نشریه علمی «علوم و فنون بسته‌بندی»
سال دوازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰؛ ص ۳۱-۱۹

علمی – پژوهشی

بررسی اثر پوشش خوراکی کامپوزیتی پروتئین تغلیظ شده شیر – پکتین تقویت شده با کلسیم کلرید و اسانس سیاه دانه بر ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و میکروبی توت‌فرنگی طی انبارمانی

صابر امیری[۱]*، محمود رضازاد باری[۲]، لعیا رضازاد باری[۳]

۱- استادیار، ۲- استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه ۳- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶، پذیرش:۱۴۰۰/۰۷/۲۶)

چکیده

هدف از این مطالعه افزایش ماندگاری و حفظ کیفیت میوه توت‌فرنگی با استفاده از پوشش خوراکی کامپوزیتی پروتئین تغلیظ شده شیر- پکتین تقویت شده با کلسیم کلرید و اسانس سیاه‌دانه طی زمان ۱۰ روز انبارمانی در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس بود. تأثیر پوشش خوراکی بر پایه پروتئین تغلیظ شده شیر (۶/۴ و ۸٪)، پکتین (۰/ ۲ و ۴٪)، کلسیم کلرید (۱/ ۲ و ۳٪)، گلیسرول (۲/ ۳ و ۴٪) و اسانس سیاه دانه (۲٪) بررسی شد. پس از بهینه‌سازی کیفیت میکروبی، خصوصیات فیزیکو شیمیایی، آنتی اکسیدانی، محتوای آنتوسیانین و سفتی بافت توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده، در روزهای ۵ و ۱۰ پس از انبارمانی با نمونه‌های کنترل مقایسه شدند. تمام ویژگی‌های کیفی مورد مطالعه در نمونه پوشش داده شده با نمونه‌های کنترل تفاوت معنی دار داشت ($p<0/05$). نتایج نشان دادند که این پوشش خوراکی به‌دلیل کاهش پوسیدگی، کیفیت توت‌فرنگی‌ها را بهتر از نمونه‌های شاهد (بدون پوشش) حفظ کرد.

واژه‌های کلیدی: پوشش خوراکی، اسانس سیاه‌دانه، توت‌فرنگی، نگهداری

۱- مقدمه

پوشش‌های زیست تخریب‌پذیر و خوراکی به‌عنوان ابزار دستیابی به بسته‌بندی فعال بوده و جایگزین مناسبی برای پوشش‌های پلاستیکی غیرتخریب‌پذیر هستند. افزودن ترکیبات ضد میکروبی به چنین پوشش‌هایی موجب کنترل فساد باکتریایی، عوامل بیماری‌زا و نیز بهبود طعم و رنگ می‌گردد. به‌منظور استفاده بهینه از این پوشش‌ها در مواد غذایی، بایستی به اثر بخشی خود پوشش و ترکیبات ضد میکروبی در برابر میکرو ارگانیسم مورد نظر، سینتیک رهاسازی ترکیبات مؤثر از پوشش به داخل ماده غذایی، برهم‌کنش بین پوشش و ترکیبات ماده غذایی و ویژگی‌های حسی آن توجه ویژه‌ای نمود [۱، ۲]. به ماده‌ای که برای پوشاندن مواد غذایی گوناگون با هدف افزایش ماندگاری به کار رفته و همراه با ماده غذایی خورده شود، پوشش یا فیلم خوراکی گفته می‌شود. پوشش‌های خوراکی لایه‌های طبیعی را به منظور جلوگیری از کاهش رطوبت فراهم می‌نمایند [۴،۳]. فیلم‌های خوراکی در اثر گستردن محلول‌های فیلم‌ساز روی یک سطح و خشک کردن آن پدید می‌آیند. پوشش‌های خوراکی در اثر غوطه‌ور نمودن مواد غذایی در محلول‌های سازنده یا پاشیدن (اسپری کردن) محلول سازنده بر سطح آنها و در نتیجه آغشته شدن سطح مواد غذایی ایجاد می‌شوند [۵]. پوشش‌های خوراکی برخلاف فیلم‌ها و ورقه‌ها بر روی ماده غذایی تشکیل می‌شوند. بنابراین پوشش به‌عنوان بخشی از محصول بوده و موقع استفاده روی محصول باقی می‌ماند [۶]. سالیان طولانی است که از پوشش‌های خوراکی برای نگهداری بهتر محصولات غذایی و افزایش جذابیت ظاهری آنها استفاده می‌شود. این پوشش‌ها علاوه‌بر جلوگیری از خشک شدن، باعث ایجاد ظاهری جذاب، کاهش تبادل گازهای تنفسی (کاهش فعالیت‌های شیمیایی) و عدم رشد کپک‌ها و حشرات بر روی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌گردند [۷].

از آنجایی‌که امروزه محصولات غذایی در مناطقی دورتر از محل تولیدشان به فروش می‌رسند، لازم است که عمر ماندگاری این محصولات افزایش یابد. اخیراً مطالعات در زمینهٔ به‌کار گیری

* رایانامه نویسنده مسئول: s.amiri@tabrizu.ac.ir

فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی که موادی زیست تخریب‌پذیر و سازگار با محیط زیست هستند، رو به افزایش است [۸].

از کاربردهای پوشش خوراکی می‌توان به پوشش‌دهی میوه‌ها از جمله توت‌فرنگی اشاره نمود. توت‌فرنگی[1] به‌دلیل رطوبت بالا بسیار فسادپذیر بوده و عمر ماندگاری بسیار کوتاهی دارد؛ به طوری‌که عمر مفید پس از برداشت آن در دمای صفر الی ۴ درجه سلسیوس تا ۵ روز است و در طول دوره کوتاه نگهداری بخش عمده‌ای از آن (۵ تا ۵۰ درصد) فاسد می‌گردد، اما به‌دلیل خواص حسی عالی، وجود خواص خوراکی مناسب مانند ویتامین C و ترکیبات آنتی اکسیدانی استقبال فراوانی از آن می‌شود. رشد کپک بوتریتیس سینریا[2] مهم‌ترین علت عمر ماندگاری کوتاه توت‌فرنگی به‌شمار می‌رود. استفاده از پوشش‌های خوراکی با خاصیت ضد میکروبی توجه ویژه‌ای را در فرآیندهای پس از برداشت این محصول با ارزش به خود معطوف نموده است [۹].

ترکیبات بسیار متنوعی جهت تولید محلول پوشش‌های خوراکی کاربرد دارند که در این پژوهش پروتئین تغلیظ شده شیر به عنوان پایه پوشش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پروتئین شیر، به‌دلیل ارزش غذایی بالا و خواص فیزیکو شیمیایی منحصر به فرد، جزء عملکردی مهمی در بسیاری از غذاهای فرآوری شده می‌باشد. انواع مختلفی از محصولات نظیر کازئین و کازئینات، پروتئین تغلیظ شده آب پنیر، ایزوله پروتئین آب پنیر و پروتئین تغلیظ شده شیر[3] از پروتئین‌های شیر تولید می‌گردند [۴، ۶].

تاکنون ترکیبات ضد میکروبی مختلفی در تولید پوشش و فیلم‌های خوراکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که در این پژوهش اسانس گیاه سیاه‌دانه به‌عنوان ترکیب ضد میکروبی انتخاب شد و اثرات آن بر خواص پوشش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در سال‌های اخیر دانه‌های گیاه سیاه دانه مورد تحقیقات وسیع داروشناسی بوده است. این مطالعات اثرات ضدباکتری، مسکن، ضد تومور، ضد التهاب، کاهنده قند خون، شل‌کننده عضلات صاف، دارای اثر سمی[4] و محرک ایمنی را در رابطه با گیاه سیاه‌دانه نشان می‌دهند. عملکرد عوامل ضد میکروبی به این گونه است که وقتی به فیلم‌های خوراکی اضافه می‌شوند، به آهستگی به سطح مواد غذایی رها می‌شوند؛ بنابراین، در مدت زمان طولانی و در غلظت بالا روی مواد غذایی باقی می‌مانند [۱۰].

عشقی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تاثیر پوشش نانوامولسیونی حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی پس از برداشت پرداختند. آنها دریافتند که پوشش‌دهی میوه توت‌فرنگی با پوشش مورد نظر علاوه‌بر تأخیر در فساد قارچی میوه، بر بیشتر شاخص‌های کیفی تأثیر مثبت داشت. به‌طوری که در مقایسه با نمونه شاهد استحکام بافت افزایش و افت وزن، شدت تنفس و درصد خرابی کاهش یافت. همچنین، حفظ فعالیت آنتی اکسیدانی، آنتوسیانین و اسید آسکوربیک در میوه پوشش داده شده در مقایسه با نمونه شاهد بیشتر بود. آنها نتیجه گرفتند که پوشش‌دهی میوه توت فرنگی با پوشش مورد نظر موجب افزایش قابلیت نگهداری میوه در انبار از ۸ روز به ۲۰ روز (۲/۵ برابر) و حفظ بهتر کیفیت این میوه گردید [۱۱]. در پژوهش دیگری عبدی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تاثیر پوشش خوراکی پکتین همراه با اسانس مرکبات بر کیفیت میوه توت فرنگی در زمان انبارمانی و عمر نگهداری پرداختند. آنها مشاهده نمودند که تیمار میوه با پوشش پکتینی حاوی اسانس مرکبات منجر به تأخیر در تخریب پروتئین و آنتوسیانین، همچنین حفظ ویتامین C و کلروفیل کاسبرگ گردید. پوشش‌ها با کنترل از دست دادن رطوبت میوه در دو شرایط انبارمانی و عمر نگهداری کاهش وزن میوه را به تأخیر انداختند [۱۲]. همچنین پنجی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی تأثیر پوشش خوراکی پروتئین تغلیظ شده آب پنیر و اسانس دانه گیاه زنیان بر ویژگی‌های میکروبی، فیزیکو شیمیایی و حسی توت‌فرنگی تازه طی انبارمانی پرداختند. یافته‌های آنها نشان داد که پوشش مورد بررسی به‌طور معناداری رشد میکرو ارگانیسم‌ها را به تأخیر انداخت. در مقایسه با نمونه شاهد به‌طور معناداری استحکام بافت افزایش و افت وزن و درصد پوسیدگی کاهش یافت. در نهایت آنها به این نتیجه رسیدند که پوشش‌دهی میوه توت‌فرنگی با پوشش مورد بررسی می‌تواند به عنوان روشی ایمن و کارآمد در افزایش نگهداری و حفظ بهتر کیفیت میوه در شرایط سرد معرفی گردد [۱۳].

هدف از پژوهش حاضر تولید و بهینه‌سازی پوشش خوراکی با استفاده از پروتئین تغلیظ شده شیر، پکتین و کلرید کلسیم حاوی اسانس سیاه دانه و بررسی اثر پوشش بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و کیفی توت‌فرنگی در طول نگهداری در یخچال بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

در این پژوهش میوه‌های توت‌فرنگی در مرحله رسیدگی کامل در بهار سال ۹۷ از یک گلخانه تجاری واقع در شهر ارومیه خریداری و در سبدهای مخصوص حمل و نقل توت‌فرنگی قرار داده شده و

[1] Fragaria ananassa, var. Elsanta
[2] Botrytis cinerea
[3] Milk protein concentrate
[4] Cytotoxic

به آزمایشگاه دانشگاه غیرانتفاعی صبا منتقل گردیدند و سپس میوه‌های یکنواخت از نظر شکل، اندازه، رنگ و سالم بودن جهت بررسی اثر پوشش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. پروتئین تغلیظ شده شیر از شرکت وستلند نیوزلند و اسانس سیاه‌دانه از شرکت باریج اسانس کاشان، ایران خریداری شدند. پکتین، کلرید کلسیم، گلیسرول، هیدروکسید سدیم، متا فسفریک اسید، کربنات سدیم، اتانول، متانول و محیط کشت یست اکسترکت گلوکز کلرامفنیکل آگار[1]، ایندوفنول از شرکت مرک[2]، آلمان تهیه شدند. ۲،۲- دی فنیل-۱- پیکریل هیدرازیل[3]، گالیک اسید و فولین- سیوکالچو[4] از شرکت سیگما- آلدریچ[5] ایالات متحده آمریکا تهیه گردیدند.

۲-۲- پوشش‌دار کردن نمونه‌های توت‌فرنگی

میوه‌های توت‌فرنگی از بازار ارومیه خریداری و پس از جداسازی میوه‌های سالم از معیوب، نمونه‌ها از نظر شکل، رنگ و اندازه بررسی شدند تا یکنواخت گردیده و قبل از آزمایش با آب مقطر شسته و خشک شدند [۱۱]. محلول پوشش‌های خوراکی بر پایه پروتئین تغلیظ شده شیر (۴/ ۶ و ۸٪)، پکتین (۰/ ۲ و ۴٪) حاوی کلرید کلسیم (۱/ ۲ و ۳٪)، گلیسرول (۲/ ۳ و ۴٪) و همچنین اسانس سیاه‌دانه (در مقدار ثابت ۲ درصد) تولید شدند. میوه‌های توت‌فرنگی مورد نظر در محلول‌های تهیه شده به‌مدت ۵ دقیقه به صورت غوطه‌ور قرار گرفتند، سپس از محلول خارج شده و به ظرف توری شکل جهت آبکش شدن منتقل شدند. نمونه‌ها بر روی طبق‌های پلاستیکی به مدت ۱ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار داده شدند تا پوشش خشک گردد. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۰روز در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند [۱۴،۱۱]. یک گروه از میوه‌ها به‌عنوان نمونه کنترل در شرایط مشابه در آب مقطر غوطه‌ور شدند.

۲-۳- اندازه‌گیری pH

میزان pH آبمیوه با دستگاه pH متر دیجیتالی (مدل ۸۲۷، شرکت متروم[6]، سوئیس) کالیبره شده با بافرهای ۴ و ۷ اندازه گیری شد [۱۶،۱۵].

۲-۴- اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون

برای اندازه‌گیری اسیدهای آلی ابتدا ۲۰ میلی‌لیتر از عصاره میوه در داخل ارلن مایر ریخته شد و روی آن ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد و سپس با قرار دادن الکترود pH متر دیجیتالی عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال (۴ گرم در لیتر) تا pH= ۸/۲ صورت گرفت [۱۸،۱۷]. میزان اسید قابل تیتراسیون براساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی طبق رابطه زیر محاسبه شد:

$$T.A = \left(\frac{S \times N \times F \times E}{C}\right) \times 100 \qquad (1)$$

T.A= مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره میوه (۱۰۰g/ml)، S= مقدار NaOH مصرف شده (ml)، N= نرمالیته NaOH، F= فاکتور NaOH، C= مقدار عصاره میوه (ml)، E= اکی والان اسید مورد نظر (آسکوربیک اسید).

۲-۵- اندازه‌گیری مواد جامد محلول کل

برای این منظور چند قطره آبمیوه در دمای اتاق روی رفراکتومتر دستی (مدل R-۵۰۰۰، شرکت آتاگو[7]، ژاپن) که قبل از شروع اندازه‌گیری کالیبره شده بود قرار گرفت و سپس اقدام به خواندن رفراکتومتر شد و داده‌ها برحسب درجه بریکس یادداشت گردید [۱۹].

۲-۶ - اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید به روش تیتراسیون ویتامین C

جهت اندازه‌گیری میزان آسکوربیک اسید، ابتدا نمونه‌های تولید شده را که دارای رقت ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر بود را به رقت ۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر رسانده، سپس در ارلن ۵۰ میلی‌لیتری، ۲ میلی‌لیتر نمونه و ۵ میلی‌لیتر از محلول متا فسفریک اسید ریخته و توسط محلول ایندوفنول تا ظهور رنگ صورتی تیتر نمودیم [۲۰].

۲-۷- اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی

قابلیت مهار فعالیت رادیکال DPPH نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر (مدل شیمادزو ۴۱۰۰، شرکت ترمو نیکولت[8]، ژاپن) اندازه‌گیری شد. به‌طور خلاصه ۲ میلی‌لیتر از محلول هر نمونه با ۲ میلی‌لیتر از محلول رادیکالی DPPH (محلول ۰/۲ میلی‌مول) برای تعیین جذب (A_i) در ۵۱۷ نانومتر استفاده شد و در همان زمان۲ میلی‌لیتر اتانول به‌عنوان نمونه شاهد (A_c) با ۲ میلی‌لیتر از محلول رادیکالی DPPH (۰/۲ میلی‌مول) و ۲ میلی‌لیتر از محلول هر پوشش در آب مقطر مخلوط گردید و جذب آنها نیز به همان روش ذکر شده در بالا انجام شد و با توجه به فرمول زیر درصد مهار فعالیت رادیکالی DPPH به‌دست آمد [۲۱]:

[1] Yeast Extract Glucose Chloramphenicol Agar
[2] Merck
[3] 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH)
[4] Folin-ciocalteu
[5] Sigma-Aldrich
[6] Metrohm
[7] Atago
[8] Thermo Nicolet

$$\text{Radical Scavenging Activity (\%)} = \frac{1-(A_i-A_j)}{A_c} \times 100$$

۲-۸- اندازه‌گیری محتوای فنول کل

اندازه‌گیری میزان فنول کل میوه‌ها با استفاده از روش فولین- سیوکالچو (فولین) انجام گرفت. برای این منظور ۱ گرم نمونه در هاون چینی در حضور نیتروژن مایع آسیاب گردید، سپس ۱۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی ۱درصد برای استخراج ترکیبات فنولی به آن اضافه گردید. آنگاه با کاغذ صافی عصاره‌ها صاف شدند. برای قرائت میزان جذب فنول کل، ۲۰۰ میکرو لیتر عصاره میوه را با آب مقطر به حجم ۵۰۰ میکرو لیتر رسانده و به آن مقدار ۲/۵ میکرو لیتر فولین اضافه شد. ۵ دقیقه پس از افزودن محلول فولین رقیق شده با آب مقطر، مقدار ۲۰۰۰ میکرو لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد اضافه گردید و نمونه‌ها در شرایط تاریک قرار داده شدند. پس از ۱/۵ ساعت نگهداری در دمای اتاق و شرایط تاریک، میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۰ نانو متر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل ۸۰ T، شرکت PG Instruments، انگلستان) قرائت گردید [۱۵].

برای تهیه محلول‌های استاندارد، مقدار ۰/۱ گرم گالیک اسید با متانول خالص به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس از این محلول استاندارد به ترتیب مقادیر حجمی ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۵۰ میکرو لیتر برداشته و داخل ظروف کوچک شیشه‌ای ریخته شد. به هر کدام از آن‌ها مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر فولین رقیق شده با آب مقطر افزوده شد. پس از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه، ۲ میلی‌لیتر کربنات سدیم اضافه گردید. میزان جذب محلول‌های استاندارد پس از ۱/۵ تا ۲ ساعت قرائت گردید. سپس منحنی استاندارد از روی الگوی جذب ترسیم گردید. میزان فنول کل از روی میزان جذب نمونه و مقایسه آن با منحنی استاندارد، بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت میوه بیان گردید [۱۵].

۲-۹- تعیین سفتی بافت میوه

برای تعیین سفتی بافت نمونه‌ها از دستگاه بافت سنج (مدل TA-XT Plus، شرکت استیبل میکروسیستم، انگلستان) استفاده شد. بدین منظور از پروب استوانه‌ای فولادی با سرعت جابه‌جایی یک میلی‌متر بر ثانیه استفاده گردید و آزمون نفوذ با میزان جابه‌جایی ۶ میلی‌متر انجام گرفت. مقادیر نیروی نفوذ با دقت ۰/۱ نیوتن و جابه‌جایی پروب با دقت ۰/۰۰۱ ثانیه ثبت گردید. با استفاده از نمودارهای نیرو- زمان، حداکثر نیروی نفوذ بر حسب گرم محاسبه گردید [۱۱].

۲-۱۰- اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین

به‌منظور اندازه‌گیری محتوای آنتوسیانین، ۰/۱ گرم از نمونه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر متانول اسیدی (شامل ۹۹ درصد متانول و یک درصد اسید کلریدریک) هم‌زده شد. سپس عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۶۰۰۰ گرم سانتریفوژ شد، فاز بالایی به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و در دمای آزمایشگاه نگهداری شد. پس از ۲۴ ساعت جذب هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۵۵۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد و برای محاسبه غلظت آنتوسیانین از رابطه زیر استفاده شد:

$$A = \varepsilon bc$$

که در این رابطه ε= ضریب خاموشی (۲۶/۹۰۰)، b= طول مسیر نوری (۱ سانتی‌متر)، A= جذب نمونه (در ۵۵۰ نانومتر) و C= غلظت نمونه (بر حسب میلی‌گرم/ لیتر) می‌باشد.

۲-۱۱- شمارش کپک و مخمر

جهت انجام آزمون میکروبی، ۱۰ گرم از نمونه‌ها در ۹۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی استریل ۸۵٪ مخلوط و هموژن شده و برای هر نمونه ۲ رقت تهیه شد. از هر رقت یک میلی‌لیتر برای کشت باکتری به روش کشت سطحی در محیط کشت یست اکسترکت گلوکز کلرامفنیکل آگار مورد استفاده قرار گرفت. نمونه‌های کشت داده شده در ۲۵ °C به مدت ۳ الی ۵ روز گرمخانه گذاری شدند [۲۲].

۲-۱۲- تجزیه و تحلیل آماری

۲-۱۲-۱- طرح آماری

در این مطالعه اثر چهار فاکتور غلظت پروتئین تغلیظ شده شیر، پکتین، کلسیم کلرید و گلیسرول بررسی شد. برای این منظور غلظت پروتئین تغلیظ شده شیر (۴/ ۶ و ۸٪)، پکتین (۰/ ۲ و ۴٪)، کلسیم کلرید (۱/ ۲ و ۳٪) و گلیسرول (۲/ ۳ و ۴٪) با به کارگیری طرح فاکتوریل کسری مورد ارزیابی قرار گرفت. در این طرح ۹ نمونه همراه با ۴ نقطه مرکزی جهت برآورد عدم تطابق و تکرارپذیری در نظر گرفته شد جدول (۱). پس از انجام آزمایشات گردآوری اطلاعات برای آزمون، جهت بررسی معنی‌داری فاکتورها و اثرات متقابل آن‌ها از روش تجزیه و تحلیل واریانس و آزمون فیشر استفاده شد و سطح معنی‌داری α=۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها از نرم افزار دیزاین اکسپرت[1] نسخه ۷ استفاده شد.

[1] Design-Expert

جدول (۱): ماتریکس طرح آماری فاکتوریل کسری

تیمار	پروتئین تغلیظ شده شیر (٪)	پکتین (٪)	کلسیم کلرید (٪)	گلیسرول (٪)
۱	۶	۲	۲	۳
۲	۸	۰	۳	۲
۳	۴	۰	۳	۴
۴	۴	۰	۱	۲
۵	۴	۴	۱	۴
۶	۶	۲	۲	۳
۷	۸	۰	۱	۴
۸	۸	۴	۳	۴
۹	۸	۴	۱	۲
۱۰	۶	۲	۲	۳
۱۱	۶	۲	۲	۳
۱۲	۴	۴	۳	۲
۱۳	۶	۲	۲	۳

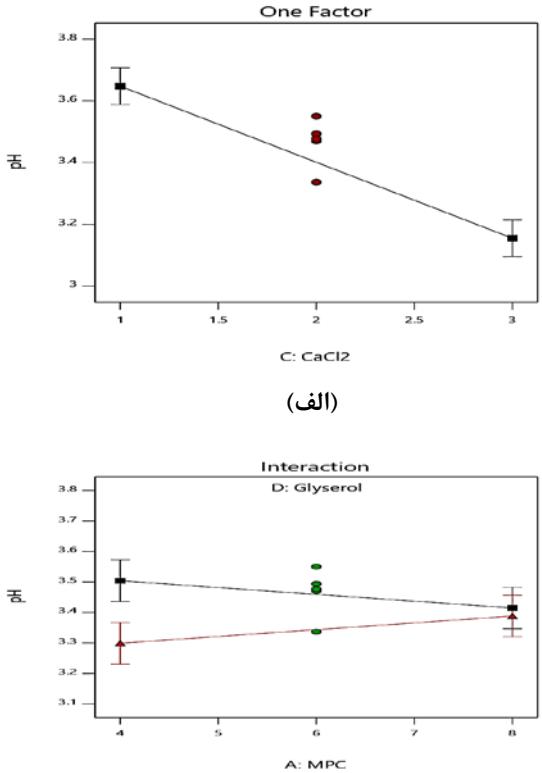
۲-۱۲-۲- بهینه سازی عددی

برای این منظور با استفاده از تابع مطلوبیت بهترین ترکیب از پوشش خوراکی بر پایه پروتئین تغلیظ شده شیر، پکتین، کلسیم کلرید و گلیسرول بر اساس بیشینه مقدار pH، مواد جامد محلول، میزان آسکوربیک اسید، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی و همچنین کمینه مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون و شمارش کپک و مخمر انتخاب شد. سپس علاوه‌بر ویژگی‌های میکروبی و فیزیکو شیمیایی، سفتی بافت و محتوای آنتوسیانین توت‌فرنگی‌های پوشش داده شده پس از ۵ و ۱۰روز انبارمانی در مقایسه با نمونه کنترل با استفاده از روش تجزیه و تحلیل واریانس و آزمون توکی در سطح احتمال ۵٪ ارزیابی گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱ - بررسی pH

نتایج نشان داد که غلظت کلسیم کلرید و اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول بر pH آب توت‌فرنگی اثر معنی‌داری داشتند ($p<۰/۰۵$). به‌طوری‌که با افزایش غلظت کلسیم کلرید، pH آب توت‌فرنگی کاهش یافت شکل (۱). مقدار pH نشان دهنده اسیدی و یا قلیایی بودن محصولات باغبانی می‌باشد اما میزان pH میوه همیشه با مقدار اسیدهای آلی محصول رابطه مستقیم ندارد [۱۹]. اسیدهای آلی عمدتا جزء اسیدهای ضعیف بوده و تاثیر زیادی بر روی pH میوه نداشته و اسیدهای قوی سبب تغییر سریع pH می‌شوند. pH یا غلظت یون‌های H^+، بر روی مزه تأثیر ندارند و اهمیت آنها بیشتر به‌دلیل تأثیر بر واکنش‌های آنزیمی و فعالیت میکرو ارگانیسم‌ها (مخمرها و باکتری‌ها) می‌باشد، بنابراین در مقایسه با اسیدیته قابل تیتراسیون، تغییرات pH از اهمیت کم‌تری به‌عنوان یک فاکتور کیفی مؤثر بر مزه برخوردار است. در بیش‌تر میوه‌ها در طول انبارداری pH میوه‌ها افزایش می‌یابد و این به‌دلیل کاهش اسیدهای آلی است ولی این افزایش در pH اکثر میوه‌ها متفاوت می‌باشد، چون علاوه‌بر اسیدها سایر مواد موجود در میوه نظیر قندها نیز امکان تأثیر بر pH را دارند [۲۳]. افزایش pH میوه، به‌دلیل تغییرات بیوشیمیایی میوه مانند تجزیه اسیدهای آلی به قندها و شرکت در چرخه تنفس می‌باشد که پوشش مورد بررسی توانست سرعت تنفس و تجزیه اسیدهای آلی را کاهش دهد و در نتیجه باعث پایین نگه داشتن pH توت‌فرنگی در طول مدت نگهداری شود [۲۴]. نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از پژوهش عطای صالحی و همکاران (۱۳۹۷)، که به بررسی کاربرد صمغ‌های کیتوزان، آلژینات و کاراگینان به‌عنوان پوشش خوراکی میوه سیب پرداختند و نشان دادند که زمان تاثیر مستقیمی بر روی کاهش pH داشت و با گذشت زمان pH کاهش یافت، مطابقت داشت [۲۵].



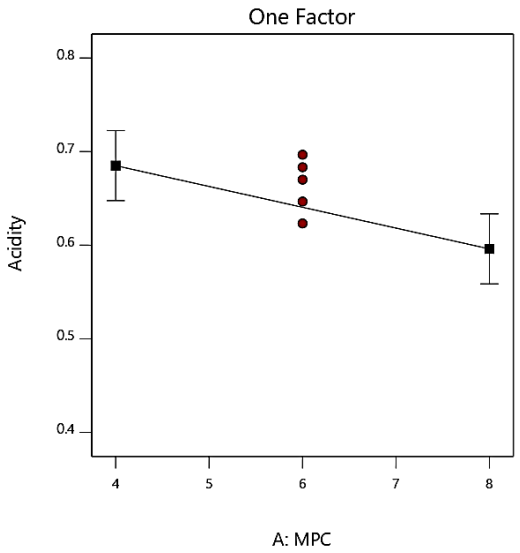
(الف)

(ب)

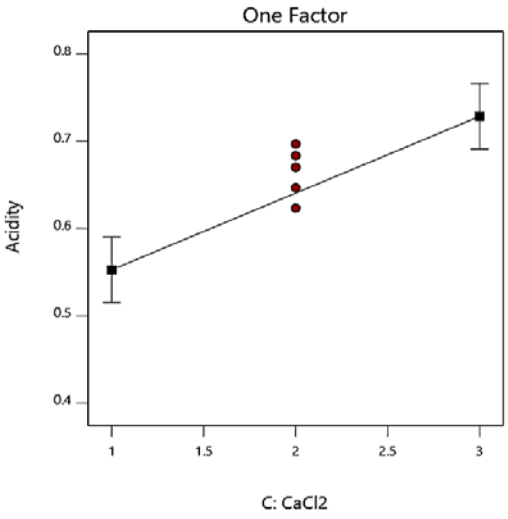
شکل (۱): عوامل مؤثر بر pH آبمیوه توت فرنگی، (الف) تأثیر غلظت کلسیم کلرید بر pH آبمیوه توت فرنگی (ب) تأثیر بر هم‌کنش غلظت‌های پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول بر pH آبمیوه توت فرنگی.

۳-۲- بررسی اسیدیته قابل تیتراسیون

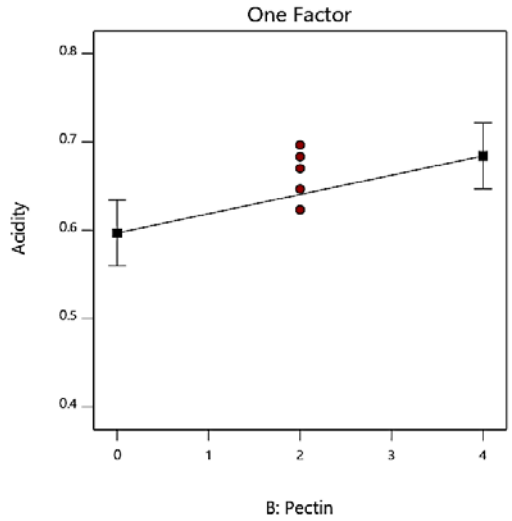
نتایج نشان داد که غلظت پروتئین تغلیظ شده شیر، کلسیم کلرید و پکتین اثر معنی‌داری بر اسیدیته قابل تیتراسیون آب توت‌فرنگی داشت ($p<۰/۰۵$). به‌طوری‌که با افزایش پروتئین تغلیظ شده شیر، اسیدیته قابل تیتراسیون توت‌فرنگی کاهش یافت و با افزایش غلظت کلسیم کلرید و پکتین مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون افزایش یافت شکل (۲). قاسم‌نژاد و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که دلیل کاهش اسیدهای آلی در پایان انبارمانی ممکن است ناشی از تغییرات متابولیکی در میوه و یا مصرف اسیدهای آلی در فرآیند تنفس باشد [۲۶]. در واقع اسیدها به‌عنوان یک منبع اندوخته انرژی در میوه می‌باشند که در هنگام رسیدن با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند [۱۹،۲۷]. طبق مطالعات انجام شده میوه‌هایی که دارای ترکیبات اسید و قند هستند اسیدیته قابل تیتراسیون آنها طی انبارداری میوه‌ها کاهش می‌یابد و منجر به شکستن اسیدها به قند در طول تنفس می‌شود. کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون طی انبارداری مربوط به مصرف اسیدهای آلی به‌عنوان پیش ماده تنفسی طی فرایند تنفس می‌باشد [۲۸]. اما در پژوهش حاضر پوشش‌ها با کاهش سرعت تنفس و تجزیه اسیدهای آلی، موجب افزایش در اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی گردیدند [۲۴]. در هنگام رسیدن و افزایش فعالیت‌های سوخت وساز، اسیدهای آلی میوه کاهش پیدا می‌کنند. پوشش‌های خوراکی با تغییر اتمسفر درونی و کاهش سرعت تنفس میوه باعث حفظ بهتر اسیدهای آلی می‌شوند [۲۹].



(الف)



(ب)



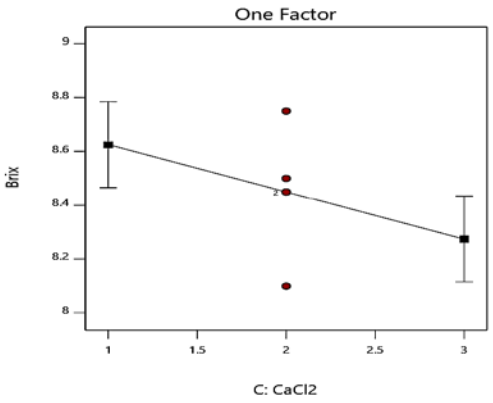
(پ)

شکل (۲): عوامل مؤثر بر اسیدیته قابل تیتراسیون آبمیوه توت فرنگی، (الف)تأثیر غلظت‌های پروتئین تغلیظ شده شیر بر اسیدیته قابل تیتراسیون آبمیوه توت فرنگی، (ب) تأثیر غلظت‌های کلسیم کلرید بر اسیدیته قابل تیتراسیون آبمیوه توت فرنگی و (پ) تأثیر غلظت‌های پکتین بر اسیدیته قابل تیتراسیون آبمیوه توت فرنگی.

۳-۳- بررسی میزان مواد جامد کل (بریکس)

نتایج نشان دادند که اثر غلظت کلسیم کلرید بر مواد جامد کل (بریکس) آب توت‌فرنگی معنی‌داری بود ($p<۰/۰۵$). به‌طوری‌که با افزایش غلظت کلسیم کلرید، مقدار مواد جامد کل (بریکس) کاهش یافت شکل (۳). به‌طور کلی میوه‌ها موجودات زنده‌ای هستند که پس از برداشت به زندگی خود ادامه می‌دهند، بنابراین

واکنش‌های متابولیکی در آنها ادامه دارد تا زمانی که این فرآورده‌ها به گیاه مادری متصل هستند موادی که در اثر تنفس و تعرق از دست می‌دهند از طریق گیاه مادری جبران می‌کنند که این مواد عمدتا قندها، اسیدهای آمینه و آب می‌باشند. بعد از برداشت میوه، مواد از دست رفته قابل جایگزینی نیستند و فرآورده گیاهی شروع به استفاده از مواد ذخیره‌ای خود می‌کند که باعث زوال و فساد محصول می‌شود. به‌عبارت دیگر می‌توان انتظار داشت مواد جامد محلول در دوره رسیدن محصول افزایش و در محصول رسیده در اثر تنفس کاهش یابد. در واقع پوشش‌های خوراکی با کاهش سرعت تنفس موجب کاهش هیدرولیز کربوهیدرات‌ها به قندهای ساده و در نتیجه مواد جامد کل نمونه‌ها می‌شوند [۳۰]. عشقی و همکاران (۱۳۹۲) که به بررسی تأثیر پوشش نانو امولسیون حاوی کیتوزان بر افزایش ماندگاری و ویژگی‌های کیفی میوه توت‌فرنگی پس از برداشت پرداختند، گزارش نمودند که مواد جامد محلول روندی کاهشی داشت، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد [۱۱].

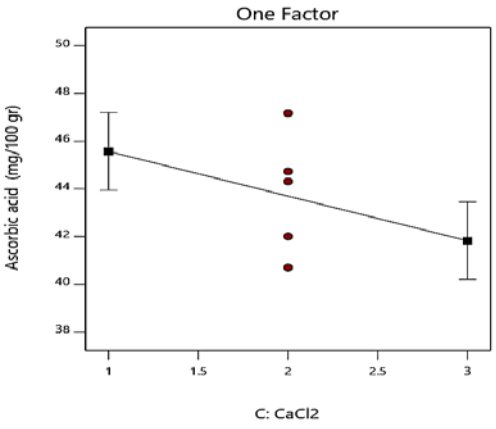


(الف)

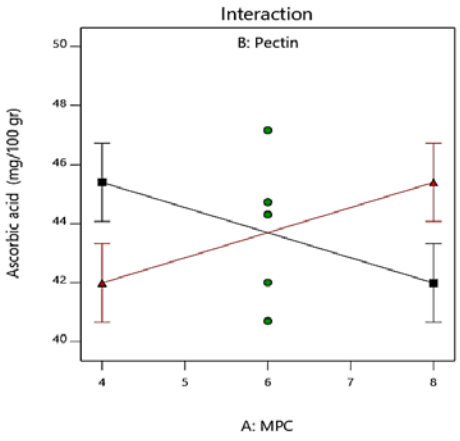
شکل (۳): تأثیر غلظت‌های کلسیم کلرید بر مواد جامد کل (بریکس) آبمیوه توت فرنگی.

۳-۴- بررسی میزان آسکوربیک اسید

نتایج نشان دادند که اثر غلظت کلسیم کلرید و اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر، و پکتین بر میزان آسکوربیک اسید آبِ توت‌فرنگی معنی‌داری بود ($p<0/05$). به‌طوری‌که با افزایش غلظت کلسیم کلرید مقدار آسکوربیک اسید کاهش یافت شکل (۴). آسکوربیک اسید در مقایسه با سایر مواد مغذی در طول فرآیند، مصرف و انبارداری به اکسیداسیون و تجزیه حساس‌تر است و دلیل احتمالی کاهش آسکوربیک اسید در زمان انبارداری اکسیداسیون خود به‌خودی آن است که به‌صورت خود به‌خودی در مجاورت اکسیژن هوا رخ می‌دهد [۳۱]. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با نتایج میغانی و همکاران (۱۳۹۷) که به بررسی اثر کیتوزان و کلرید کلسیم بر حفظ کیفیت پس از برداشت و ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی پرداختند، مطابقت داشت. آنها اشاره نمودند که کلرید کلسیم تأثیر معنی‌داری بر حفظ میزان آسکوربیک اسید توت‌فرنگی طی مدت انبارداری نداشت [۳۲]. زاده و همکاران (۱۳۹۸) نیز که به کاربرد پوشش خوراکی کامپوزیتی کربوکسی متیل سلولز/ پکتین حاوی عصاره رازک بر ماندگاری برش‌های پرتقال در شرایط سرد پرداختند، به نتایج مشابه دست یافتند [۷]. کاهش میزان آسکوربیک اسید طی مدت انبارمانی ممکن است ناشی از افزایش اکسیداسیون حاصل از کاهش آب باشد [۳۳]. با توجه به اینکه کاهش آسکوربیک اسید از نظر ارزش غذایی نامطلوب است، بنابراین جلوگیری از کاهش آن که احتمالا با جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های مرتبط با اکسیداسیون آن صورت می‌گیرد، در حفظ ارزش تغذیه‌ای میوه‌ها بسیار مفید است [۳۴].



(الف)

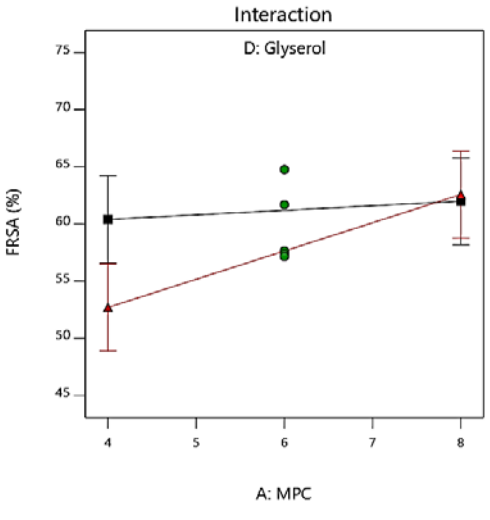


(ب)

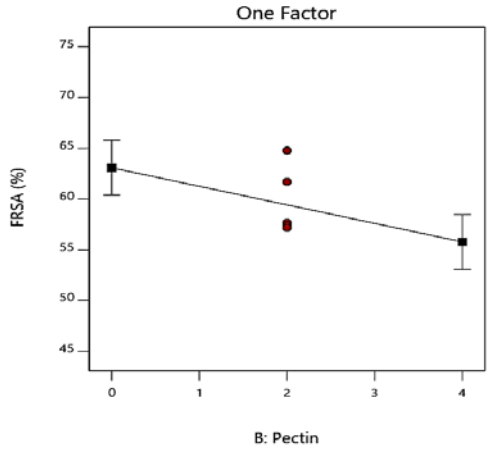
شکل (۴): عوامل مؤثر بر آسکوربیک اسید آبمیوه توت فرنگی، (الف) تأثیر غلظت‌های کلسیم کلرید بر میزان آسکوربیک اسید آبمیوه توت فرنگی (ب) اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و پکتین بر میزان آسکوربیک اسید آبمیوه توت فرنگی.

۳-۵- بررسی میزان فعالیت آنتی اکسیدانی

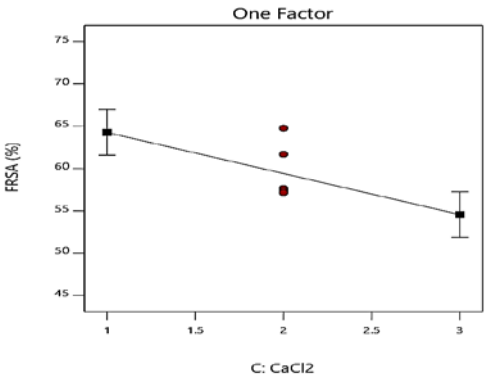
نتایج نشان دادند که غلظت پروتئین تغلیظ شده شیر، کلسیم کلرید و پکتین بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی (مهار رادیکال آزاد DPPH) آبِ توت‌فرنگی اثر معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). به طوری که با افزایش پروتئین تغلیظ شده شیر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی آبِ توت‌فرنگی افزایش یافت و با افزایش غلظت کلسیم کلرید و پکتین میزان فعالیت آنتی اکسیدانی کاهش یافت شکل (۵). اندازه‌گیری میزان مهار رادیکال آزاد DPPH یکی از روش‌های معتبر، دقیق و آسان است که فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره گیاهی را مورد بررسی قرار می‌دهد [۳۵، ۳۶]. طی زمان نگهداری، فعالیت آنتی اکسیدانی در میوه‌ها کاهش می‌یابد که این روند به‌دلیل حافظت سلول در برابر آسیب‌های ناشی از رادیکال‌های آزاد است [۳۷]. در توت‌فرنگی پوشش‌دهی شده فعالیت آنتی اکسیدانی بیشتر حفظ گردید که می‌تواند به‌دلیل حفظ بیشتر اسید آسکوربیک و آنتوسیانین نسبت به نمونه شاهد باشد. نتایج حاصل با نتایج عشقی و همکاران (۲۰۱۳) که نشان دادند در توت‌فرنگی پوشش‌دهی شده با پوشش نانوامولسیونی حاوی کیتوزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیش‌تر حفظ می‌شود که می‌تواند به‌دلیل حفظ بیش‌تر آسکوربیک اسید و آنتوسیانین نسبت به نمونه شاهد باشد، مطابقت داشت [۱۱]. همچنین در پژوهش دیگری وانگ و گائو (۲۰۱۳) به بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی در توت‌فرنگی پوشش داده شده با کیتوزان پرداختند و مشاهده نمودند که توت‌فرنگی‌های تیمار شده توسط کیتوزان سطوح بالایی از ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی را حفظ نمودند [۳۸].



(الف)



(ب)



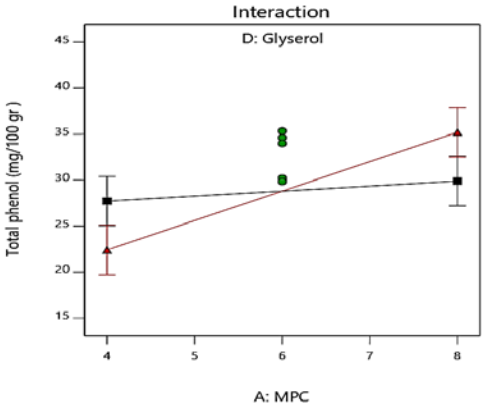
(پ)

شکل(۵): عوامل مؤثر بر فعایت آنتی اکسیدانی آبمیوه توت‌فرنگی، (الف) تاثیر غلظت‌های پروتئین تغلیظ شده شیر بر میزان فعالیت آنتی اکسیدانی آبمیوه توت فرنگی، (ب) تاثیر غلظت‌های پکتین بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آبمیوه توت‌فرنگی و (پ) تاثیر غلظت‌های کلسیم کلرید بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی آبمیوه توت‌فرنگی.

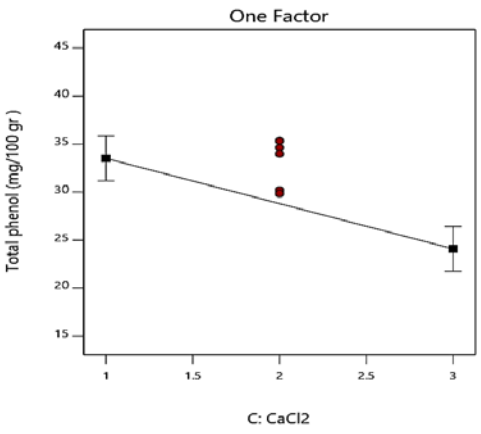
۳-۶- بررسی میزان ترکیبات فنولی کل

نتایج نشان دادند که غلظت کلسیم کلرید، پکتین و اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول بر میزان ترکیبات فنولی کل آبِ توت‌فرنگی اثر معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). به‌طوری‌که با افزایش پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول میزان ترکیبات فنولی کل توت‌فرنگی افزایش یافت و با افزایش غلظت کلسیم کلرید و پکتین میزان ترکیبات فنولی کل کاهش یافت شکل (۶). ترکیبات فنولی، متابولیت‌های ثانویه‌ای هستند که از مسیرهایی در گیاهان مشتق می‌شوند. این ترکیبات نقش مهمی را بر ویژگی‌های رنگ و حساسیت میوه‌ها و سبزی‌ها برعهده دارند. ترکیبات فنولی موجود در گیاهان، بخش قابل توجهی از رژیم

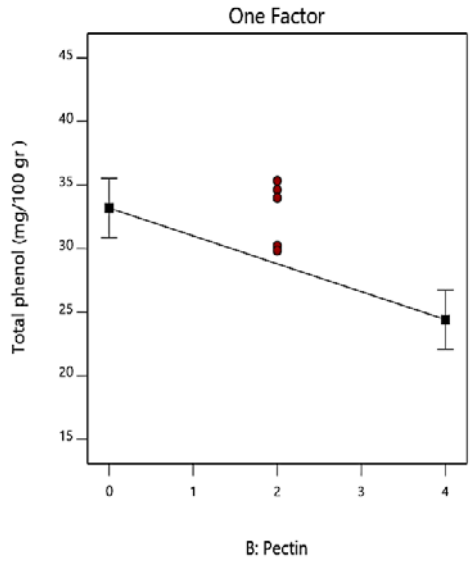
غذایی انسان هستند و به‌دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی توجه قابل ملاحظه‌ای به آنها شده است [۳۹]. تغییرات ترکیبات فنولی در محصولات باغبانی متفاوت است. اکثر ترکیبات فنولی در آغاز رشد و نمو میوه‌ها و سبزی‌ها افزایش یافته اما در خلال رسیدن محصول مقدار آنها کاهش می‌یابد؛ زیرا این مواد در فعالیت‌های متابولیکی شرکت می‌کنند. آنتوسیانین‌ها برعکس دیگر ترکیبات فنولی در حین رسیدن میوه افزایش می‌یابند و بعد از رسیدن به یک میزان معین، مقدار آنها ثابت باقی می‌ماند. ترکیبات فنولی در حضور اکسیژن توسط آنزیم فنولاز تجزیه می‌شوند و به ملانین قهوه‌ای رنگ تبدیل می‌شوند [۱۹]. فنول‌ها در دوره بعد از برداشت اثرات متعددی دارند و مهم‌ترین نقش آنها در رنگ و طعم محصول است. نتایج به‌دست آمده با نتایج قربانی و همکاران (۱۳۹۵) که به بررسی تأثیر پوشش خوراکی موسیلاژ دانه شاهی بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای پرداختند و با آنالیز نتایج نشان دادند که پوشش خوراکی تاثیر معنی‌داری در جلوگیری از کاهش ترکیبات فنولی قارچ داشت، مطابقت داشت [۴۰].



(الف)



(ب)

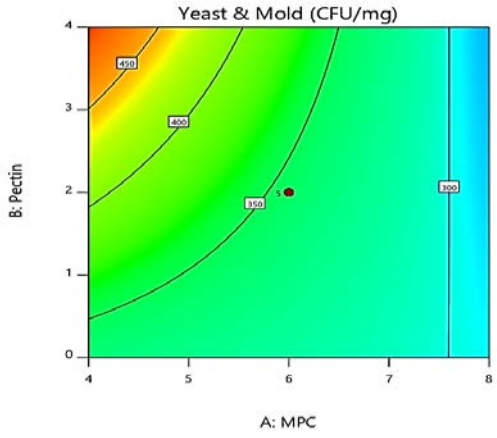


(پ)

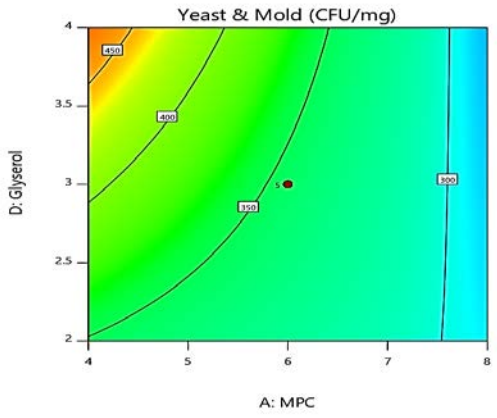
شکل (۶): عوامل مؤثر بر میزان ترکیبات فنولی کل آبمیوه توت فرنگی، (الف) تأثیر اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول بر میزان ترکیبات فنولی کل آبمیوه توت فرنگی (ب) تأثیر غلظت‌های کلسیم کلرید بر میزان ترکیبات فنولی کل آبمیوه توت فرنگی (پ) تأثیر غلظتهای پکتین بر میزان ترکیبات فنولی کل آبمیوه توت فرنگی.

۳-۷- بررسی میزان کپک و مخمر

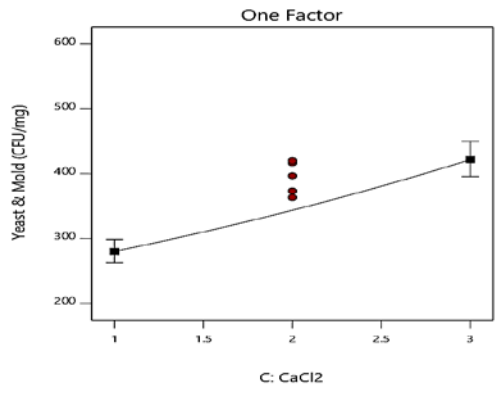
نتایج نشان دادند که غلظت کلسیم کلرید و همچنین اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر با پکتین و گلیسرول بر میزان کپک و مخمر آبِ توت‌فرنگی اثر معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). به‌طوری که با کاهش پروتئین تغلیظ شده شیر و افزایش پکتین، کلسیم کلرید و گلیسرول میزان کپک و مخمر توت‌فرنگی افزایش یافت شکل (۷). کنترل پوسیدگی میوه‌ها یکی از مهم‌ترین اهداف پوشش‌دهی است. طی نگهداری در اثر تداوم تنفس سلولی و فعالیت آنزیمی، میوه توت‌فرنگی در ابتدا نرم شده و حالت لهیدگی پیدا می‌کند، با ادامه این روند به‌دلیل حل شدن پکتین در مایع درون سلولی کپک‌زدگی مشاهده می‌گردد. عامل اصلی فساد مواد غذایی رشد میکروب‌ها بر سطح آنها است که با پوشش‌های حاوی ترکیبات ضد میکروبی می‌توان آن را کنترل کرد [۴۱]. نتایج به‌دست آمده با نتایج بنیادیان و همکار (۱۳۸۴) که به بررسی اثر ضد میکروبی روغن‌های فرار گیاهی بر جمعیت قارچی پنیر سفید ایرانی پرداختند [۴۲]. رضازاد باری و همکاران (۱۳۹۳) که به بررسی اثر نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید در ویژگی‌های انبار مانی و کنترل پوسیدگی پس از برداشت سه رقم انگور تازه پرداختند، مطابقت داشت [۱۶].



(الف)



(ب)



(پ)

شکل (۷): تأثیر عوامل مختلف بر میزان کپک و مخمر آبمیوه توت فرنگی (الف) تأثیر اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و پکتین بر میزان کپک و مخمر آبمیوه توت فرنگی (ب)تأثیر اثر متقابل پروتئین تغلیظ شده شیر و گلیسرول بر میزان کپک و مخمر آبمیوه توت فرنگی (پ)تأثیر غلظت‌های مختلف کلسیم کلرید بر میزان کپک و مخمر آبمیوه توت فرنگی.

۳-۸- بهینه‌یابی

بهینه‌یابی براساس بیشینه مقدار pH، مواد جامد محلول، میزان آسکوربیک اسید، محتوای فنول کل و فعالیت آنتی اکسیدانی و همچنین کمینه مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون و شمارش کپک و مخمر انجام شد. شرایط بهینه برای تهیه پوشش خوراکی شامل ۴/۲۵ درصد پروتئین تغلیظ شده شیر، صفر درصد پکتین، ۱درصد کلسیم کلرید و ۲ درصد گلیسرول بود. شایان ذکر است مطلوبیت کل برای این پوشش خوراکی برابر۸۴ درصد بود. جهت تایید شرایط بهینه‌سازی شده، ۵ نمونه پوشش داده شده با فرمول محلول پوشش بهینه و ۵ نمونه بدون پوشش (به‌عنوان شاهد) در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شده و ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی، آنتی‌اکسیدانی و میکروبی در روزهای ۵ و ۱۰ نگهداری بررسی و مقایسه شدند. با به‌کارگیری پوشش‌های بر پایه پروتئین تغلیظ شده شیر روی توت‌فرنگی، اسیدیته و میزان تخریب مواد جامد محلول در میوه‌ها، نسبت به توت‌فرنگی‌های بدون پوشش کاهش یافت که علت آن را می‌توان به کم شدن شدت تنفس، به دلیل حضور پوشش گزارش نمود که این موضوع افزایش در pH را در نمونه‌های پوشش‌دهی شده موجب گردید [۳۰]. پوسیدگی میوه به فعالیت قارچ تغذیه‌کننده از سطح بافت میوه مربوط می‌شود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مطالعه حاضر، وجود ترکیبات ضد میکروبی بر کاهش جمعیت قارچی تأثیر داشتند که سبب تأخیر در پوسیدگی میوه شدند [۴۳].

طی نگهداری میوه‌ها بافت آنها نرم و دچار آسیب‌دیدگی می‌شود که به نظر می‌رسد کاهش سفتی میوه در توت‌فرنگی، می‌تواند به حلالیت پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی، فعالیت آنزیمی، تخریب دیواره سلول‌ها و پارانشیم بستگی داشته باشد و همین‌طور کاهش سفتی میوه پس از برداشت میوه توت‌فرنگی به فساد میوه نیز مربوط است که کاربرد پوشش با کاهش سرعت فساد میوه از نرم شدن میوه در مقایسه با نمونه شاهد جلوگیری نمود. سیر کاهشی مقادیر فنل کل نمونه‌های پوشش‌دار در حالت کلی کندتر از نمونه‌های شاهد بود. از محتوای بالاتر آسکوربیک اسید توت‌فرنگی پوشش‌دهی شده نسبت به نمونه شاهد می‌توان چنین برداشت نمود که ایجاد اتمسفر تعدیل شده توسط پوشش، موجب کاهش از دست دادن آسکوربیک اسید می‌شود. کاهش افت میزان آسکوربیک اسید به‌دلیل کاهش نفوذپذیری اکسیژن توسط پوشش‌هاست. اکسیژن کم باعث کاهش سرعت اکسیداسیون آسکوربیک اسید گردید [۴۴]. نتایج این مرحله در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول (۲): نتایج به‌دست آمده جهت تایید بهینه‌یابی

نمونه	مدت نگهداری	آنتوسیانین (میلی‌گرم/۱۰۰ گرم)	سختی (نیوتن)	کپک و مخمر (log CFU/ گرم)	فنول کل (میلی‌گرم/ گرم گالیک اسید)	فعالیت مهارکنندگی رادیکال آزاد (٪)	ویتامین C (میلی‌گرم/ ۱۰۰ گرم)	بریکس	اسیدیته قابل تیتراسیون (٪)	pH
نمونه شاهد	روز پنجم	۱۳/۱±۰/۷^{b}	۲/۶±۰/۳^{c}	۵/۷±۰/۵^{b}	۲۴/۰±۲/۰^{c}	۳۸/۶±۷/۴^{bc}	۴۴/۰±۱/۹^{b}	۸/۸±۰/۳^{b}	۰/۷۱±۰/۰۲^{b}	۳/۵۰±۰/۰۸^{b}
نمونه بهینه		۱۴/۷±۰/۷^{a}	۵/۵±۰/۶^{a}	۲/۹±۰/۲^{c}	۴۲/۳±۲/۶^{a}	۶۱/۵±۲/۷^{a}	۴۹/۱±۰/۵^{a}	۹/۹±۰/۵^{a}	۰/۵۶±۰/۰۳^{c}	۳/۸۳±۰/۱۰^{a}
نمونه شاهد	روز دهم	۵/۴±۱/۰^{d}	۱/۰±۰/۰^{d}	۱۶/۸±۱/۶^{a}	۱۹/۲±۰/۶^{d}	۳۱/۰±۱/۴^{c}	۳۴/۰±۳/۹^{c}	۸/۷±۰/۴^{c}	۱/۰۴±۰/۰۷^{a}	۳/۰۴±۰/۰۷^{c}
نمونه بهینه		۱۱/۱±۰/۸^{c}	۴/۶±۰/۳^{b}	۶/۸±۰/۷^{b}	۳۵/۷±۳/۰^{b}	۴۸/۲±۶/۰^{b}	۴۲/۶±۱/۵^{b}	۹/۳±۰/۲^{ab}	۰/۶۶±۰/۰۵^{bc}	۳/۳۹±۰/۱۱^{b}

حروف متفاوت در هر ستون نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در نمونه‌ها است ($p<۰/۰۵$).

۴- نتیجه‌گیری

از یافته‌های این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که پوشش خوراکی پروتئین تغلیظ شده شیر، پکتین تقویت شده توسط کلسیم کلرید و اسانس سیاه‌دانه به‌طور مؤثری مانع از انتقال اکسیژن، گازهای معطر و رطوبت شدند و لذا باعث حفظ ویژگی‌های کیفی و فیزیکو شیمیایی میوه توت‌فرنگی گردیدند و اسانس سیاه‌دانه نیز به‌عنوان نگهدارنده آنتی اکسیدانی و ضد باکتریایی بر کاهش میزان کپک و مخمر تاثیر معنی‌داری داشت ($p<۰/۰۵$). بنابراین این پوشش خوراکی می‌تواند به‌عنوان روش جدیدی در نگهداری و افزایش طول عمر توت‌فرنگی تازه در دمای ۴ درجه سلسیوس به‌کار گرفته شود.

۵- مراجع

[1] S. Dodangeh, S. Amiri, and L. Rezazad Bari, “A Review of Different Types of Active Packages, Mechanism and their Application in Food Industry,” Scientific Quarterly Journal of Packaging Science and Technology, vol. 11, no. 44, pp. 80-90, 2021 (In Persian).

[2] F. Debeaufort, J. A. Quezada-Gallo, and A. Voilley, “Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. Critical Reviews in food science,” vol. 38, no.4, pp. 299 -313, 1998.

[3] S. Amiri, Z. M. Moghanjougi, M. R. Bari and A. M. Khaneghah, “Natural protective agents and their applications as bio-preservatives in the food industry: An overview of current and future applications,” Italian Journal of Food Science. vol. 19, no.33, pp. 55-68, 2021.

[4] M. A. Ghamari, S. Amiri, M. Rezazadeh-Bari, and L. Rezazad-Bari, “Physical, mechanical, and antimicrobial properties of active edible film based on milk proteins incorporated with Nigella sativa essential oil,” Polymer Bulletin. vol. 30, pp. 1-21. 2021.

[5] A. Jabraili, S. Pirsa, M. K. Pirouzifard, and S. Amiri, “Biodegradable nanocomposite film based on gluten /silica/ calcium chloride: physicochemical properties and bioactive compounds extraction capacity,” Journal of Polymers and the Environment, pp. 1-5, 2021.

[6] A. Gholam - Zhiyan, S. Amiri, M. Rezazadeh - Bari, and S. Pirsa, “Stability of Bacillus coagulans IBRC-M 10807 and Lactobacillus plantarum PTCC 1058 in Milk Proteins Concentrate (MPC)-Based Edible Film,” Journal of Packaging Technology and Research, vol. 5, no.1, pp. 11-22, 2021.

[7] M. N. Zadeh, S. Pirsa, S. Amiri, and L. R. Bari, “Application of the Edible Coating of Carboxy Methyl Cellulose/Pectin Composite Containing Humulus lupulus Extract on the Shelf Life of Fresh Cute Oranges at Cold Conditions,” Iraninan Journal of Biosystem engeeniering, vol. 51, pp. 471-484, 2020 (In Persian).

[8] F. Hoseiniyan, S. Amiri, M. Rezazadeh Bari, L. Rezazad Bari and S. Dodangeh, “Effect of soy protein isolate and TiO2 edible coating on quality and shelf-life of grapes varieties Hosseini and Ghezel Ozom,” Food Science and Technology, vol. 17, no. 100, pp. 29 -41, 2020 (In Persian).

[9] S. Bavaisi and A. Emamifar, “Effect of edible coating of aloe vera gel with tragacanth gel on microbial quality of new strawberries during storage,” Future of National Earth Observation Conference on Climate, Agriculture and Environment, 2016.

[10] M. H. Hosseini, S. H. Razavi, and M. A. Mousavi, “Antimicrobial, physical and mechanical properties of chitosan based films incorporated with thyme, clove and cinnamon essential oils,” Journal of Food Processing and

[23] P. Perkins -Veazie, J. K. Collins, A. R. Davis, and W. Roberts, "Carotenoid content of 50 watermelon cultivars ," Journal of Aricultural and Food Chemistry, vol. 54, no. 7, pp. 2593-2597, 2006.

[24] P. Hernandez - Munoz, E. Almenar, V. Del Valle, D. Velez, and R. Gavara, "Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (Fragaria× ananassa) quality during refrigerated storage," Food Chemi stry, vol. 110, no. 2, pp. 428-435, 2008.

[25] E. Ataye Saleh and M. Sheikhzadeh, "The Application of Chitosan, Alginate and Carrageenan Gums as apple edible coating," Journal of Food Science and Technology, vol. 85, no.15, pp. 317-326, 2019 (In Persian).

[26] M. Ghasemnezhad, M. A. Shiri, and M. Sanavi, "Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (Prunus armeniaca L.) during cold storage," Caspian Journal of Environmental Sciences, vol. 8, no. 1, pp. 25-33, 2010.

[27] H. Khosh Ghalb, K. Arzani, M. G. Malakooti, and M. Barzegar, "Changes in Sugars and Organic Acids During Growth and Storage and their Effects on Shelf Life, Qualitative Properties and Complexity of Inner Fruit Browning in Two Asian Pear Cultivars," Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, vol. 12, pp.193-204, 2005 (In Persian).

[28] P. S. Tanada - Palmu, and C. R. Grosso, "Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (Fragaria ananassa) quality," Postharvest biology and technology, vol. 36, no. 2, pp. 199-208, 2005.

[29] A. C. Galvisp Sánchez, S. C. Fonseca, A. M. M. B. Morais, and F. X. Malcata, "Physicochemical and sensory evaluation of 'Rocha' pear following controlled atmosphere storage," Journal of Food Science, vol. 68, no. 1, pp. 318-327, 2003.

[30] Ö. Yaman and L. Bayoındırlı, "Effects of an edible coating and cold storage on shelf-life and quality of cherries," LWT-Food Science and Technology, vol. 35, no. 2, pp. 146-150, 2002.

[31] O. B. Sogvar, M. K. Saba, and A. Emamifar, "Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit," Postharvest Biology and Technology, pp. 29-35, 2016.

[32] H. Meighani, N. Boroomand, and E. Moghbeli, "Effect of chitosan coating and CaCl2 on maintaining postharvest quality and antioxidant compound of strawberry fruit," Journal of Food Science and Technology, vol. 76, no.15, 307-317, 2017 (In Persian).

[33] Y. Shin, R. H. Liu, J. F. Nock, D. Holliday, and C. B. Watkins, "Temperature and relative humidity effects on quality, total ascorbic acid, phenolics and flavonoid concen trations, and antioxidant activity of strawberry," Postharvest Biology and Technology, vol. 45, no. 3, pp. 349-357, 2007.

[34] D. D. MacLean, D. P. Murr, and J. R. DeEll, "A modified total oxyradical scavenging capacity assay for antioxidants in plant tissues," Postharvest Biology and Technology, vol. 29, no. 2, pp. 183-194, 2003.

[35] G. Singh, P. Marimuthu, C. S. de Heluani, C. Catalan, "Chemical constituents and antimicrobial and antioxidant Preservation, vol. 33, no. 6, pp. 727-743, 2009.

[11] S. Eshghi, M. Hashemi, A. Mohammadi, F. Badie, Z. Mohammad Hosseini, S. K. Ahmadi, and K. Ghanati, "Effect of nano-emulsion coating containing chitosan on storability and qualitative characteristics of strawberries after picking," Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology, vol. 8, no. 2, pp. 9-19, 2013 (In Persian).

[12] S. Abdi, Z. Roein, J. Erfanimoghadam, and S. Aziznia, "Effect of pectin edible coating enriched with essential oils of citrus on strawberry quality during refrigerated storage and shelf life," Journal of Crop Production and Processing, vol. 1, pp. 43-54, 2016.

[13] M. Panji, P. Ghajarbeygi, and S. Shahsavari, "Effect of whey protein concentrate edible coating and Trachyspermum copticum essential oil on the microbial, physicochemical and organoleptic characteristics of fresh strawberries during storage," Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences, vol. 23, pp. 53-66, 2018.

[14] Z. Nadim, and E. Ahmadi, "Rheological properties of strawberry fruit coating with methylcellulose," Journal of Agricultural Machinery, vol. 6, no. 1, pp. 153-162, 2016.

[15] L. R. Bari, A. Ghanbari, R. Darvishzadeh, M. T. Giglou, and H. D. Baneh, "Discernment of grape rootstocks base on their response to salt stress using selected characteristics in combination with chemometric tools," Food Chemistry.

[16] L. Rezazad Bari, M. Rezazad Bari, M. Ghasemnejad, and M. Alizadeh Khaledabad, "Effect of titanium dioxide nano particles on three varieties of table grapes (BidaneSefid, Gezel Ozom and Rish Baba) shelf life and controlling postharvest decay properties," Journal of Food Industry Research. vol. 24, no. 3, pp. 315-324, 2014 (In Persian).

[17] L. Rezazad Bari, A. Ghanbari, R. Darvishzadeh, M. T. Giglou, and H. D. Baneh, "Comparison of phenolic compounds and antioxidant activity of two grapvine root cultivars Rasha and Qzel Ozum. Food Science and Technology," vol. 18, no. 111, pp.1-12, 2021 (In Persian).

[18] J. F. Ayala - Zavala, S. Y. Wang, C. Y. Wang, and G. A. González - Aguilar, "Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit," LWT-Food Science and Technology, vol. 37, no.7, pp. 687-695, 2004.

[19] R. Jalili Marandi, "Postharvest physiology (movement and preservation of fruits, vegetables and ornamental plants)," Jihad Publications of Urmia University, pp. 276, 2004 (In Persian).

[20] S. Amiri, M. Rezazadeh - Bari, M. Alizadeh - Khaledabad, and S. Amiri, "New formulation of vitamin C encapsulation by nanoliposomes: production and evaluation of particle size, stability and control release," Food science and biotechnology, vol. 28, no. 2, pp. 423-432, 2019.

[21] S. J. Lee, K. Umano, T. Shibamoto, and K. G. Lee, "Identification of volatile components in basil (Ocimum basilicum L.) and thyme leaves (Thymus vulgaris L.) and their antioxidant properties," Food Chemistry, vol. 91, no. 1, pp. 131-137, 2005.

[22] A. Issa, S. A. Ibrahim, and R. Tahergorabi, "Impact of sweet potato starch-based nanocomposite films activated with thyme essential oil on the shelf-life of baby spinach leaves." Foods, vol. 6, no. 6, p. 43, 2017.

potentials of essential oil and acetone extract of Nigella sativa seeds," Journal of the Science of Food and Agriculture, vol. 85.no.13, pp. 2297-2306, 2005 .

[36] F. Shahidi and Y. Zhong, "Measurement of antioxidant activity," Journal of Functional Foods, vol. 18, pp. 757-781. 2015.

[37] H. Kelebek, S. Selli, A. Canbas, and T. Cabaroglu, "HPLC determination of organic acids, sugars, phenolic compositions and antioxidant capacity of orange juice and orange wine made from a Turkish cv. Kozan," Microchemical Journal, vol. 91, no. 2, pp. 187-192, 2009 .

[38] S. Y. Wang and H. Gao, "Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (Fragaria x aranassa Duch.)," LWT-Food Science and Technology, vol. 52, no. 2, pp. 71-79, 2013.

[39] N. Balasundram, K. Sundram, and S. Samman, "Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses," Food Chemistry, vol. 99, no. 1, pp. 191-203, 2006.

[40] A. Ghorbani, Y. Maghsoudloo, M. Alami, M. Ghorbani, and A. Sadeghi, "The effect of edible coating of king seed mucilage on the survival of mushroom," Journal of Modern Food Technologies, vol. 3, pp. 89-96, 2016 (In Persian).

[41] M. Karami, M. A. Bahabadi, S. Delfani, and A. Ghozatloo, "A new application of carbon nanotubes nanofluid as working fluid of low-temperature direct absorption solar collector," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 121, pp. 114-118, 2014.

[42] M. Bonyadian and G. Karim, "Effect of some plant essential oils on the fungal population of industrial white cheese." Iranian Journal of Food Science and Technology, vol. 2, pp.1-8, 2005 (In Persian).

[43] F. Norouzi Faz, S. H. Mirdehghan, H. Karimi, and H. Alaei, "Effect of thymol and menthol essential oils combined with packaging with celofan on the maintenance of postharvest quality of strawberry cv. Parus," Iranian Journal of Horticultural Science, vol. 47, pp. 81-91, 2016 (In Persian).

[44] E. Ayranci and S. Tunc, "The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (Armeniaca vulgaris Lam.) and green peppers (Capsicum annuum L.)," Food Chemistry, vol. 87, no. 3, pp. 339-342, 2004.

Journal of Packaging Science and Technology

Vol. 12, No. 2, 2021-2022

The Effect of Milk-Pectin Protein Concentrate Composite Edible Coating Reinforced by Calcium Chloride and Nigella Sativa L. Essential Oil on the Physicochemical, Antioxidant and Microbial Characteristics of Strawberries During Storage

S. Amiri [*], M. Rezazadehbari , L. Rezazadehbari

* Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Urmia University

(Received: 18/10/2021; Accepted: 26/04/2021)

Abstract

The aim of this study is to increase the shelf life and quality of strawberries, using a composite coating of concentrated milk protein-pectin reinforced with calcium chloride and Nigella sativa L. essential oil during 10 days of storage at 4±1°C. The effect of edible coating based on condensed milk protein (4, 6 and 8%), pectin (0, 2 and 4%), calcium chloride (1, 2 and 3%), glycerol (2, 3 and 4%) and Nigella sativa L. essential oil (2%) is investigated. After optimizing the microbial quality of coated strawberries, their physicochemical properties, antioxidant activity, anthocyanin content, and tissue hardness were compared with the control samples at 5 and 10 days after storage. All the studied qualitative characteristics of the coated samples were significantly different from the control samples (p <0.05). The results showed that this edible coating maintains the quality of strawberries in comparison to the uncoated control samples due to rot reduction.

Keywords: Edible Coating, Nigella Sativa L Essential oil, Strawberry, Storage

[*] Corresponding author E-mail: s.amiri@tabrizu.ac.ir