مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

اثر پوشش خوراکی تلفیقی صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر بر ماندگاری توت فرنگی

اسعد محمد امینی*

دکتری علوم و صنایع غذایی، استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۱۹

کلمات کلیدی:

آنتوسیانین،

اندازه ذره،

رنگ،

نفوذپذیری،

ویتامین C

DOI: 10.22034/FSCT.22.165.276.

* مسئول مکاتبات:

a.mohammadamini@uok.ac.ir

asadm_amini@yahoo.com

چکیده

توت‌فرنگی به عنوان یک میوه ارزشمند، عمر ماندگاری کوتاه داشته و بسیار فسادپذیر است. از جمله راهکارهای مؤثر برای رفع این مشکل، استفاده از پوشش‌های خوراکی است که علاوه بر حفظ تازگی و ارزش تغذیه‌ای و حسی، از ضایعات آن هم می‌توان جلوگیری نمود. در این تحقیق، اثر پوشش خوراکی امولسیونی تکی و تلفیقی صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر با سه سطح نسبت اختلاط در قالب طرح کاملاً تصادفی بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. اندازه ذره امولسیون‌ها در محدوده ۳/۲ تا ۴/۸ میکرون متغیر بود و با بیشتر شدن مقدار پروتئین، اندازه ذره‌ها افزایش یافت. سطح فیلم تلفیقی با نسبت صمغ به پروتئین ۱:۱ کاملاً صاف و متراکم بود و کمترین محتوای رطوبت و حلالیت در آب را داشت، در حالی که با افزایش مقدار پروتئین، مقدار آنها بالا رفت و سطح فیلم‌ها ناهموار و گسیخته شد و مقدار نفوذپذیری به بخار آب افزایش یافت. پوشش دادن توت‌فرنگی سبب کاهش تغییرات افت وزنی، پارامترهای رنگی، محتوای آنتوسیانین، ویتامین C، سفتی بافت و ثابت ماندن مقدار مواد جامد محلول نسبت به نمونه‌های بدون پوشش شد. بطور کلی، پوشش دادن توت‌فرنگی از طریق ایجاد مانعی در مقابل تبادل رطوبت و تنفس بطور مؤثری سبب حفظ پارامترهای کیفی توت‌فرنگی طی نگهداری شد. نتایج این تحقیق نشان داد پوشش دادن توت‌فرنگی با پوشش تلفیقی صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر در نسبت ۱:۱ می‌تواند بطور کارآمدی ماندگاری را افزایش داده و از افت کیفیت و ایجاد ضایعات آن جلوگیری نماید.

۱-مقدمه

میوه توت فرنگی علیرغم دارا بودن خواص حسی و تغذیه‌ای ارزشمند، بسیار فسادپذیر می‌باشد که به فعالیت متابولیک و رشد میکروبی نسبت داده می‌شود. بنابراین، عمر ماندگاری این میوه بسیار کم بوده و ساده‌ترین راهکار برای جلوگیری از افت کیفیت و ضایعات، مصرف سریع آن است که در مواردی چندان کاربردی بنظر نمی‌رسد. از میان روش‌های مختلف حفظ و نگهداری محصولات تازه خصوصاً میوه‌های حساس به فساد، بکارگیری پوشش‌های خوراکی به دلیل زیست تخریب‌پذیری، زیست سازگاری و برخی به دلیل دارا بودن خواصی مانند ضداکسایشی، ضدمیکروبی و ممانعت از تبادل رطوبت و اکسیژن، مورد توجه ویژه قرار گرفته است [1, 2]. از جمله مواد مورد استفاده برای تولید پوشش‌های خوراکی می‌توان به پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها و لیپیدها اشاره نمود. به دلیل اینکه هر کدام از مواد اشاره شده ویژگی‌های خاص ولی محدودی دارند، لذا به منظور بهره‌گیری از جنبه-های مثبت هر کدام، استفاده از پوشش‌های تلفیقی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است [2]. عمده ترکیبات مطالعه شده برای پوشش‌دهی توت فرنگی به منظور افزایش ماندگاری، از دسته هیدروکلوئیدها و پروتئین‌ها بوده‌اند [3, 4].

صمغ دانه بالنگو شیرازی (*Lallemantia royleana*) یک نوع آرابینو-گالاکتان حاوی رامنوز، گزایلوز و گلوکز [5] می‌باشد که دارای ۶۲/۹ درصد قندهای خنثی و ۱۶/۷ درصد قندهای اسیدی (اورونیک اسید) و تشکیل دهنده ژل ضعیف است [6]. گزارش شده که این صمغ به دلیل وجود ترکیبات فنلی، دارای خواص آنتی‌اکسیدانی و ضدمیکروبی نیز می‌باشد [7]. با توجه به خصوصیات عملکردی و رئولوژیک صمغ دانه بالنگو شیرازی، قابلیت تشکیل فیلم [8] و پوشش از این صمغ برای پوشش دادن سیب زمینی سرخ شده [9]، گوشت گاو [10] و هلو [11] گزارش شده است.

پروتئین آب پنیر به عنوان پروتئین‌های محلول در آب حاصل از فرآیند کوآگولاسیون کازئین، جزو ضایعات صنایع لبنی محسوب می‌شود که به دلیل حجم بالای تولید و ارزش تغذیه‌ای آن، برای تولید محصولات با ارزش افزوده مورد توجه ویژه قرار گرفته است. از جمله کاربردهای گسترده این پروتئین‌ها (علاوه بر اصلاح بافت، غلیظ کنندگی، تشکیل ژل، کف کنندگی و امولسیون کنندگی)، تهیه پوشش خوراکی با ارزش تغذیه‌ای بالا برای پوشش‌دهی میوه و سبزیجات تازه است. پوشش‌های تهیه شده از پروتئین آب پنیر، شفاف و بدون عطر و طعم بوده و نفوذپذیری کمی به اکسیژن دارند اما به دلیل داشتن حلالیت و نفوذپذیری به بخار آب زیاد و انعطاف پذیری کم و خواص مکانیکی ضعیف، به تنهایی از کاربرد چندان مطلوبی برخوردار نیستند [2]. به همین دلیل، یک راهکار عملی برای اصلاح این معایب، تلفیق آن با پلی-ساکاریدها می‌باشد. از پوشش‌های پروتئین آب پنیر به تنهایی یا در تلفیق با پلی‌ساکاریدها به منظور حفظ کیفیت میوه‌هایی مانند سیب [12]، گلابی [13] یا توت‌فرنگی [14] استفاده شده است.

با توجه به موارد ذکر شده، تا کنون در هیچ تحقیق منتشر شده‌ای پتانسیل استفاده از ترکیب صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر به عنوان پوشش برای حفظ کیفیت و ماندگاری توت فرنگی مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا، هدف از انجام این تحقیق، ایجاد پوشش امولسیونی تلفیقی صمغ دانه بالنگو و پروتئین آب پنیر حاوی روغن زیتون بود. در این راستا، خصوصیات فیزیکوشیمیایی پوشش تلفیقی از جمله اندازه ذره، نفوذپذیری به بخار آب، ضخامت، حلالیت و تغییرات ساختاری و همچنین خواص کیفی توت فرنگی پوشش داده شده با ترکیب تلفیقی امولسیونی صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر شامل افت وزنی، رنگ، ویتامین C، pH، اسیدیته، محتوای آنتوسیانین و سفتی بافت طی زمان نگهداری یک هفته در دمای یخچال مورد بررسی قرار گرفتند.

۲- مواد و روش‌ها

صمغ دانه بالنگو مطابق روش بهینه محمدامینی [15] استخراج و به روش انجمادی خشک گردید. ایزوله پروتئین آب پنیر با ۹۲ درصد پروتئین از شرکت هیلمار (Hilmar Ingredients, USA)، روغن زیتون از شرکت صنعتی بهشهر،

۲ و ٦-دی‌کلروفنل ایندوفنل و اسکوربیک اسید از شرکت سیگما و گلیسرول و سایر مواد شیمیایی از شرکت مرک خریداری شدند. توت فرنگی رقم کاماروسا به صورت تازه از بازار شهر سنندج تهیه گردید.

۲-۱- تولید و بررسی پوشش امولسیونی

به منظور تهیه پوشش‌های امولسیونی تکی صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر، محلول آنها در آب مقطر آماده شد و هر کدام با گلیسرول (۵۰ درصد وزنی) در حین همزدن مخلوط گردید و سپس روغن زیتون (۵۰ درصد وزنی) به تدریج اضافه شده و به مدت ۵ دقیقه با دور ۸۰۰۰ rpm (Ultra-Turrax T18 digital, IKA, Germany) هموژن گردید. برای تهیه پوشش‌های تلفیقی، مقدار لازم از محلول صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر مخلوط شد به طوری که در تمام نسبت‌های اختلاط صمغ بالنگو با پروتئین آب پنیر (۱:۱، ۱:۳ و ۱:۵)، غلظت مخلوط نهایی ثابت (۱٪ وزنی-وزنی) بود (جدول ۱). بقیه مراحل آماده‌سازی عیناً مشابه پوشش‌های تکی انجام شد. اندازه ذرات پوشش‌های تهیه شده، توسط دستگاه زتاسایزر (Zetasizer Nano ZS, Malvern Panalytical, UK) اندازه‌گیری و بر اساس میانگین حجمی قطر گزارش شد [12]. طیف جذبی مادون قرمز (FT-IR) نمونه‌های پوشش خشک شده به روش انجمادی توسط دستگاه طیف سنج بروکر وکتور ۲۲ (Bruker Corp., USA) در محدوده عدد موجی ٤۰۰۰ تا cm^{-1} ٤۰۰ و وضوح cm^{-1} ٤ ثبت شد.

۲-۲- تهیه و بررسی فیلم

مقدار مشخصی از پوشش تهیه شده در قالب‌های پلی‌اتیلنی با قطر ۱۵ سانتی‌متر ریخته شده و پس از حباب‌زدایی، در شرایط محیطی (دما و رطوبت نسبی متوسط °C ۲۸ و ۱۹ درصد) خشک شده و به صورت فیلم از قالب جدا شد و تا زمان انجام آزمایش‌ها در کیسه‌های پلی‌اتیلنی زیپدار و محیط خنک نگه‌داری شدند. مرفولوژی فیلم‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی MIRA3 FE-SEM (TESCAN, Czech Republic) در ولتاژ ۳۰ کیلوولت پس از پوشش دادن نمونه-ها با طلا به مدت ۸۰ ثانیه تصویربرداری شد. ضخامت، حلالیت در آب و نفوذپذیری به بخار آب (ASTM E96-00, 2000) نمونه‌های فیلم مطابق محمدامینی و رضوی (2020) تعیین شدند [16].

۲-۳- پوشش‌دهی توت فرنگی

ابتدا توت فرنگی‌های سالم با اندازه و رسیدگی ظاهری یکسان جدا شده و با آب سرد شسته شدند. به منظور مقایسه دقیق خصوصیات میوه‌های دارای پوشش و بدون پوشش، هر میوه واحد به دو نصف به صورت طولی بریده شده و نصف بدون ساقه به عنوان شاهد و نصف دارای ساقه برای پوشش‌دار کردن استفاده شد. پس از خشک شدن سطح میوه، داخل محلول پوشش به مدت یک دقیقه غوطه ور شده و سه مرتبه تکرار شد تا بطور کامل سطح آنها آغشته به محلول پوشش شود. پس از خشک شدن سطح میوه‌ها، برش‌های میوه بدون پوشش و پوشش‌دار در کیسه‌های پلی‌اتیلنی تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای °C ۵ نگهداری شدند. برای هر نمونه پوشش، حداقل ۱۰ میوه واحد استفاده شد.

۲-٤- آزمون‌های توت فرنگی

محتوای رطوبت نمونه‌های توت فرنگی مطابق روش استاندارد وزن‌سنجی (AOAC Method 930.15) اندازه‌گیری شد که با کسر داده‌ها از مقدار رطوبت میوه تازه، مقدار افت وزنی طی زمان محاسبه گردید. مقدار مواد جامد محلول کل (بر حسب درجه بریکس)، pH و اسیدیته قابل تیتر (بر حسب اسید سیتریک) عصاره توت‌فرنگی به ترتیب توسط رفراکتومتر Atago Master 53α (ژاپن)، pH متر AZ 86505 (تایوان) و تیتراسیون با محلول ۰/۱ نرمال هیدروکسید سدیم اندازه‌گیری شدند [17]. مقدار ویتامین C نمونه‌ها به روش تیتراسیون ۲ و ٦-دی‌کلروفنل ایندوفنل (AOAC Method 967.21) انجام شد. محتوای آنتوسیانین توت فرنگی به روش گزارش شده توسط تقوی و همکاران (۲۰۲۰) از طریق استخراج با مخلوط کلروفرم-متانول اسیدی و اندازه گیری جذب در طول موج های ۵۳۰ و ٦۵۷ نانومتر توسط طیف سنج نوری UNICO UV-2100 (USA) انجام شد [18]. پارامترهای رنگی توت‌فرنگی‌ها در فضای رنگی CIELAB

توسط دستگاه رنگ‌سنج TES 135a (TES Electrical Electronic Corp., Taiwan) تعیین شد و بر اساس آنها، مقدار Hue مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$Hue\,(^\circ) = \tan^{-1}\left(b^*/a^*\right) \quad \text{رابطه (۱)}$$

میزان سفتی بافت نمونه‌های توت‌فرنگی به عنوان بیشترین مقدار نیرو (N) در آزمون نفوذ، توسط دستگاه QTS-25 (CNS Farnell, UK) با پروب استوانه‌ای به قطر ۳ میلی‌متر، کرنش ۵۰ درصد و سرعت نفوذ ۱ میلی‌متر بر ثانیه تعیین شد [4].

۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

این تحقیق در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار به انجام رسید و مقایسه میانگین‌ها به منظور بررسی معنی‌داری آماری در سطح ۵ درصد با آزمون توکی توسط نرم افزار Minitab نسخه ۲۱ انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیات پوشش امولسیونی

۳-۱-۱- اندازه ذره پوشش امولسیونی

بر اساس نتایج (جدول ۱)، مشخص شد که اندازه ذره نمونه امولسیون حاوی صمغ بالنگو (B) با سایر نمونه‌ها بجز نمونه تلفیقی با نسبت ۱:۱ (BW-1) اختلاف معنی‌دار داشت. کوچکترین اندازه ذره متعلق به B و BW-1 بود در حالی که برای پوشش پروتئین آب پنیر (W) و پوشش تلفیقی با نسبت ۱:۳ (BW-3) و ۱:۵ (BW-5) تقریباً در یک محدوده بود و علی‌رغم بالا رفتن نسبت پروتئین، افزایش معنی‌داری در اندازه ذره مشاهده نشد. از طرفی، تمامی نمونه‌های پوشش دارای شاخص پراکندگی ذره (PDI) قابل قبولی بودند به غیر از نمونه تلفیقی با نسبت ۱:۳ که تفاوت معنی‌دار با سایر نمونه‌ها داشت. کمترین PDI مربوط به نمونه‌های B، W و BW-5 بود ($p > ۰/۰۵$). نجف نجفی و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی امولسیون تهیه شده از تلفیق صمغ بالنگو (صفر تا ۰/۳ درصد) و پروتئین آب پنیر (۰/۵ تا ۳ درصد) گزارش نمودند که غلظت پروتئین اثر معنی‌دار بر اندازه ذره امولسیون داشته به طوری که با افزایش غلظت پروتئین، اندازه ذره کاهش یافته است [19]. این تفاوت در نتایج احتمالاً مربوط به مقدار روغن مورد استفاده در مطالعه این محققین (۲۰ تا ۵۰ درصد کل امولسیون) نسبت به تحقیق حاضر (۰/۵ درصد کل امولسیون) و نحوه تولید امولسیون باشد.

کوچک بودن اندازه ذره امولسیون B را می‌توان به اثر پایدارسازی آن توسط افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و در امولسیون BW-1 به ناسازگاری بین صمغ و پروتئین با بار منفی نسبت داد که احتمالاً در نتیجه نیروهای دافعه الکترواستاتیک موجود، لایه فشرده‌تری اطراف گلبول‌های چربی شکل گرفته است [20]، اما با افزایش مقدار پروتئین آب پنیر، تراکم پروتئین آزاد و جذب نشده در فاز پیوسته افزایش یافته و پیوند بین مولکول‌های پروتئین (تجمع) جایگزین پیوندهای صمغ-پروتئین شده و سبب افزایش اندازه ذره شده است [19].

Table 1- Formulation and particle size of coating emulsions

Sample code	Balangu gum (%)	Whey protein (%)	Particle size (µm)	PDI
B	1	-	3.2 ±0.4 [b]	0.15 ± 0.07 [b]
W	-	1	4.5 ± 0.3 [a]	0.14 ± 0.02 [b]
BW-1	0.5	0.5	3.8 ± 0.5 [ab]	0.18 ± 0.06 [ab]
BW-3	0.25	0.75	4.7 ± 0.4 [a]	0.35 ± 0.10 [a]
BW-5	0.167	0.833	4.8 ± 0.3 [a]	0.13 ± 0.03 [b]

B, W, BW-1, BW-3, and BW-5 are coating prepared by Balangu gum, whey protein, Balangu gum-whey protein composites with 1:1, 1:3, and 1:5 ratios.
The same letters in a column represent non-significant differences at 5% level.

۳-۱-۲- طیف‌سنجی FTIR پوشش‌ها

طیف FTIR نمونه‌های پوشش تهیه شده در شکل ۱ ارائه شده است. در مجموع، تغییرات مشاهده شده در طیف FTIR نمونه‌های پوشش بیانگر این است که احتمالاً در نمونه‌های تلفیقی برهمکنش بین صمغ بالنگو از طریق پیوندهای هیدروژنی (حذف یا کم شدن ارتفاع پیک در ۳۴۵۲ cm^{-1}

(طیف a) و ۳٤۱٦ cm^{-1} (طیف b))، پیوند بین گروه کربونیل یا کربوکسیل با گروه‌های آمین پروتئین آب پنیر (افزایش ارتفاع پیک‌های ۲۸۵٦ cm^{-1}، ۱۷٤۷ cm^{-1}، ۱٥٤٥ cm^{-1} و کاهش ارتفاع یا حذف پیک در ۱٦٥۰ cm^{-1}، ۱۱٦۰ cm^{-1}، ۱۱۰۹ cm^{-1} و ۱۰٦۰ cm^{-1} در نمونه‌های تلفیقی نسبت به پوشش‌های تکی) انجام شده که در BW-1 در حداکثر خود بوده، منتها با افزایش مقدار پروتئین در فرمولاسیون، تعدادی پیوندهای آمین آزاد باقی مانده که مازاد بوده و هیچ گروه عاملی آزادی از صمغ باقی نمانده که پیوند برقرار نماید، لذا بیشترین پیوستگی ساختار در نمونه BW-1 مشاهده شد و با افزایش نسبت پروتئین، ساختار تجمعی و غیریکپارچه ایجاد شده است. نتایج مشابهی مبنی بر تغییرات پیک‌ها در تلفیق صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر توسط نجف نجفی و همکاران (۲۰۱٦) گزارش شده است [19].

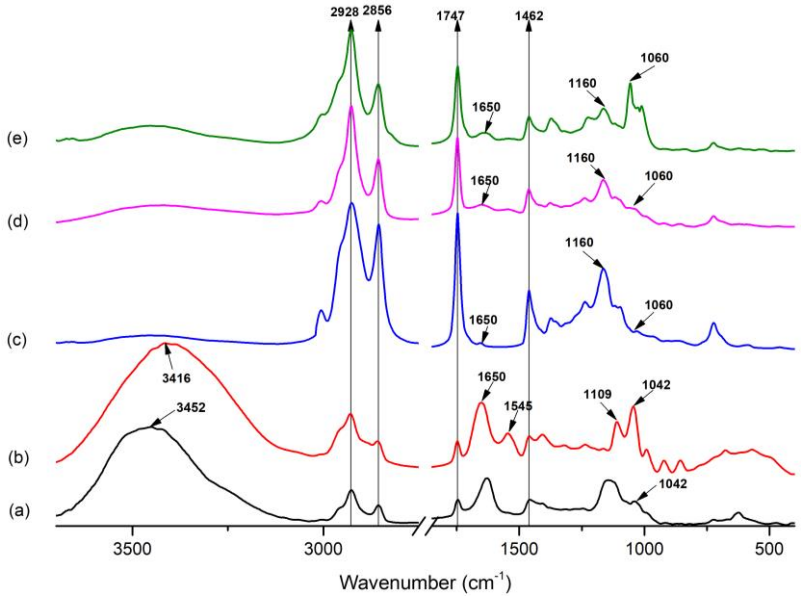

Fig. 1- FTIR spectra of coatings prepared from Balangu gum (a), whey protein (b), and their composite with gum to protein ratios of 1:1 (c), 1:3 (d), and 1:5 (e)

۳-۲- خصوصیات فیزیکوشیمیایی فیلم

۳-۲-۱- مرفولوژی سطح فیلم

همانطور که در شکل ۲a و ۲b مشاهده می‌شود، فیلم B سطح ناهموار داشته و از رشته‌های نامنظم قرار گرفته روی هم تشکیل شده در حالی که فیلم W سطح نسبتاً هموارتری داشته (شکل ۲c) ولی ذرات کروی روی سطح آن مشهود است (شکل ۲d). تصاویر ریزساختار فیلم BW-1 (شکل f و ۲e) صاف و هموار بودن سطح را نشان می‌دهد که تراکم فیلم و نداشتن هیچگونه منفذ یا شکستگی، احتمالاً برهمکنش و ادغام مناسب صمغ بالنگو و پروتئین آب پنیر را نشان می‌دهد (بخش ۳-۱-۲). با بیشتر شدن نسبت اختلاط (شکل‌های ۲g تا ۲j)، شواهدی از ناهمواری سطح، ایجاد ساختار تجمعی ذره‌ای و ساختار از هم گسیخته ظاهر شد. احتمالاً تجمع‌های ناشی از برهمکنش پروتئین-پروتئین سبب از دست رفتن یکپارچگی ساختار و ایجاد شکاف در سطح فیلم شده است. نتایج مشابهی در خصوص مخلوط صمغ ریحان و پروتئین آب پنیر گزارش شده است [20].

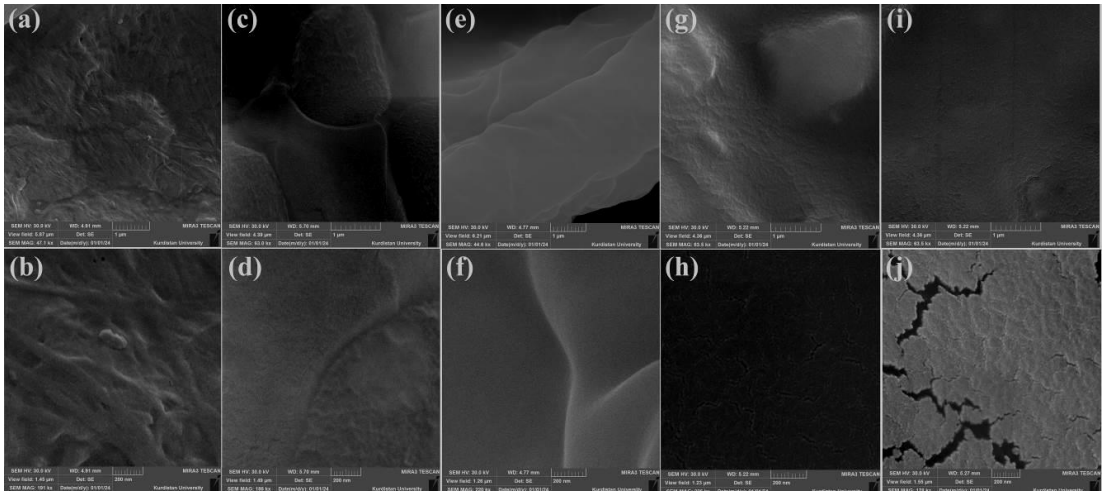

Fig. 2- Surface morphology of Balangu gum (a & b), whey protein (c & d), and their composite films with Balangu gum to whey protein ratios of 1:1 (e & f), 1:3 (g & h), and 1:5 (i & j) at 47kX (upper row) and 191kX (lower row) magnification.

۳-۲-۲- ضخامت فیلم

نتایج جدول ۲ نشان داد که بیشترین ضخامت فیلم مربوط به نمونه W بود در حالی که برای فیلم B، بطور معنی‌داری بسیار کمتر بود. نکته جالب توجه، ضخامت فیلم BW-1 بود که کمترین ضخامت در کل نمونه‌ها را داشت ($p<۰/۰۵$) که نشانگر برهمکنش مناسب بین صمغ و پروتئین و ایجاد ساختار متراکم و یکنواخت در آن شده است، نتیجه‌ای که در ریزساختار آن نیز مشاهده شد. اما با بالا رفتن نسبت اختلاط تا ۱:۵، ضخامت بطور معنی‌داری افزایش یافت. احتمالاً دلیل کم بودن ضخامت فیلم B مربوط به انعطاف‌پذیری کم و سفتی مولکولی نسبی آن باشد [21] به طوری که در رطوبت کم فیلم، پیوندهای بین مولکولی افزایش یافته و در نتیجه با کاهش تحرک مولکولی، آرایش مولکولی منظم‌تری در آن شکل گرفته است. در حضور پروتئین آب پنیر، برهمکنش‌های بین صمغ بالنگو و پروتئین سبب ایجاد ساختار منظم و یکدست شده و لذا تراکم مولکولی افزایش یافته و ضخامت فیلم کاهش یافته است. با افزایش مقدار پروتئین، گروه‌های آزاد کمتری از صمغ برای برقراری پیوند وجود داشته و لذا مولکول‌های پروتئین با همدیگر برهمکنش داده و آرایش نامنظم در ساختار فیلم ایجاد شده است (نتایج FTIR و SEM).

Table 2- Physicochemical properties of films prepared with Balangu gum, whey protein, and their composites with different ratios

Sample	Thickness (µm)	Solubility (%)	Water vapour permeability ($\times 10^{-11}$ $gm^{-1}s^{-1}Pa^{-1}$)
B	5.2 ± 0.8^{d}	10.1 ± 0.7^{d}	32.0 ± 4.3^{cd}
W	15.9 ± 0.9^{a}	19.2 ± 1.0^{a}	94.8 ± 5.1^{a}
BW-1	3.0 ± 0.8^{e}	9.3 ± 1.1^{d}	25.5 ± 3.7^{d}
BW-3	7.6 ± 0.5^{c}	12.6 ± 0.6^{c}	39.0 ± 4.7^{c}
BW-5	10.5 ± 0.4^{b}	15.1 ± 1.0^{b}	66.0 ± 2.9^{b}

B, W, BW-1, BW-3, and BW-5 are films prepared by Balangu gum, whey protein, Balangu gum-whey protein composites with 1:1, 1:3, and 1:5 ratios.
The same letters in a column represent non-significant differences at 5% level.

۳-۲-۳- حلالیت فیلم

میزان حلالیت در آب فیلم‌ها نیز از روند مشابهی پیروی نمود به طوری که حلالیت W با اختلاف معنی‌دار بیشتر از حلالیت B بود (جدول ۲). فیلم BW-1 دارای کمترین حلالیت بود ($p<۰/۰۵$) در حالی که با افزایش مقدار پروتئین، محتوای رطوبت بطور معنی داری افزایش یافت. با توجه به افزایش ضخامت فیلم‌ها با بیشتر شدن مقدار پروتئین آب پنیر، می‌توان چنین استنباط نمود که کاهش برهمکنش مولکول‌های

صمغ و پروتئین سبب از دست رفتن یکپارچگی ساختار و افزایش فواصل بین مولکولی و در نتیجه ایجاد ساختار باز در فیلم شده و نمونه‌ها به سهولت در آب از هم گسیخته و حل می‌شوند. احتمالاً ساختار متراکم‌تر فیلم BW-1 و سطح یکنواخت و بدون منفذ آن، کمترین حلالیت در آب این فیلم نسبت به سایر نمونه‌ها را ایجاد نموده است.

۳-۲-٤- نفوذپذیری به بخار آب فیلم

از طرف دیگر، نتایج نفوذپذیری به بخار آب (WVP) فیلم‌ها در جدول ۲ حاکی از آن بود که کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب متعلق به فیلم‌های BW-1 و W بود. در نمونه‌های تلفیقی نیز با افزایش مقدار پروتئین، WVP بطور معنی‌داری افزایش نشان داد ولی با این حال، کمتر از نفوذپذیری W بود. احتمالاً افزایش مقدار پروتئین سبب تضعیف ساختار فیلم شده و ساختار آن بازتر و نفوذپذیرتر شده است (نتایج SEM)، لذا بنظر می‌رسد به دلیل اشباع شدن برهمکنش‌های بین صمغ و پروتئین، جایگاه آزاد صمغ برای برقراری پیوند با پروتئین باقی نمانده است.

۳-۳- خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت فرنگی

۳-۳-۱- افت وزنی

بر اساس نتایج اندازه‌گیری افت وزنی توت‌فرنگی‌ها (جدول ۳)، مشخص شد که نمونه‌های بدون پوشش تا روز سوم حدود ٦ درصد و تا روز هفتم حدود ۱۳/۵ درصد وزن خود را از دست داده‌اند در حالی که نمونه‌های پوشش‌دار متناظر آنها دارای افت وزنی کمتری بودند. در روز سوم، افت وزنی توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده (به غیر از پوشش W) دارای تفاوت معنی‌دار با نمونه متناظر بدون پوشش بودند ولی نوع پوشش تفاوت معنی‌دار ایجاد نکرد به طوری که تنها نمونه دارای پوشش BW-1 تفاوت معنی‌دار داشت. در روز هفتم، روند مشابهی مشاهده شد به طوری که به غیر از نمونه‌های پوشش‌دار W و BW-5، وجود پوشش سبب کاهش افت وزنی توت‌فرنگی‌ها نسبت به نمونه متناظر شد ($p<۰/۰۵$). افت وزنی در اثر وجود پوشش BW-1 به طور معنی‌داری کمتر از سایر نمونه‌های پوشش‌دار بود که مشابه نتایج روز سوم بود. با توجه به نتایج بدست آمده از WVP فیلم‌های بررسی شده در این تحقیق (جدول ۲)، کاهش معنی‌دار افت وزنی نمونه پوشش داده شده توسط BW-1 قابل انتظار می‌نماید زیرا بیشترین تراکم فیلم و کمترین نفوذپذیری در این پوشش مشاهده شد. در منابع روند مشابهی مبنی بر کاهش افت وزنی توت‌فرنگی پوشش داده شده طی نگهداری مشاهده شده است [4]. افت وزنی توت-فرنگی طی زمان عمدتاً به از دست رفتن رطوبت و فرآیند تنفس آن از طریق جداره خارجی نسبت داده می‌شود، لذا، قرارگیری پوشش روی این جداره که نفوذپذیری به بخار آب پایین دارد، سبب کند شدن افت وزنی شده و عمر ماندگاری را افزایش می‌دهد [1, 3, 4, 14].

۳-۳-۲- مواد جامد محلول

نتایج اندازه‌گیری مواد جامد محلول توت‌فرنگی‌ها در جدول ۳ آمده است. همانطور که ازنتایج بر می‌آید، بریکس توت-فرنگی‌های بدون پوشش طی زمان افزایش یافته ولی وجود پوشش سبب کند شدن این روند شده است یا حتی در برخی نمونه‌های پوشش داده شده، بریکس تغییر معنی‌داری نداشته است. تنها نمونه دارای پوشش BW-1 با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر پوشش‌ها سبب حفظ مواد جامد محلول شد. در مطالعات دیگر نیز افزایش بریکس توت‌فرنگی توسط پوشش مشاهده شده [1, 3]. افزایش بریکس احتمالاً مربوط به کاهش مقدار رطوبت توت‌فرنگی یا تجزیه برخی ترکیبات و تبدیل آنها به مواد محلول (مانند تبدیل برخی پلی-ساکاریدها به قندهای ساده) طی رسیدن میوه می‌باشد [1, 14].

۳-۳-۳- pH و اسیدیته قابل تیتراسیون

مقدار pH نمونه‌های توت‌فرنگی طی نگهداری تا ۷ روز در محدوده ۳/۲٤ تا ٤/۰۷ بود و تغییرات آن روند افزایشی نشان داد اما هیچ تفاوت معنی‌داری چه در بین نمونه‌های پوشش داده شده و متناظر آنها و چه بین پوشش‌های مختلف مشاهده نشد؛ با این وجود، نتایج بیانگر این بود که وجود پوشش سبب حفظ بهتر pH توت‌فرنگی طی نگهداری در مقایسه با

متناظر بدون پوشش آن شده است. نتایج مشاهده شده مشابه تحقیقات مختلف در زمینه اثر پوشش‌ها بر کند کردن افزایش pH رقم‌های مختلف توت‌فرنگی طی زمان نگهداری می‌باشد [4].

دامنه مقادیر اسیدیته نمونه‌های توت‌فرنگی از ۰/۷۵ تا ۰/۴۴ درصد بود که بر اساس آن مشخص شد که از مقدار اسیدیته قابل تیتر نمونه‌های توت‌فرنگی طی زمان نگهداری کاسته می‌شود به طوری که همانند پارامتر pH هیچ تفاوت معنی‌داری در بین نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش مشاهده نشد. از طرفی، نوع پوشش نیز بر مقدار اسیدیته تأثیر معنی‌دار نداشت اما در میان آنها، نمونه دارای پوشش BW-1 کمترین تغییر را داشت ($p > ۰/۰۵$). روند کاهشی اسیدیته در توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده با مواد مختلف طی زمان نگهداری در سایر مطالعات نیز گزارش شده است [1, 3]. تغییرات pH و اسیدیته توت‌فرنگی طی نگهداری به افزایش تنفس و تجزیه اسیدهای آلی طی آن پس از تجزیه کربوهیدرات‌ها در فرآیند رسیدن میوه مرتبط می‌باشد [1, 3, 4, 14].

Table 3- Physicochemical properties of coated and non-coated strawberries during storage at 5 °C.

Parameter	Coating type	Storage time (day)				
		0	3		7	
			Non-coated	Coated	Non-coated	Coated
WL (%)	B	-	6.14 ± 0.27 ^{a}	4.13 ± 0.17 ^{bc}	13.48 ± 0.68 ^{a}	10.96 ± 0.42 ^{b}
	W	-	6.22 ± 0.28 ^{a}	5.47 ± 0.57 ^{abc}	13.22 ± 0.57 ^{a}	11.86 ± 0.71 ^{ab}
	BW-1	-	6.13 ± 0.18 ^{a}	3.57 ± 0.14 ^{d}	13.35 ± 0.78 ^{a}	8.37 ± 0.44 ^{c}
	BW-3	-	6.33 ± 0.53 ^{a}	4.69 ± 0.55 ^{bc}	13.36 ± 1.02 ^{a}	11.18 ± 0.88 ^{b}
	BW-5	-	6.26 ± 0.65 ^{a}	5.09 ± 0.42 ^{bc}	13.46 ± 1.15 ^{a}	12.64 ± 0.91 ^{ab}
Brix (°)	B	9.9 ± 1.1	10.3 ± 0.4 ^{abc}	10.0 ± 0.7 ^{abc}	14.5 ± 0.8 ^{ab}	12.2 ± 0.3 ^{bcd}
	W	10.8 ± 0.6	11.1 ± 1.1 ^{abc}	11.0 ± 0.3 ^{abc}	15.6 ± 1.0 ^{a}	15.4 ± 1.1 ^{a}
	BW-1	9.2 ± 0.4	9.5 ± 0.8 ^{abc}	9.2 ± 0.9 ^{a}	13.2 ± 0.6 ^{abc}	10.6 ± 0.7 ^{d}
	BW-3	9.1 ± 0.7	9.4 ± 1.3 ^{ab}	9.3 ± 1.2 ^{a}	13.4 ± 0.9 ^{abc}	11.0 ± 1.3 ^{cd}
	BW-5	11.6 ± 0.8	11.9 ± 1.5 ^{c}	11.8 ± 1.0 ^{bc}	15.6 ± 1.4 ^{a}	14.3 ± 1.7 ^{ab}
AC (mg/100g)	B	48.0 ± 1.3	37.2 ± 1.7 ^{abcde}	43.3 ± 1.4 ^{bc}	21.7 ± 2.8 ^{a}	39.7 ± 4.0 ^{b}
	W	45.1 ± 0.6	36.8 ± 1.6 ^{abcde}	41.9 ± 2.8 ^{abc}	20.4 ± 1.9 ^{a}	38.1 ± 2.3 ^{b}
	BW-1	54.7 ± 2.1	31.1 ± 2.0 ^{d}	53.1 ± 3.8 ^{e}	18.9 ± 2.4 ^{a}	51.5 ± 2.1 ^{c}
	BW-3	51.6 ± 2.6	40.6 ± 2.1 ^{abc}	46.0 ± 2.4 ^{c}	24.5 ± 2.5 ^{a}	39.0 ± 2.8 ^{b}
	BW-5	43.8 ± 1.7	31.9 ± 2.6 ^{de}	39.6 ± 3.6 ^{ab}	24.6 ± 3.2 ^{a}	36.7 ± 2.6 ^{b}
L*	B	37.29 ± 1.41	28.45 ± 1.88 ^{de}	35.86 ± 2.83 ^{a}	20.83 ± 3.10 ^{ab}	30.03 ± 1.94 ^{e}
	W	35.51 ± 0.84	26.10 ± 1.64 ^{cde}	34.29 ± 1.41 ^{ab}	20.14 ± 4.04 ^{ab}	28.12 ± 1.27 ^{cde}
	BW-1	40.59 ± 2.69	33.82 ± 2.47 ^{ab}	38.17 ± 1.55 ^{a}	22.67 ± 3.81 ^{abc}	36.50 ± 1.77 ^{f}
	BW-3	31.80 ± 1.98	21.78 ± 1.81 ^{c}	29.40 ± 3.11 ^{bcde}	11.25 ± 3.39 ^{d}	22.31 ± 1.86 ^{abc}
	BW-5	38.04 ± 2.86	23.87 ± 2.12 ^{cd}	34.49 ± 2.96 ^{ab}	15.67 ± 2.31 ^{abcd}	23.25 ± 3.75 ^{bc}
Hue (°)	B	24.7 ± 1.6	16.3 ± 1.2 ^{b}	23.2 ± 1.3 ^{a}	7.0 ± 2.5 ^{a}	18.6 ± 1.6 ^{c}
	W	25.3 ± 0.7	17.4 ± 1.4 ^{bc}	22.4 ± 0.8 ^{a}	9.3 ± 0.7 ^{ab}	16.9 ± 0.8 ^{c}
	BW-1	28.5 ± 1.2	21.2 ± 1.1 ^{abc}	27.7 ± 2.2 ^{d}	10.8 ± 1.1 ^{ab}	25.1 ± 1.3 ^{d}
	BW-3	26.6 ± 1.8	19.4 ± 1.8 ^{abc}	21.8 ± 2.3 ^{abc}	10.3 ± 1.7 ^{ab}	12.2 ± 1.0 ^{b}
	BW-5	30.9 ± 0.6	22.0 ± 2.0 ^{a}	15.3 ± 3.3 ^{b}	9.6 ± 2.0 ^{ab}	10.0 ± 2.9 ^{ab}

WL and AC stand for weight loss and anthocyanin content, respectively.
B, W, BW-1, BW-3, and BW-5 represent coatings prepared from Balangu gum, whey protein isolate, and composites of Balangu gum-whey protein isolate at 1:1, 1:3, and 1:5 ratios, respectively.
The data are mean of at least five replicates ± standard deviation and different letters infer significant difference at 5% level.

۳-۳-٤- محتوای آنتوسیانین

بر اساس نتایج (جدول ۳) مشخص شد که طی زمان نگهداری، از محتوای آنتوسیانین توت‌فرنگی کاسته شده ولی در نمونه‌های دارای پوشش، این روند کاهشی نسبت به نمونه‌های بدون پوشش کندتر شده است ($p>۰/۰۵$). در روز سوم نگهداری، مقدار آنتوسیانین نمونه‌های BW-1 و BW-5 با متناظر بدون پوشش تفاوت معنی‌دار داشت در حالی که سایر پوشش‌ها اختلاف معنی‌دار ایجاد نکردند. در روز هفتم، تمامی نمونه‌های دارای پوشش در مقدار آنتوسیانین با نمونه‌های بدون پوشش اختلاف معنی‌دار داشتند ولی بین نمونه‌های پوشش داده شده، تنها BW-1 دارای کمترین تغییر نسبت به نمونه بدون پوشش متناظر بود ($p<۰/۰۵$). در منابع، هم روند کاهشی برای محتوای آنتوسیانین طی زمان نگهداری گزارش شده [4] و هم گزارش‌هایی در خصوص روند افزایشی آن وجود دارد [3]. با توجه به اینکه محتوای آنتوسیانین وابسته به رقم، دمای نگهداری و غلظت اکسیژن است، تفاوت در نتایج گزارش شده قابل انتظار است منتها، میوه‌های رسیده که به حداکثر سنتز آنتوسیانین رسیده‌اند، به دلیل عدم سنتز آنتوسیانین جدید و تجزیه در اثر عوامل محیطی، دچار کاهش غلظت می‌شوند [4].

۳-۳-۵- پارامترهای رنگی

به منظور بررسی اثر پوشش بر تغییرات رنگ نمونه‌های توت‌فرنگی طی زمان، از پارامترهای شدت روشنایی (L*) و فام (Hue) استفاده شد. بر اساس نتایج جدول ۳، مشاهده می‌شود که مقدار L* توت‌فرنگی‌ها با گذشت زمان نگهداری تا ۷ روز روند کاهشی داشته که در نمونه‌های بدون پوشش بسیار قابل توجه بود. با اعمال پوشش، شدت روشنایی توت‌فرنگی‌ها به مقدار کمتری نسبت به نمونه‌های بدون پوشش متناظر ($p>۰/۰۵$) دستخوش تغییر شد به طوری که پوشش‌های B و BW-1 به طور معنی‌داری سبب حفظ شدت روشنایی توت‌فرنگی شدند.

پارامتر فام به عنوان یکی از ابعاد سه‌گانه رنگ که بیانگر احساس بصری قابل درک و تشخیص توسط انسان است (مانند قرمز، سبز، آبی و غیره)، می‌تواند به منظور پایش تغییرات رنگ مواد غذایی مورد استفاده قرار گیرد [22]. بر اساس نتایج (جدول ۳) مشخص شد که پوشش‌های بکار رفته به طور معنی‌داری سبب کند شدن روند نزولی فام توت‌فرنگی‌ها در مدت زمان ۷ روز نگهداری نسبت به نمونه‌های متناظر بدون پوشش شده‌اند به غیر از نمونه BW-3 در تمامی زمان‌ها و BW-5 در روز هفتم ($p>۰/۰۵$). همچنان که از نتایج برمی‌آید، کمترین تغییر فام در نمونه توت‌فرنگی دارای پوشش BW-1 مشاهده شد به طوری که با سایر نمونه‌های دارای پوشش نیز اختلاف معنی‌دار داشت. نتایج مشابهی مبنی بر کاهش شدت روشنایی [3, 4] و فام [3] توت‌فرنگی پوشش داده شده طی نگهداری در دماهای مختلف به مدت زمان‌های تا ۱۵ روز گزارش شده است.

۳-۳-۶- ویتامین C

نتایج اندازه‌گیری مقدار ویتامین C نمونه‌های توت‌فرنگی در شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در تمامی انواع توت‌فرنگی بدون پوشش و پوشش داده شده با گذشت زمان نگهداری از محتوای ویتامین C آنها کاسته شده به طوری که بین مقدار ویتامین C نمونه‌های بدون پوشش طی زمان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما وجود پوشش سبب بهبود حفظ ویتامین C نسبت به آنها شد ($p<۰/۰۵$). کمترین تغییر در نمونه BW-1 مشاهده شد. بطور مشابهی، روند کاهشی برای محتوای ویتامین C توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده مختلف گزارش شده است [1, 3]. احتمالاً کاهش محتوای ویتامین C مربوط به افزایش تنفس در توت‌فرنگی و واکنش‌های اکسیداتیو می‌باشد [3, 4, 14]، اما از طرف دیگر، افزایش مقدار ویتامین C می‌تواند مربوط به بیشتر شدن بیوسنتز آن در طی نگهداری برای توت‌فرنگی‌هایی است که رسیدگی کامل در زمان برداشت نداشته‌اند [1].

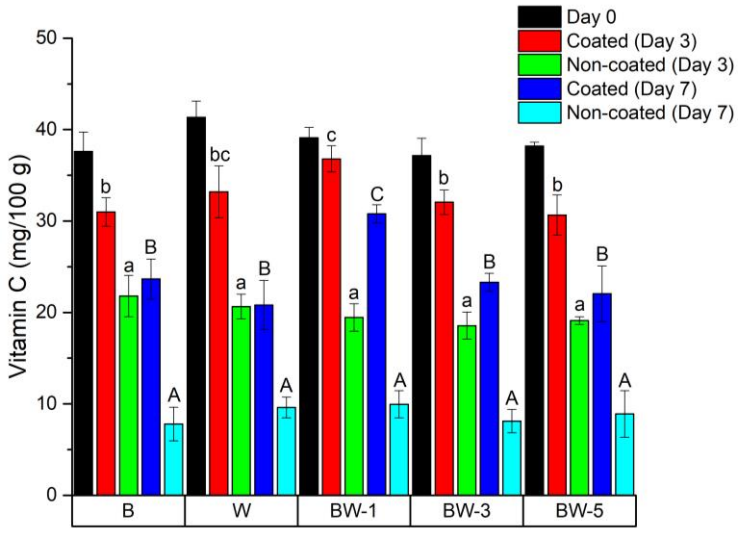

Figure 3- Vitamin C content of coated and non-coated strawberries during storage at 5 °C. B, W, BW-1, BW-3, and BW-5 represent coatings prepared from Balangu gum, whey protein isolate, and composites of Balangu gum-whey protein isolate at 1:1, 1:3, and 1:5 ratios, respectively. Different letters represent significant difference at 5% level (lowercase letters for day 3 and uppercase letters for 7th day).

۳-۳-۷- سفتی بافت

بر اساس نتایج ارزیابی سفتی بافت (شکل ٤)، مشخص شد که بافت نمونه‌های توت‌فرنگی طی مدت نگهداری تا ۷ روز تحلیل رفته و مقدار سفتی کاهش می‌یابد. در روزهای سوم و هفتم نگهداری، سفتی بافت نمونه‌های دارای پوشش بیشتر از متناظر بدون پوشش آنها بود ($p<۰/۰۵$)، اما هیچ تفاوت معنی‌داری بین نمونه‌های دارای پوشش در روزهای سوم و هفتم مشاهده نشد به غیر از نمونه BW-1 که بیشترین سفتی بافت را در بین تمام نمونه‌ها داشت ($p<۰/۰۵$). به طور مشابه، عمدتاً در منابع گزارش شده که سفتی توت‌فرنگی طی زمان روند کاهشی دارد و اعمال پوشش در کند کردن آن مؤثر است. این مورد احتمالاً مربوط به تغییرات پلی-ساکاریدهای دیواره سلولی خصوصاً پکتین است که به تدریج به دلیل تنفس و نقش آنزیم‌های پکتولیتیک (حذف استر و دپلیمریزه کردن)، مقدار پکتین محلول در آب افزایش یافته و بافت میوه نرم می‌شود [1, 3, 4].

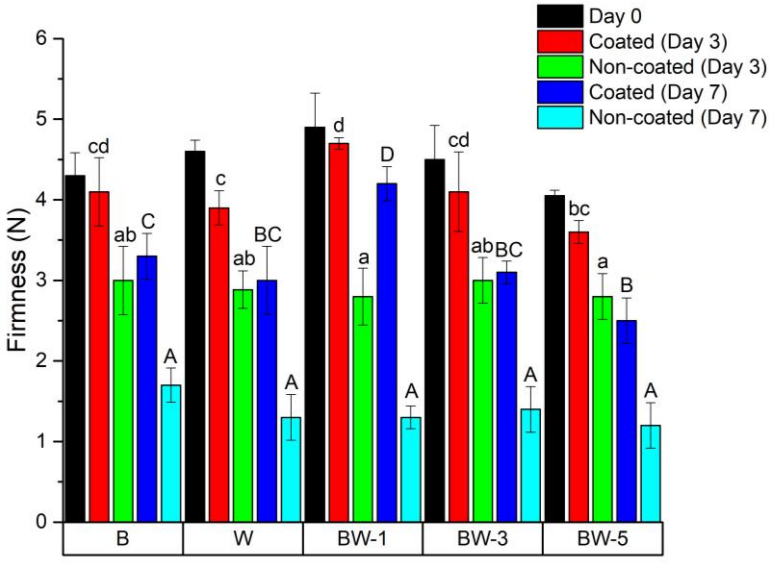

Figure 4- Firmness of coated and non-coated strawberries during storage at 5 °C. B, W, BW-1, BW-3, and BW-5 represent coatings prepared from Balangu gum, whey protein isolate, and composites of Balangu gum-whey protein isolate at 1:1, 1:3, and 1:5 ratios, respectively. Different letters represent significant difference at 5% level (lowercase letters for day 3 and uppercase letters for 7th day).

٤- نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج تحقیق حاضر، مشخص شد که صمغ دانه بالنگو بطور مناسبی در نسبت تلفیق ۱:۱ با پروتئین آب پنیر برهمکنش داده و پوشش امولسیونی بسیار مؤثری برای حفظ ویژگی‌های کیفی توت‌فرنگی طی نگهداری سرد به مدت ۷ روز ایجاد کرد. بررسی خصوصیات پوشش نشان داد که پیوندهای هیدروژنی و برهمکنش‌های بین گروه کربونیل و کربوکسیل صمغ بالنگو با گروه‌های جانبی آمینواسیدهای پروتئین آب پنیر سبب ایجاد پوشش یکنواخت و متراکم با اندازه ذرات کمتر از ٤ میکرون و پراکندگی ذرات مناسب که دارای حلالیت، رطوبت و ضخامت بسیار کمتر نسبت به پوشش‌های تکی یا تلفیقی با نسبت اختلاط پروتئین ۱:۳ و ۱:۵ شده است. نفوذپذیری بسیار کم این پوشش راهکار بسیار مؤثری برای به تأخیر انداختن افت رطوبت و نرم شدن بافت، واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی توت‌فرنگی طی مدت نگهداری بود به طوری که پارامترهای کیفی میوه مانند ویتامین C، آنتوسیانین‌ها، اسیدیته و رنگ تا حد زیادی تا روز هفتم حفظ شدند. بطور کلی، پوشش تلفیقی بررسی شده در این مطالعه می‌تواند بطور کارآمد زمان ماندگاری توت‌فرنگی برای مصارف تازه‌خوری را افزایش داده و سبب کاهش ضایعات این محصول فسادپذیر شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان بابت تأمین بودجه این تحقیق از محل گرنت پژوهشی به شماره‌های ۱۱/۹۹/۱۳٦۰۲ و ۰۱/۹/۱۹۷۲٤/۱۳٦۰۲ قدردانی می‌شود

٥-منابع

[1] Kahramanoglu, I., Bahadirli, N.P., Okatan, V., & Wan, C. (2022). Impacts of edible coatings enriched with laurel essential oil on the storage life of strawberry 'Camarosa' fruits. *Postharvest Technology*, 81, e1922. https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210221

[2] Khalid, M.A., Niaz, B., Saeed, F., Afzaal, M., Islam, F., Hussain, M., Hafiz, M., Khalid, M.S., Siddeeg, A., & Al-Farga, A. (2022). Edible coatings for enhancing safety and quality attributes of fresh produce: A comprehensive review. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1817-1847. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2107005

[3] Atress, A.S.H., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, & Alsanius, H.E. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.

[4] Khodaei, D., Hamidi-Esfahani, Z., & Rahmati, E. (2021). Effect of edible coatings on the shelf-life of fresh strawberries: A comparative study using TOPSIS-Shannon entropy method. *NFS Journal*, 23, 17-23. https://doi.org/10.1016/j.nfs.2021.02.003

[5] Razavi, S.M.A., Cui, S.W., & Ding, H. (2016). Structural and physicochemical characteristics of a novel water-soluble gum from *Lallemantia royleana* seed. *International Journal of Biological Macromolecules*, 83, 142–151. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.11.076

[6] Mohammad Amini, A., Balangu (Lallemantia royleana) seed gum, in: Emerging natural hydrocolloids: Rheology and functions. 2019, John-Wiley & Sons, USA, pp. 183-200.

[7] Sardarodiyan, M., Arianfar, A., Mohammadi Sani, A., & Naji-Tabasi, S. (2019). Antioxidant and antimicrobial activities of water-soluble polysaccharide isolated from Balangu seed (*Lallemantia royleana*) gum. *Journal of Analytical Science and Technology*, 10:17. https://doi.org/10.1186/s40543-019-0174-4

[8] Sadeghi-Varkani, A., Emam-Djomeh, Z., & Askari, G. (2018). Physicochemical and microstructural properties of a novel edible film synthesized from Balangu seed mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 1110-1119. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.029

[9] Salehi, F., Roustaei, A., & Haseli, A. (2021). Effect of surface coating with seeds mucilages and xanthan gum on oil uptake and physical properties of fried potato strips. *Food Science & Nutrition*, 9, 6245-6251. DOI: 10.1002/fsn3.2583

[10] Alizadeh Behbahani, B., & Imani Fooladi, A.A. (2018). Shirazi balangu (*Lallemantia royleana*) seed mucilage: Chemical composition, molecular weight, biological activity and its evaluation as edible coating on beefs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 882–889. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.177

[11] Mazidi, D., & Hosseini Ghaboos, S.H. (2020). Effect of Basil and Balangu seeds gum on sensorial properties, quality and shelf life of peaches. *Journal of Food Researches*, 30(3), 137-149.

[12] Xin, Y., Yang, C., Zhang, J., & Xiong, L. (2023). Application of whey protein-based emulsion coating treatment in fresh-cut apple preservation. *Foods*, 12, 1140. https://doi.org/10.3390/foods12061140

[13] Galus, S., Mikus, M., Ciurzynska, A., Domian, E., Kowalska, J., Marzec, A., & Kowalska, H. (2021). The effect of whey protein-based edible coatings incorporated with lemon and lemongrass essential oils on the quality attributes of fresh-cut pears during storage. *Coatings*, 11, 745. https://doi.org/10.3390/coatings11070745

[14] Muley, A.B., & Singhal, R.S. (2020). Extension of postharvest shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*) using a coating of chitosan-whey protein isolate conjugate. *Food Chemistry*, 329, 127213. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127213

[15] Mohammad Amini, A. (2007). Optimization of the *Lallemantia royleana* gum extraction and investigation into its effects on rheological and organoleptic properties of bread in comparison with xanthan gum. Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.

[16] Mohammad Amini, A., & Razavi, S.M.A. (2020). Physicochemical characterisation of *Salvia macrosiphon* gum based edible films incorporated with various fatty acids. *International Journal of Biological Macromolecules*, 162, 1494-1499. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.034

[17] Caner, C., Aday, M.S., & Demir, M. (2008). Extending the quality of fresh strawberries by equilibrium modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology*, 227, 1575-1583.

[18] Taghavi, T., Patel, H., & Rafie, R. (2022). Comparing pH differential and methanol-based methods for anthocyanin assessments of strawberries. *Food Science & Nutrition*, 10, 2123-2131.

[19] Najaf Najafi, M., Hosaini, V., Mohammadi-Sani, A., & Koocheki, A. (2016). Physical stability, flow properties and droplets characteristics of Balangu (*Lallemantia royleana*) seed gum/whey protein stabilized submicron emulsions. *Food Hydrocolloids*, 59, 2-8. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.017

[20] Hashemi, H., Eskandari, M.H., Khalesi, M., Golmakani, M.-T., Niakousari, M., & Hosseini, S.M.H. (2025). Effects of conjugation with basil seed gum on physicochemical, functional, foaming, and emulsifying properties of albumin, whey protein isolate and soy protein isolate. *Foods*, 14, 390. https://doi.org/10.3390/foods14030390

[21] Mohammad Amini, A., and Razavi, S.M.A., 2012. Dilute solution properties of Balangu (*Lallemantia royleana*) seed gum: Effect of temperature, salt, and sugar. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51, 235– 243.

[22] Ismail, B.P. and Nielsen, S.S. (Eds.), 2024. *Nielsen's food analysis*, 6th Edition. Springer Nature, Switzerland.

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

The influence of composite edible coating of Balangu gum and whey protein on strawberry storability

Asad Mohammad Amnini*

PhD of Food Science and Technology, Assistant Professor, Food Science and Engineering Department, College of Agriculture, University of Kurdistan

ARTICLE INFO

Article History:

Received:2025/4/22

Accepted:2025/6/9

Keywords:

Anthocyanin,
Particle size,
Colour,
Permeability,
Vitamin C

DOI: 10.22034/FSCT.22.165.276.

*Corresponding Author E-

a.mohammadamini@uok.ac.ir
asadm_amini@yahoo.com

ABSTRACT

The shelf-life of strawberry, as a valuable fruit, is short and it's highly perishable. Applying edible coatings is considered as a versatile approach to tackle this problem in order to preserve freshness, nutritional-sensory value of strawberry, and furthermore, to prevent losses. In the present study, the influence of Balangu gum and whey protein composite edible coatings with varying mixing ratios on physicochemical properties of strawberry has been investigated. The particle size of emulsions ranged between 3.2 and 4.8 µm and elevating the protein content increased the particle sizes. The surface of composite film with gum:protein ratio of 1:1 was smooth and dense and it had the least moisture content and water solubility, however, these parameters increased when the protein ratio was higher and film surface became irregular with cracks and water vapour permeability increased. Coating strawberries decreased the changes in weight loss, colour parameters, anthocyanin content, vitamin C, firmness, and soluble solids' content remained unchanged comparing uncoated samples. Concluding, applying coating effectively preserved the quality parameters of strawberry during storage by providing a barrier against moisture transmission and respiration. The results of the present study revealed that coating strawberry with composite Balangu gum and whey protein with 1:1 ratio can significantly enhance the storability and prevent the quality loss.