تحت تاثیر کاهش نسبت رطوبت به پروتئین و به عبارتی افزایش خروج آب پنیر و درنتیجه محدودیت فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیکی باشد [٤٢]. کاهش نسبت رطوبت به پروتئین در نتیجه سینرسیز پنیر و افزایش غلظت نمک آن از عواملی هستند که می‌توانند فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک را محدود کرده و منجر به کاهش پروتئولیز شود [٤٣]. نتایج مشابهی توسط کریمی ثانی و علیزاده (١٤٠١)، با افزودن میکروانکپسولاسیون عصاره هل و نانوذره اکسیدسریوم و کربن کوانتوم دات‌های گرافیتی در فیلم مبتنی بر ایزوله پروتئین ماش/ پکتین در بسته‌بندی پنیر فراپالایش گزارش گردید [۳۹].

Table 5 The results of proteolysis of UF packaged cheese

Sample	Proteolysis (g/100)	
	15th day	30th day
Control	0.245 ± 0.018^{Aa}	0.115 ± 0.011^{Ba}
CSM	0.158 ± 0.021^{Ab}	0.098 ± 0.011^{Bb}
CSM/Ex	0.108 ± 0.13^{Ad}	0.086 ± 0.009^{Bc}
CSM/NP	0.13 ± 0.17^{Ac}	0.083 ± 0.009^{Bd}
CSM/Ex/NP	0.095 ± 0.025^{Ae}	0.073 ± 0.012^{Be}

Capital dissimilar letters in each row indicate significant differences between different days (P<0.05)
Small non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples (P<0.05)

5-5- لیپولیز

هیدرولیز چربی شیر در طی تولید و رسیدن پنیر به فعالیت آنزیم لیپاز شیر، آنزیم‌های لیپولیتیک باکتری‌های اسیدلاکتیک آغازگر و غیرآغازگر و همچنین لیپازهای باکتری‌های سایکروتروف، بستگی دارد. مطابق تجزیه و تحلیل آماری ارائه شده در جدول ٦، میزان لیپولیز نمونه‌های پنیر فراپالایش مورد بررسی، در طی مدت زمان نگهداری در تمامی نمونه‌ها به طور معناداری افزایش یافت ($P<0.05$)؛ چربی موجود در پنیرها می‌تواند با فعالیت لیپولیتیکی منشأ گرفته از شیر، مایه پنیر، باکتری‌های کشت استارتر یا باکتری‌های غیراستارتر تجزیه شود، در نتیجه منجر به آزاد شدن اسیدهای چرب آزاد و درنتیجه افزایش لیپولیز در طول رسیدن و نگهداری پنیر شود [٤٤]. از طرفی طبق نتایج با افزودن عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع، میزان لیپولیز نمونه‌ها به طور معناداری کاهش یافت ($P<0.05$)؛ که این کاهش در نمونه حاوی هردو فاکتور بیشتر از سایر نمونه‌ها بود. علت این کاهش را می‌توان به خواص عصاره و نانوذره مورد استفاده در فرمولاسیون فیلم زیست‌تخریب‌پذیر نظیر داشتن خاصیت ضدمیکروبی بالا، خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالا، غنی بودن از لحاظ ترکیبات فنولی و ترکیبات زیست فعال نسبت داد که منجربه کاهش اکسیداسیون لیپیدها می‌شوند [٤٥ و ٤٦]. نتایج حاصله در توافق با یافته‌های Noor و همکاران (۲۰۲٤) برای پنیر چدار در فیلم بر پایه پروتئین شفیره کرم ابریشم حاوی عصاره برگ Catharanthus roseus بود که در طی مدت زمان نگهداری، میزان لیپولیز افزایش و با افزایش درصد عصاره کاهش یافت. همچنین Dakheel و همکاران (۲۰۲۳) بیان کردند که نانوذرات تیتانیوم‌دی‌اکسید در فیلم خوراکی بر پایه ژلاتین در بسته‌بندی گوشت مرغ، توانایی کاهش اثر لیپولیتیک را دارند [٤٧].

Table 6 The results of lipolysis of UF packaged cheese

Sample	Lipolysis (meq/g)	
	15th day	30th day
Control	0.265 ± 0.04^{Aa}	0.92 ± 0.6^{Ba}
CSM	0.202 ± 0.12^{Ab}	0.851 ± 0.07^{Bb}
CSM/Ex	0.148 ± 0.09^{Ad}	0.789 ± 0.07^{Bd}
CSM/NP	0.164 ± 0.07^{Ac}	0.814 ± 0.05^{Bc}
CSM/Ex/NP	$0.141\pm.011^{Ae}$	0.78 ± 0.09^{Bd}

Capital dissimilar letters in each row indicate significant differences between different days (P<0.05)
Small non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples (P<0.05)

5-6- نتایج کلی فرم و کپک و مخمر

کلی‌فرم و کپک و مخمر در فیلم‌های بهینه جهت بسته‌بندی فراپالایش طی مدت زمان نگهداری رشد نکرده و جواب منفی بود.

5-7- ارزیابی حسی

ارزیابی حسی نمونه‌های پنیر بسته‌بندی شده با بررسی چندین فاکتور شامل رنگ، بافت، بو و پذیرش کلی مورد آنالیز قرار گرفت؛ مطابق نتایج آنالیز واریانس ارائه شده در جدول ۷، در روز ۱۵ام و ۳۰ام، امتیاز مربوط به بافت نمونه‌های پنیر در تمامی حالت‌ها تفاوت معناداری با نمونه شاهد نداشت ($p>0.05$)؛ از لحاظ رنگ نیز تفاوت معناداری با گذشت زمان در امتیاز رنگ مشاهده نشد؛ به جز نمونه حاوی عصاره که تفاوت معناداری با سایر نمونه‌ها و نمونه شاهد نشان داد و میزان امتیاز کمتری کسب کرد. همچنین طبق نتایج از لحاظ بو، با گذشت زمان و افزودن عصاره و نانوذره امتیاز نمونه‌های پنیر به طور جزئی و معناداری کاهش یافت ($P<0.05$) و در نهایت میزان پذیرش کلی نمونه‌های پنیر نیز با گذشت مدت زمان نگهداری به طور معناداری کاهش یافت ($P<0.05$)؛ بطوری‌که نمونه‌های روز ۳۰ام امتیاز کمتری از لحاظ پذیرش کلی نسبت به نمونه‌های روز ۱۵ام کسب کردند؛ که دلیل این امر می‌تواند ناشی از عدم پذیرش رنگ ظاهری و تغییر بوی پنیر (در اثر پروتئولیز و تولید پپتیدها، اسیدهای آمینه آزاد و ترکیباتی مانند آمین‌ها، تیول‌ها، اسیدها و تیواسترها) در طول زمان توسط پانالیست‌ها باشد. ولی با این حال نمونه‌ی حاوی هر دو فاکتور عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع، امتیاز بالاتری از لحاظ پذیرش کلی داشتند؛ که نشان از امکان استفاده از این دو فاکتور در بسته‌بندی محصولاتی نظیر پنیر می‌باشد. نتایج حاصله در هماهنگی با یافته‌های Pluta-Kubica و همکاران (۲۰۲۱) برای فیلم نانوکامپوزیت بر پایه فورسلاران حاوی نانوذرات نقره در بسته‌بندی پنیر بود [٤٨]. همچنین نتایج مشابهی توسط Mushtaq و همکاران (۲۰۱۸)، با افزودن عصاره پوست انار در فیلم خوراکی زئین در بسته بندی پنیر، ارائه گردیده است [٤٩].

Table 7 The results of sensory evaluation of UF packaged cheese

Sample	15th day			
	Color	Texture	Odor	Total acceptance
Control	5 ± 0.01^{A}	4 ± 0.01^{A}	4.6 ± 0.01^{A}	4.2 ± 0.001^{D}
CSM	5 ± 0.001^{A}	4 ± 0.002^{A}	4.2 ± 0.02^{D}	4.4 ± 0.002^{C}
CSM/Ex	4.75 ± 0.02^{B}	4 ± 0.01^{A}	4.55 ± 0.001^{B}	4.6 ± 0.01^{A}
CSM/NP	5 ± 0.01^{A}	4 ± 0.02^{A}	4.5 ± 0.001^{C}	4.5 ± 0.02^{B}
CSM/Ex/NP	5 ± 0.001^{A}	4 ± 0.01^{A}	4.5 ± 0.01^{C}	4.6 ± 0.01^{A}

Sample	30th day			
	Color	Texture	Odor	Total acceptance
Control	5 ± 0.01^{A}	4 ± 0.02^{A}	4.6 ± 0.02^{A}	3.8 ± 0.01^{E}
CSM	5 ± 0.01^{A}	4 ± 0.01^{A}	4.15 ± 0.03^{E}	3.95 ± 0.003^{C}
CSM/Ex	4.7 ± 0.01^{B}	4 ± 0.01^{A}	4.50 ± 0.01^{B}	4.1 ± 0.02^{B}
CSM/NP	4.9 ± 0.002^{A}	4 ± 0.001^{A}	4.45 ± 0.01^{C}	3.9 ± 0.01^{D}
CSM/Ex/NP	4.9 ± 0.01^{A}	4 ± 0.01^{A}	4.4 ± 0.001^{D}	4.25 ± 0.01^{A}

Non-identical letters in each column indicate significant differences between different samples ($P<0.05$)

6- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که استفاده از فیلم‌های نانوکامپوزیت زیست‌تخریب‌پذیر بر پایه موسیلاژ دانه چیا حاوی عصاره زرشک و نانوذرات اکسید قلع، بهبود قابل توجهی در ماندگاری و کیفیت پنیر فراپالایش ایجاد می‌کند. این فیلم‌ها با کاهش نفوذپذیری به رطوبت و اکسیژن، فعالیت‌های میکروبی و آنزیمی را محدود کرده و از کاهش کیفیت محصول در طول دوره نگهداری جلوگیری کردند. نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که افزودن عصاره زرشک و نانوذرات، میزان رطوبت، لیپولیز و پروتئولیز را کاهش داده و خواص حسی مانند رنگ، بافت و پذیرش کلی

را بهبود می‌بخشد. همچنین، ویژگی‌های ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی این ترکیبات، نقش مؤثری در کاهش فساد و افزایش ماندگاری ایفا کردند. در مجموع، استفاده از این فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر به عنوان جایگزینی پایدار و کارآمد برای بسته‌بندی مواد غذایی به‌ویژه محصولات لبنی پیشنهاد می‌شود.

۵-منابع

[1] Arfelli, F., Roguszewska, M., Torta, G., Iurlo, M., Cespi, D., Ciacci, L., & Passarini, F. (2024). Environmental impacts of food packaging: Is it all a matter of raw materials? *Sustainable Production and Consumption*, *49*, 318-328.

[2] Acharyya, P. P., Sarma, M., & Kashyap, A. (2024). Recent advances in synthesis and bioengineering of bacterial nanocellulose composite films for green, active and intelligent food packaging. *Cellulose*, *31*(12), 7163-7187.

[3] D'Almeida, A. P., & de Albuquerque, T. L. (2024). Innovations in Food Packaging: From Bio-Based Materials to Smart Packaging Systems. *Processes*, *12*(10), 2085.

[4] Farajinejad, Z., Sani, I. K., Alizadeh, M., & Amiri, S. (2024). A review of recent advances in the photocatalytic activity of protein and polysaccharide-based nanocomposite packaging films: antimicrobial, antioxidant, mechanical, and strength properties. *Journal of Polymers and the Environment, 32(8), 3437-3447.*

[5] Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2019). Chia seeds. *Salvia hispanica*, 1-19.

[6] Enes, B. N., Moreira, L. P., Silva, B. P., Grancieri, M., Lúcio, H. G., Venâncio, V. P., ... & Martino, H. S. (2020). Chia seed (Salvia hispanica L.) effects and their molecular mechanisms on unbalanced diet experimental studies: A systematic review. *Journal of food science*, *85*(2), 226-239.

[7] Orona-Tamayo, L. D., Valverde, E. M., & Paredes-Lopez, O. (2017). Chia-the new Golden seed for the 21st century: nutraceutical properties and technological uses. *Chapter 17. Sustainable protein sources.*

[8] Peláez, P., Orona-Tamayo, D., Montes-Hernández, S., Valverde, M. E., Paredes-López, O., & Cibrián-Jaramillo, A. (2019). Comparative transcriptome analysis of cultivated and wild seeds of Salvia hispanica (chia). *Scientific reports*, *9*(1), 9761.

[9] Muñoz-Tébar, N., Carmona, M., Ortiz de Elguea-Culebras, G., Molina, A. and Berruga, M.I., 2022. Chia seed mucilage edible films with origanum vulgare and satureja montana essential oils: characterization and antifungal properties. Membranes, 12(2), p.213.

[10] Charles-Rodríguez, A.V., Rivera-Solís, L.L., Martins, J.T., Genisheva, Z., Robledo-Olivo, A., González-Morales, S., López-Guarin, G., Martínez-Vázquez, D.G., Vicente, A.A. and Flores-López, M.L., 2020. Edible films based on black chia (Salvia hispanica L.) seed mucilage containing Rhus microphylla fruit phenolic extract. Coatings, 10(4), p.326.

[11] Urbizo-Reyes, U., San Martin-González, M.F., Garcia-Bravo, J. and Liceaga, A.M., 2020. Development of chia seed (Salvia hispanica) mucilage films plasticized with polyol mixtures: Mechanical and barrier properties. *International Journal of Biological Macromolecules, 163, pp.854-864.*

[12] Nikmaram, N., Budaraju, S., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., Cox, R. B., Mallikarjunan, K., & Roohinejad, S. (2018). Application of plant extracts to improve the shelf-life, nutritional and health-related properties of ready-to-eat meat products. *Meat science*, *145*, 245-255.

[13] Salehi, B., Selamoglu, Z., Sener, B., Kilic, M., Kumar Jugran, A., de Tommasi, N., ... & C. Cho, W. (2019). Berberis plants—drifting from farm to food applications, phytotherapy, and phytopharmacology. *Foods*, *8*(10), 522.

[14] Ivan, I. M., Olaru, O. T., Popovici, V., Chițescu, C. L., Popescu, L., Luță, E. A., ... & Gîrd, C. E. (2024). Antioxidant and Cytotoxic Properties of Berberis vulgaris (L.) Stem Bark Dry Extract. *Molecules*, *29*(9), 2053.

[15] Polianciuc, S. I., Ciorîță, A., Soran, M. L., Lung, I., Kiss, B., Ștefan, M. G., ... & Loghin, F. (2024). Antibiotic Residues and Resistance in Three Wastewater Treatment Plants in Romania. *Antibiotics, 13(8), 780.*

[16] Abu-Odeh, A. M., & Talib, W. H. (2021). Middle East medicinal plants in the treatment of diabetes: a review. *Molecules*, *26*(3), 742.

[17] Katekhong, W., Wongphan, P., Klinmalai, P., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Thermoplastic starch blown films functionalized by plasticized nitrite blended with PBAT for superior oxygen barrier and active biodegradable meat packaging. *Food Chemistry*, *374*, 131709

[18] Waseem, M., Rehman, W., Hussain, R., Hussain, S., Haq, S., & Anis-ur-Rehman, M. (2021). Evaluation of structural, electrical and magnetic properties of nanosized unary, binary and ternary particles of Fe 3 O 4, SnO 2 and TiO 2. *Chemical Papers*, *75*, 2625-2638.

[19] Bibi, N., Haq, S., Rehman, W., Waseem, M., Rehman, M. U., Shah, A., ... & Rasheed, P. (2020). Low temperature fabrication of SnO2, ZnO and Zn2SnO4 nanostructures for the degradation of

Rhodamine 6G: Characterization. *Biointerface Res. Appl. Chem*, *10*, 5895-5900.

[20] Bouroutzika, E., Proikakis, S., Anagnostopoulos, A. K., Katsafadou, A. I., Fthenakis, G. C., & Tsangaris, G. T. (2021). Proteomics analysis in dairy products: cheese, a review. *Applied Sciences*, *11*(16), 7622.

[21] Mistry, V. V., & Maubois, J. L. (2017). Application of membrane separation technology to cheese production. In *Cheese* (pp. 677-697). Academic Press.

[22] Soltani, M., Saremnezhad, S., Faraji, A. R., & Hayaloglu, A. A. (2022). Perspectives and recent innovations on white cheese produced by conventional methods or ultrafiltration technique. International Dairy Journal, 125, 105232.

[23] Lee, N. K., Jeewanthi, R. K. C., Park, E. H., & Paik, H. D. (2016). Physicochemical and antioxidant properties of Cheddar -type cheese fortified with Inula britannica extract. Journal of dairy science, 99(1), 83 –

[24] Motelica, L., Ficai, D., Oprea, O. C., Ficai, A., Ene, V. L., Vasile, B. S., ... & Holban, A. M. (2021). Antibacterial biodegradable films based on alginate with silver nanoparticles and lemongrass essential oil–innovative packaging for cheese. Nanomaterials, 11(9), 2377.

[25] Hassani, D., Sani, I. K., & Pirsa, S. (2024). Nanocomposite film of potato starch and gum Arabic containing boron oxide nanoparticles and anise hyssop (Agastache foeniculum) essential Oil: investigation of physicochemical and antimicrobial properties. Journal of Polymers and the Environment, 32(4), 1972-1983.

[26] Dadkhah, H., Pirsa, S., Javadi, A., & Mohtarami, F. (2023). Biodegradable film of Sodium alginate film/flax seed mucilage/norbixin/tungsten oxide: investigation of color, crystalline, thermal, mechanical and antibacterial properties. *pharmaceuticals*, *16*, 14.

[27] Hamdy, S. M., Hassan, M. G., Ahmed, R. B., & Abdelmontaleb, H. S. (2021). Impact of oat flour on some chemical, physicochemical and microstructure of processed cheese. *Journal of Food Processing and Preservation, 45(9), e15761.*

[28] Ai-Bedrani, D. I. J., Hasan, S. T., Altaee, A. A., & Alqotbi, A. A. (2021, November). Improving low-fat soft cheese quality properties made from reconstituted skim milk by using whey protein concentrate as a fat replacer. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 910, No. 1, p. 012040). IOP Publishing.

[29] Miloradovic, Z., Tomic, N., Kljajevic, N., Levic, S., Pavlovic, V., Blazic, M., & Miocinovic, J. (2021). High heat treatment of goat cheese milk. The effect on sensory profile, consumer acceptance and microstructure of cheese. *Foods*, *10*(5), 1116.

[30] Nicosia, F. D., Pino, A., Maciel, G. L. R., Sanfilippo, R. R., Caggia, C., de Carvalho, A. F., & Randazzo, C. L. (2023). Technological characterization of lactic acid bacteria strains for potential use in cheese manufacture. *Foods*, *12*(6), 1154.

[31] Gonzalez-Gonzalez, C. R., Machado, J., Correia, S., McCartney, A. L., Elmore, J. S., & Jauregi, P. (2019). Highly proteolytic bacteria from semi-ripened Chiapas cheese elicit Angiotensin-I converting enzyme inhibition and antioxidant activity. *Lwt*, *111*, 449-456.

[32] Innosa, D., Ianni, A., Faccia, M., Martino, C., Grotta, L., Saletti, M. A., ... & Martino, G. (2020). Physical, nutritional, and sensory properties of cheese obtained from goats fed a dietary supplementation with olive leaves. *Animals*, *10*(12), 2238.

[33] Gao, X., Zheng, Y., Zhong, Y., Zhou, R., Li, B., & Ma, M. (2023). Preparation and Characterization of Novel Chitosan Coatings to Reduce Changes in Quality Attributes and Physiochemical and Water Characteristics of Mongolian Cheese during Cold Storage. *Foods*, *12*(14), 2731.

[34] Nottagh, S., Hesari, J., Peighambardoust, S. H., Rezaei-Mokarram, R., & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2020). Effectiveness of edible coating based on chitosan and Natamycin on biological, physico-chemical and organoleptic attributes of Iranian ultra-filtrated cheese. Biologia, 75(4), 605-611.

[35] Mezhoudi, M., Salem, A., Abdelhedi, O., Fakhfakh, N., Debeaufort, F., Jridi, M., & Zouari, N. (2022). Edible films from triggerfish gelatin and Moringa oleifera extract: Physical properties and application in wrapping ricotta cheese. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(5), 3987-3997.

[36] Ríos-de-Benito, L. F., Escamilla-García, M., García-Almendárez, B. Amaro-Reyes, A., Di Pierro, P., & Regalado-González, C. (2021). Design of an active edible coating based on sodium caseinate, chitosan and oregano essential oil reinforced with silica particles and its application on Panela cheese. Coatings, 11(10), 1212

[37] Nemati, V., Hashempour-Baltork, F., Sadat Gharavi-Nakhjavani, M., Feizollahi, E., Marangoni Júnior, L., & Mirza Alizadeh, A. (2023). Application of a whey protein edible film incorporated with cumin essential oil in cheese preservation. *Coatings*, *13*(8), 1470.

[38] Soleimani-Rambod, A., Zomorodi, S., Naghizadeh Raeisi, S., Khosrowshahi Asl, A., & Shahidi, S. A. (2018). The effect of xanthan gum and flaxseed mucilage as edible coatings in cheddar cheese during ripening. *Coatings*, *8*(2), 80.

[39] Karimi Sani, I., Alizadeh, M. (2022). Packaging of ultra-filtered cheese with edible film of mash protein isolate-apple pectin nanocomposite containing microencapsulation of cardamom extract and cerium oxide nanoparticles and graphite carbon quantum dots: Investigation of its physicochemical properties. *Iranian Journal of Food Science and Technology, 19(128), 235-247.*

[40] Yangilar, F. (2017). Effects of natamycin edible films fortified with essential oils on the safety and quality parameters of Kashar cheese. *Journal of Food Safety, 37(2), e12306.*

[41] Papadopoulou, O. S., Argyri, A. A., Bikouli, V. C., Lambrinea, E., & Chorianopoulos, N. (2022). Evaluating the quality of cheese slices packaged with Na-alginate edible films supplemented with functional lactic acid bacteria cultures after high-pressure processing. *Foods*, *11*(18), 2855.

[42] El-Sisi, A. S., Gapr, A. M., & Kamaly, K. M. (2015). Use of chitosan as an edible coating in RAS cheese. *Biolife*, *3*(2), 564-570.

[43] Özer, B., Hayaloglu, A. A., Yaman, H., Gürsoy, A., & Şener, L. (2013). Simultaneous use of transglutaminase and rennet in white-brined cheese production. *International dairy journal, 33(2), 129-134.*

[44] Sardiñas-Valdés, M., García-Galindo, H. S., Chay-Canul, A. J., Velázquez-Martínez, J. R., Hernández-Becerra, J. A., & Ochoa-Flores, A. A. (2021). Ripening changes of the chemical composition, proteolysis, and lipolysis of a hair sheep milk Mexican Manchego-style cheese: effect of nano-emulsified curcumin. *Foods*, *10*(7), 1579.

[45] Muhammad Jamel, M., Somaya Khalaf, B., & Muhammad Yaqoub, A. (2023). Evaluate the effect of using a whey protein membrane loaded with zinc nanoparticles, lactoferrin and neptomycin on microbial growth in laboratory-made soft white cheese. *Medical & Clinical Research 8 (5), 01*, *8*.

[46] Kouser, F., Kumar, S., Bhat, H. F., Hassoun, A., Bekhit, A. E. D. A., & Bhat, Z. F. (2023). Aloe barbadensis based bioactive edible film improved lipid stability and microbial quality of the cheese. *Foods*, *12*(2), 229.

[47] Dakheel, M. J., & Jasim, H. N. (2023). Effect of the gelatin mixed with titanium dioxide nanoparticles as active packaging on bacterial growth and some characteristics of refrigerated chicken meat. *Tikrit Journal of Veterinary Sciences*, *23*(1), 8-21.

[48] Pluta-Kubica, A., Jamróz, E., Khachatryan, G., Florkiewicz, A., & Kopel, P. (2021). Application of furcellaran nanocomposite film as packaging of cheese. *Polymers*, *13*(9), 1428.

[49] Mushtaq, M., Gani, A., Gani, A., Punoo, H. A., & Masoodi, F. A. (2018). Use of pomegranate peel extract incorporated zein film with improved properties for prolonged shelf life of fresh Himalayan cheese (Kalari/kradi). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *48*, 25-32.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Investigation of physicochemical properties of ultra-filtered cheese packaging with nanocomposite film based on chia seed mucilage containing barberry extract and tin oxide nanoparticles

Shirin Foruzan[1], Sajad Pirsa[1]* and Abolfazl Alirezalu[2]

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

2-Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2025/1/2

Accepted:2025/1/27

Keywords:

Ultrafiltration cheese,

nanocomposite film,

chia seed mucilage,

barberry extract,

tin oxide nanoparticles

DOI: **10.22034/FSCT.22.163.216.**

*Corresponding Author E-

ABSTRACT

In this study, the physicochemical and microbial properties of ultra-filtrated cheese packaged with biodegradable nanocomposite films based on chia seed mucilage containing barberry extract and tin oxide nanoparticles based on the central composite design were investigated. The aim of this research was to enhance the shelf life and sensory quality of this type of cheese through the use of edible films. The results showed that using the developed films significantly reduced the pH and increased the acidity of the samples during the storage period (15 and 30 days), which was attributed to the antimicrobial activity and phenolic compounds of the barberry extract and nanoparticles. Moisture analysis also revealed that films containing chia mucilage and active compounds significantly reduced moisture compared to the control sample, which was related to the hydrophilic nature of the mucilage and its interaction with phenolic compounds. Moreover, the use of these films reduced the extent of lipolysis and proteolysis in cheese samples, attributed to the restricted activity of proteolytic and lipolytic enzymes due to reduced moisture permeability and increased salt concentration. Microbial culture of the samples indicated the absence of growth of coliforms, molds, and yeasts in the optimal films for ultrafiltration packaging during the storage period. Sensory evaluation indicated that films containing barberry extract and tin oxide nanoparticles exhibited better overall acceptance in terms of color, texture, and aroma and prevented undesirable changes during storage. Additionally, these films improved mechanical strength and barrier properties, preventing oxygen penetration into the product, which resulted in reduced spoilage rates and better preservation of product quality.