

## Application of Nanoemulsions of Thyme and Peppermint Essential Oils with Carboxymethyl Cellulose Coating on Postharvest Longevity of Strawberry

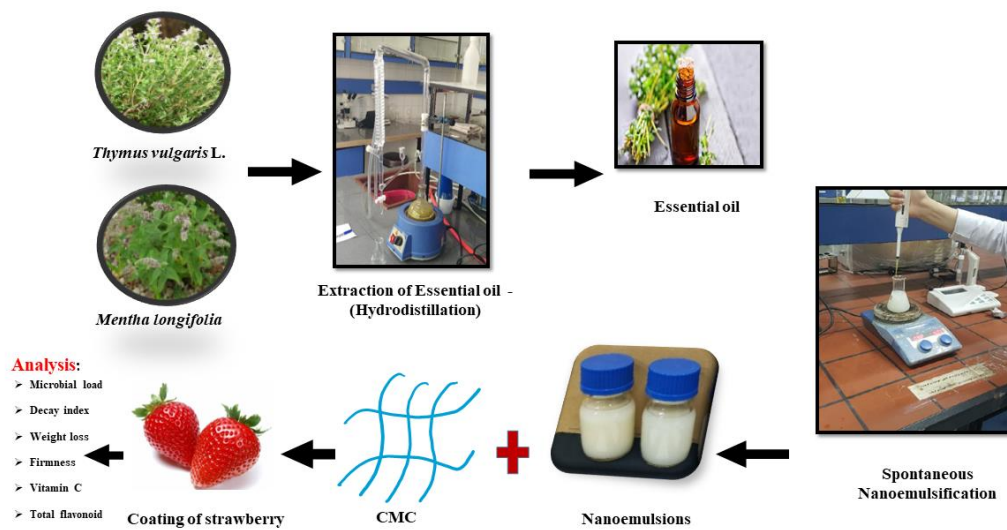
Zahra Javanmardi<sup>1</sup>, Mahmoud Koushesh Saba<sup>1\*</sup>, Jahanshir Amini<sup>2</sup> and Himan Nourbakhsh<sup>3</sup>

1- Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Food Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(Received: Oct. 2, 2021- Revised: Aug. 25, 2022- Accepted: Aug. 31, 2022)



**ABSTRACT:** Strawberry (*Fragaria ananassa*) is susceptible to postharvest fungal agents. Therefore, the application of suitable methods such as essential oils (EOs) and edible coatings to control the fruit decay and maintain the quality of strawberry fruit during the postharvest period is necessary. However, the application of EOs is limited due to low water solubility, high vapor pressure and physical and chemical instability. In the current study, thyme (*Thymus vulgaris L.*) and peppermint (*Mentha longifolia*) EOs were extracted, and their nanoemulsion prepared by the spontaneous emulsification method. In the next step, layer-by-layer method was applied for coating of strawberries fruit surface with the prepared nanoemulsions and with carboxymethyl cellulose (CMC). The quality attributes and post-harvest wastes of fruits were evaluated during storage period at 0, 3, 6, 9 and 12 days. According to the results, the combination of EOs nanoemulsion with CMC decreased fruit microbial growth during the storage period. The decay index of the control sample, nanoemulsion of peppermint EO 0.5% + CMC 0.5%, and nanoemulsion of thyme EO 0.5% + CMC 0.5% were 25, 16.7, and 13.3%; respectively. Also, the samples coated with nanoemulsion of EOs with CMC had lower weight loss percentage as well as firmer texture than strawberries without coating (control treatment). On the other hand, antioxidant activity and soluble solid content of coated fruits were better retained than the control sample. In general, the treatments have a high potential to maintain fruit quality and decrease postharvest losses of strawberry fruit.

**Keywords:** Postharvest loss, Spontaneous Nano emulsification, Layer-by-Layer, Thyme, Peppermint

## کاربرد نانوامولسیون اسانس آویشن باغی و پونه همراه با پوشش

### کربوکسی متیل سلولز بر عمر پس از برداشت توت فرنگی

زهرا جوانمردی<sup>۱</sup>، محمود کوشش صبا<sup>۱\*</sup>، جهانشیر امینی<sup>۲</sup> و هیمن نوربخش<sup>۳</sup>

۱. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج،

ایران

۲. گروه گیاه پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

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

سنندج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۷/۱۰ - تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۳ - تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۹)

چکیده: میوه توت فرنگی به عوامل قارچی عمر پس از برداشت حساس بوده و عمر کوتاهی دارد. از این رو استفاده از روش های ایمن همانند اسانس های گیاهی و پوشش های خوراکی جهت کنترل پوسیدگی پس از برداشت امری ضروری می باشد. البته استفاده از اسانس ها به دلیل محلولیت پایین در آب، فشار بخار بالا و ناپایداری فیزیکی و شیمیایی با محدودیت هایی همراه است. در این راستا، پس از استخراج اسانس آویشن باغی و پونه نانوامولسیون آن ها به روش خود بخودی تهیه گردید و تأثیر آن ها با پوشش کربوکسی متیل سلولز (CMC) به روش لایه به لایه روی برخی خصوصیات کیفی و ضایعات پس از برداشت میوه توت فرنگی طی دوره انبодاری در روزهای صفر، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ارزیابی گردید. طبق نتایج، تیمارهای ترکیبی نانوامولسیون اسانس آویشن باغی و پونه به همراه پوشش CMC سبب کاهش رشد میکروبی میوه شدند. شاخص پوسیدگی نمونه شاهد در روز آخر ۲۵ درصد مشاهده شد، در حالی که در تیمار نانوامولسیون حاوی اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد و نانوامولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد، به ترتیب، ۱۶/۷ و ۱۳/۳ درصد بود. همچنین توت فرنگی های پوشش داده شده با نانوامولسیون اسانس به همراه پوشش CMC دارای درصد کاهش وزن کمتر و بافت سفت تری نسبت به توت فرنگی های بدون پوشش دهی (تیمار شاهد) بودند. از سوی دیگر نتایج نشان داد پوشش دهی میوه های توت فرنگی سبب حفظ فعالیت ضد اکسایشی و مواد جامد محلول نسبت به تیمار شاهد شد. به طور کلی، تیمارهای مورد نظر قابلیت بالایی در حفظ کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت میوه توت فرنگی دارند.

واژه های کلیدی: ضایعات پس از برداشت، نانوامولسیون سازی خود بخودی، لایه به لایه، آویشن باغی، پونه

مقدمه

توت‌فرنگی (*Fragaria ananassa*) منبعی غنی از فیبر و ترکیبات زیست فعال مانند ویتامین‌ها، فنول‌ها و آنتوسیانین‌ها است (Gol et al., 2013) و اثرات سودمند زیادی در افزایش سلامت بدن دارد. یکی از مسائل مهم میوه توت‌فرنگی، عمر پس از برداشت کوتاه آن است. به دلیل حساسیت بالای میوه توت‌فرنگی به آسیب‌های مکانیکی و حمله میکروارگانیسم‌ها و دیگر عوامل مؤثر در کاهش کیفیت، توسعه روش‌های جدید و سالم برای کاهش پوسیدگی‌های قارچی و افزایش عمر پس از برداشت توت‌فرنگی ضروری می‌باشد (Saavedra et al., 2016). در سال‌های اخیر استفاده از ترکیبات طبیعی همچون اسانس‌های گیاهی به عنوان ایده‌ای جدید در کنترل بیماری‌های پس از برداشت محصولات باغبانی مطرح شده است. این ترکیبات نه تنها فاقد اثرات جانبی بوده، بلکه به دلیل خاصیت ضد میکروبی، سبب افزایش کیفیت و طول دوره انبارداری میوه‌ها می‌شوند (Oliveira et al., 2019). گیاهان معطر متعلق به خانواده‌های نعناعیان (Lamiaceae) و چتریان (Apiaceae) سرشار از ترکیبات ضد میکروبی و ضد اکسایشی می‌باشند (Aali et al., 2017). آویشن باغی با نام علمی (*Thymus vulgaris*) از خانواده نعناعیان می‌باشد. آویشن دارای مقدار قابل توجهی اسانس است که در کرک‌های غده‌ای ساخته و ذخیره می‌شود. عمده‌ترین ترکیب‌های اسانس آویشن باغی تیمول و کارواکرول است که دارای خواص ضد اسپاسم، ضد نفخ، ضد روماتیسم و ضد عفونی‌کننده قوی می‌باشد (Pavela et al., 2018). گیاه پونه (*Mentha longifolia*) نیز از تیره نعناعیان است. این گونه دارای برگ‌های معطر با گل‌های آبی رنگ مایل به بنفش است (Davazdahemami & Majnoonhosini, 2008). گزارش شده است که پونه حاوی اسیدهای فنلی و فلاونوئید با کیفیت بالا می‌باشد، بنابراین در صنایع

دارویی، درمانی و کشاورزی به طور گسترده‌ای کاربرد دارد (Stanisavljevic et al., 2010).

کاربرد اسانس‌ها عموماً به دلیل حلالیت پایین در آب، فشار بخار بالا و ناپایداری فیزیکی و شیمیایی با مشکلاتی همراه می‌باشد. همچنین، اسانس‌ها تأثیرات حسی (ارگانولپتیک<sup>۱</sup>) نیز دارند و در محصولات ایجاد بو و مزه می‌کنند (Meng et al., 2022). اخیراً درون‌پوشانی<sup>۲</sup> کردن اسانس‌ها با استفاده از سامانه‌های امولسیون، روش مناسبی برای کاهش این اثرات می‌باشد که با توجه به کوچک‌تر بودن اندازه ذرات نقش مهمی در افزایش پایداری و نیمه‌ی عمر ماده‌ی مؤثره و سهولت رسیدن به موضع اثر دارد. علاوه بر این، ضمن سهولت کاربرد، باعث افزایش خواص ضد میکروبی از طریق افزایش سلولی می‌شود (Gago et al., 2020). امولسیون‌سازی خودبخودی<sup>۳</sup> یکی از روش‌های کم انرژی در تولید نانو-امولسیون‌ها است که در نتیجه تیتراسیون یک واحد فاز آلی حاوی محلول همگن روغن و سورفاکتانت درون فاز پیوسته آبی تهیه می‌شود. مزیت این روش، هزینه عملیاتی پایین، تجهیزات ساده مورد استفاده و انرژی کم مورد نیاز جهت ساخت آن است (Komaiko & McClements, 2015).

Seifi et al. (2014) خاصیت ضدقارچی نانومولسیون اسانس نعنا فلفلی (*Mentha Piperita* L.)، آویشن دنیایی (*Thymus daenensis* Celak.) و مرزه خوزستانی (*Satureja khuzistanica* Jamzad) در کنترل پوسیدگی نرم توت فرنگی ناشی از *Rhizopus stolonifer* بررسی نموده و گزارش کردند که نانومولسیون اسانس در مقایسه با اسانس تنها، فعالیت ضدقارچی بیشتری نشان داد. از طرفی قدرت بازدارندگی نانومولسیون اسانس مرزه خوزستانی در مقایسه با سایر نانومولسیون‌ها بیشتر بوده است.

پوشش‌های خوراکی لایه نازکی از ترکیبات

جهت حفظ ویژگی‌های کیفی و افزایش عمر پس از برداشت محصولات مطالعه شده است. در این پژوهش با هدف افزایش ماندگاری پس از برداشت میوه توت‌فرنگی، محلول نانوامولسیون اسانس آویشن باغی (*T. vulgaris*) و پونه (*M. longifolia*) به روش خودبخودی تهیه گردید و سپس اثر این نانوامولسیون‌ها به همراه پوشش CMC با تکنیک لایه به لایه<sup>۲</sup> روی میوه توت‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت، تا در صورت حصول نتایج مطلوب، از تیمارهای پژوهش حاضر به عنوان قارچ‌کش‌های طبیعی جهت حفظ کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت میوه توت‌فرنگی استفاده گردد.

### مواد و روش‌ها

#### مواد آزمایش

اندام‌های هوایی گیاه آویشن باغی و پونه در مرحله تمام گل از استان کردستان، شهرستان دهگلان، روستای جوانمردآباد (طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۴ دقیقه و ۴۳ ثانیه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه و ۱۵ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۸۹۴ متر از سطح دریا) جمع‌آوری شده و در سایه خشک و نگهداری گردید. میوه‌های توت‌فرنگی رقم پارس با حدود ۸۰ درصد رنگ‌گیری قرمز در اوایل صبح ۱۳ آبان ماه سال ۱۳۹۸ به صورت تصادفی از یک مزرعه‌ای واقع در روستای گزنه از توابع شهرستان سنندج برداشت و بلافاصله به دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان منتقل گردید. میوه‌ها تا زمان اعمال تیمارها در دمای ۴ درجه سلسیوس در داخل سردخانه دانشکده کشاورزی نگهداری گردید. اسید گالیک، CMC و Tween 80 از شرکت سیگما-آلد ریچ (آمریکا) و PDA<sup>۳</sup> از شرکت کیولب (کانادا) تهیه گردید. سایر مواد شیمیایی با درجه خلوص آزمایشگاهی از شرکت مرک (آلمان) تهیه گردیدند.

#### تهیه اسانس گیاهی

خوراکی می‌باشند که می‌توانند فعالیت‌های تنفسی و کیفیت فراورده را با ایجاد مانعی در مقابل انتقال رطوبت، اکسیژن و دی‌اکسید کربن تحت تأثیر قرار دهند. همچنین روی برخی خصوصیات ظاهری مانند رنگ، جلا و شفافیت محصول اثر مثبتی می‌گذارند (Sogvar et al., 2016). کربوکسی متیل سلولز (CMC<sup>۱</sup>) یکی از مناسب‌ترین پلیمرهای پلی ساکارید است که قابلیت انحلال در آب را دارد و به دلیل ویژگی‌های جذاب آن مانند توانایی عالی در شکل‌گیری فیلم، در دسترس بودن، تجزیه بیولوژیکی و سازگاری زیست‌تخریب‌پذیر می‌تواند برای تولید یک فیلم و یا پوشش مستحکم، انعطاف‌پذیر و تخریب‌پذیر از آن استفاده شود (Arnon et al., 2014).

پوشش‌های خوراکی با کنترل فرآیندهای فیزیولوژیکی و رشد میکروارگانیسم‌ها، سبب به تأخیر انداختن تنفس، فرآیند رسیدن، کاهش وزن و قهوه‌ای شدن آنزیمی و حفظ سفتی، درخشندگی و ارزش غذایی میوه‌ها و سبزی‌ها می‌شوند (Zúñiga et al., 2012). کاربرد پوشش CMC در میوه توت‌فرنگی (Gol et al., 2013)، هویج (Oluwaseun et al., 2013) و برش‌های سیب (Koushesh Saba & Sogvar, 2016) سبب حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی آن‌ها شده است. طی انبارداری میوه هلو استفاده از CMC و تیمار ترکیبی CMC و اشعه گاما از بروز بیماری و پوسیدگی جلوگیری کرده و باعث حفظ سفتی بافت میوه و کاهش افت وزن شده است (Hussain et al., 2016). همچنین کاربرد پوشش کیتوزان با روغن لیمو روی میوه توت‌فرنگی منجر به افزایش عمر انبارمانی این میوه تا ۱۴ روز در دمای ۵ درجه سلسیوس شده است (Perdones et al., 2012).

از تیمار نانوامولسیون اسانس و کربوکسی متیل سلولز در پس از برداشت به صورت لایه به لایه استفاده نشده است، اما استفاده از آن‌ها به صورت ترکیب یا مجزا

3. Potato dextrose agar

1. Carboxymethyl cellulose  
2. Layer-by-Layer

## تهیه محلول CMC

به منظور تهیه محلول نیم درصد CMC، مقدار ۰/۵ گرم از ماده CMC وزن گردید و پس از اضافه نمودن آب مقطر به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر روی هیتر با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار داده شده و با استفاده از مگنت تا زمان حل شدن کامل همزده شد. محلول تهیه شده به مدت دو ساعت در دمای اتاق تا سرد شدن کامل قرار داده شد.

## اعمال تیمارها

برای این منظور از میوه‌های سالم و عاری از هر گونه آسیب مکانیکی و یکسان از نظر رنگ و اندازه استفاده گردید و پس از شستشو با آب مقطر سترون جهت اعمال تیمارها به ۳ گروه تقسیم شدند. گروه اول میوه‌های شاهد بوده که تیماری دریافت نکردند. میوه‌های توت‌فرنگی گروه دوم و سوم به مدت ۳۰ ثانیه در دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) به ترتیب در تیمارهای نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد (NanoEm-EOMe) 0.5% و نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد (NanoEm-EOTh 0.5%) قرار گرفته سپس هر دو گروه در تیمار CMC ۰/۵ درصد به مدت ۳۰ ثانیه غوطه‌ور شدند. سپس میوه‌ها به مدت یک ساعت جهت خشک شدن در دمای اتاق نگهداری شدند. میوه‌های هر تیمار در ۱۸ ظرف پلی استایرینی به صورت یکنواخت توزیع گردید. میوه‌ها به مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سلسیوس و در رطوبت ۷۵ درصد در سردخانه نگهداری شدند، نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری برخی از خصوصیات کیفی و ضایعات پس از برداشت توت‌فرنگی طی روزهای ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲ انجام گردید (روز صفر روز برداشت از مزرعه). در هر زمان نمونه‌برداری، برای هر تیمار سه بسته میوه به عنوان سه تکرار مورد استفاده قرار گرفت.

## ارزیابی کپک و مخمر

به منظور ارزیابی کپک و مخمرهای کل، بلافاصله پس از باز کردن بسته‌ها مقدار ۱۰ گرم از سطح میوه‌های موجود در هر تکرار با ۹۰ میلی‌لیتر آب پپتون سترون

در این پژوهش، اسانس‌گیری به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر (Clevenger) صورت گرفت. مقدار ۵۰ گرم از ماده‌ی خشک گیاهی آسیاب شده با ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر داخل بالن دستگاه ریخته شد و به مدت ۳ ساعت تقطیر گردید. اسانس حاصل را در ظروف شیشه‌ای تیره ریخته و مقداری سولفات سدیم خشک جهت آگیری به آن اضافه شد. سپس اسانس تا زمان انجام آزمون زیستی در دمای ۴ درجه سلسیوس درون یخچال نگهداری شد (Marandi, Soylu et al., 2010; et al., 2010).

## تهیه محلول نانومولسیون اسانس‌ها

نانومولسیون‌ها از ترکیب سه جزء فاز آبی، اسانس و امولسیفایر به روش خودبخودی (به ترتیب با نسبت ۴:۲:۹۴) همراه با تیتراسیون فاز آلی درون فاز آبی ساخته شدند (Anton & Vandamme, 2009; Komaiko & McClements, 2015). آزمایش در داخل یک بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری و در دمای اتاق انجام گرفت. ابتدا فاز روغنی با اختلاط اسانس و Tween 80 همراه با همزنی مناسب به مدت ۱ ساعت با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه توسط همزن مغناطیسی مخلوط و همگن گردید. سپس مخلوط فاز روغنی آماده شده به صورت قطره قطره و با سرعت ۰/۵ میلی‌لیتر در دقیقه به فاز آبی (حاوی آب مقطر) اضافه و با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه توسط همزن مغناطیسی همزنی شد. پس از اضافه کردن کامل فاز روغنی، اجازه داده شد همزنی نانومولسیون تهیه شده به مدت ۶۰ دقیقه و با سرعت ۱۲۰۰ دور در دقیقه ادامه پیدا کند.

## تعیین اندازه ذره‌ای نانومولسیون‌ها

در این پژوهش شاخص توزیع اندازه ذرات (PdI) و اندازه متوسط ذرات (Z-average) نانومولسیون‌های مورد استفاده با دستگاه پراکندگی نور دینامیکی<sup>۱</sup> (DLS) مدل Nano ZS ZEN 3600 ساخت شرکت Malvern کشور انگلستان تعیین گردید.

در طول دوره نگهداری با استفاده از رابطه (۲) طبق استاندارد (1995) AOAC<sup>۲</sup> محاسبه گردید.

(رابطه ۲)

وزن اولیه / (وزن ثانویه - وزن اولیه) × ۱۰۰ = درصد کاهش وزن

اندازه‌گیری سفتی بافت میوه

جهت اندازه‌گیری سفتی بافت میوه از دستگاه بافت‌سنج سنتام (مدل STM-1، ساخت ایران) با میله‌ای با سر محدب و قطر ۸ میلی‌متر و حرکت با سرعت ثابت ۲۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده شد. نفوذ میله به داخل میوه تا عمق ۸ میلی‌متر بود. برای این کار در هر زمان اندازه‌گیری سفتی از دو طرف تمام ۵ میوه هر تکرار برای اندازه‌گیری سفتی استفاده گردید. در نهایت میانگین اندازه‌گیری هر تیمار بر حسب نیوتن (N) بیان گردید.

اندازه‌گیری مواد جامد محلول

در هر زمان نمونه‌برداری، از میوه‌های موجود در هر تکرار دو برش از دو طرف جدا گردید و آب آن‌ها با کمک دست تهیه شد. از آب میوه موردنظر پس از صاف کردن جهت اندازه‌گیری مواد جامد محلول، اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث و پتانسیل هیدروژنی (pH) استفاده گردید. به منظور اندازه‌گیری مواد جامد محلول، یک یا دو قطره از آب میوه صاف شده بر روی منشور انتشاردهنده دستگاه شکست سنج<sup>۳</sup> قرار داده شد. اعداد نشان داده شده توسط دستگاه بر حسب درجه بریکس (°Brix) گزارش گردید.

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون و pH آب میوه

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون با تیتر کردن محلولی از ۳ میلی‌لیتر آب میوه و ۲۷ میلی‌لیتر آب مقطر با محلول سدیم هیدروکسید ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۱ الی ۸/۲ انجام شد و نتایج بر حسب درصد اسید سیتریک محاسبه گردید (Selcuk and Erkan, 2015):

درصد اسیدیته قابل تیتراسیون = ۱۰۰ × (نرمالیت

۰/۰۹ درصد (وزنی - حجمی) مخلوط و به عنوان غلظت ۱۰<sup>-۱</sup> در نظر گرفته شد. برای تهیه غلظت‌های ۱۰<sup>-۲</sup> و ۱۰<sup>-۳</sup> از این محلول استفاده گردید. جهت شمارش کپک و مخمرهای کل از روش کشت سطحی و محیط کشت PDA (Potato dextrose agar) استفاده گردید. همه پتری دیش‌ها به صورت وارونه و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در داخل انکوباتور نگهداری شدند. در این آزمایش برای هر تکرار ۳ پتری دیش در نظر گرفته شد. پس از شمارش تعداد کلنی‌های کپک و مخمرهای کل به صورت چشمی، نتایج به صورت لگاریتم تعداد واحد کلنی میکروارگانیسم‌ها در هر گرم<sup>۱</sup> میوه تر گزارش شد (Sogvar et al., 2016).

اندازه‌گیری شاخص پوسیدگی

اندازه‌گیری میزان شاخص پوسیدگی در طول دوره نگهداری طبق روش (Zhu & Zhou, 2007) انجام گرفت. به این صورت که از ۵ میوه موجود در هر تکرار با توجه به میزان آسیب (نرم‌شدگی، سیاه‌شدگی و رشد میکروارگانیسم‌ها) ایجاد شده در ۵ درجه ارزیابی شدند (صفر: میوه‌های بدون هیچ گونه آسیب، ۱: میوه‌های با آسیب کمتر از یک‌چهارم، ۲: میوه‌های با آسیب بین یک‌چهارم تا دوچهارم، ۳: میوه‌های با آسیب بین دوچهارم تا سه‌چهارم، ۴: میوه‌های با آسیب بیشتر از سه‌چهارم). در نهایت نتایج با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید:

(رابطه ۱)

$$\text{درصد شاخص پوسیدگی} = \frac{(\text{درجه} \times \text{تعداد میوه آسیب‌دیده})}{(5 \times 5)} \times 100 =$$

اندازه‌گیری کاهش وزن

به منظور اندازه‌گیری کاهش وزن، بسته‌های میوه قبل از نگهداری با ترازوی دیجیتالی به عنوان وزن اولیه توزین گردید. همچنین در روزهای اندازه‌گیری نیز بسته‌های مربوط به آن زمان پس از خروج از سردخانه به عنوان وزن ثانویه، وزن شدند. در نهایت درصد کاهش وزن میوه

Singleton *et al.* (1999) انجام گرفت. به طور کلی، در بستری از یخ به ۱۰ میکرولیتر از استاندارد گالیک اسید و یا عصاره استخراجی، ۴۵۰ میکرولیتر معرف فولین-سیوکالتو ۱۰ درصد (حجمی - حجمی) رقیق شده با آب مقطر اضافه گردید و به مدت ۱۵ دقیقه در تاریکی قرار داده شد. پس از این زمان ۳۳۰ میکرولیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد (وزنی - حجمی) اضافه گردید. جذب محلول حاصل پس از قرار گرفتن در تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سلسیوس در طول موج ۷۶۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف نورسنج (Unico, UV-2100, USA) اندازه‌گیری شد نتایج بر حسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم تر میوه براساس استاندارد گالیک اسید گزارش گردید. برای تهیه منحنی استاندارد از غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید گالیک در متانول اسیدی استفاده گردید.

#### اندازه‌گیری فلاونوئید کل

اندازه‌گیری محتوای فلاونوئید کل در میوه توت‌فرنگی مطابق با روش Zhishen *et al.* (1999) انجام گرفت. به طور کلی، ۳۰۰ میکرولیتر از استاندارد کاتکین<sup>۱</sup> و یا عصاره استخراجی با ۱۲۸۰ میکرولیتر آب دو بار تقطیر و ۶۰ میکرولیتر نیتريت سدیم ۵ درصد (وزنی - حجمی) ورتکس و پس از ۵ دقیقه ۶۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد (وزنی - حجمی) نیز به آن افزوده و ورتکس گردید. پس از گذشت ۶ دقیقه دیگر نیز ۴۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم ۱ مولار اضافه و ورتکس شد. در نهایت جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف نورسنج (Unico, UV-2100, USA) اندازه‌گیری شد. نتایج بر حسب میلی‌گرم کاتکین در ۱۰۰ گرم تر میوه طبق استاندارد کاتکین گزارش گردید. برای تهیه منحنی استاندارد از غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر کاتچین در متانول اسیدی استفاده گردید.

سود مصرفی × حجم سود مصرفی × میلی‌اکی‌والان گرم اسید غالب) / حجم آب‌میوه مصرفی  
اندازه‌گیری pH آب‌میوه صاف شده با استفاده از pH سنج (Metrohm, 827, Switzerland) صورت گرفت.

#### اندازه‌گیری ویتامین ث

اندازه‌گیری ویتامین ث به روش تیتراسیون انجام شد. به این صورت که ۲ میلی‌لیتر از آب میوه صاف شده را با ۲ میلی‌لیتر از محلول پایدار کننده تری کلرو استیک اسید (۵ درصد) ترکیب شد و سپس به وسیله معرف ۲ و ۶ دی کلروفنل ایندوفنل<sup>۱</sup> و با استفاده از همزن مغناطیسی، تا زمان تغییر رنگ پایدار به صورتی عمل تیتراسیون ادامه یافت، میزان ویتامین ث براساس حجم ایندوفنل مصرفی اندازه‌گیری شد و نتایج بر حسب میلی‌گرم اسید آسکوربیک در ۱۰۰ گرم تر میوه براساس استاندارد اسید آسکوربیک گزارش گردید. برای تهیه منحنی استاندارد از غلظت‌های ۰، ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ میلی‌گرم در لیتر اسید آسکوربیک در آب مقطر استفاده گردید (AOAC, 2002).

استخراج عصاره جهت اندازه‌گیری فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت ضداکسایشی کل

۰/۵ گرم از بافت میوه منجمد شده با ازت مایع با ۲ میلی‌لیتر محلول سرد متانول اسیدی همگن (متانول + آب مقطر + اسید کلریدریک ۳۵ درصد به ترتیب به نسبت ۸۰ به ۱۹ به ۱ (حجمی - حجمی - حجمی) و به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس محلول حاصل در دمای ۴ درجه سلسیوس برای ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. از محلول شناور رویی جهت اندازه‌گیری فنول کل، فلاونوئید کل و فعالیت ضداکسایشی کل استفاده گردید (Wojdylo *et al.*, 2009).

#### اندازه‌گیری فنول کل

اندازه‌گیری فنول کل مطابق با روش فولین - سیوکالتو<sup>۲</sup>

1. 2,6-dichlorophenolindophenol  
2. Folin-Ciocalteu  
3. Catechin

و (۵) محاسبه گردید:

(رابطه ۴)

$$A = (A_{510} - A_{700})_{PH1} - (A_{510} - A_{700})_{PH4.5}$$

(رابطه ۵)

$$TAC = (A \times MW \times DF \times 1000) / \varepsilon$$

A: اختلاف جذب بافرها

MW: وزن مولکولی پلارگونیدین تری گلیکوزید

(۴۳۳/۳۹ گرم در مول)

DF: عامل رقت

ε: ضریب جذب مولار پلارگونیدین تری گلیکوزید

(۲۲۴۰۰)

تجزیه آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل با دو عامل تیمار و زمان در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام گردید. عامل اول تیمارها در ۳ سطح (نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد، نانوامولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد و شاهد) و عامل دوم زمان نگهداری در ۵ سطح (روزهای ۰، ۳، ۶، ۹ و ۱۲) بودند. تجزیه آماری داده‌ها با نرم افزار (MSTAT-C) (MSTAT-C) (version 2.10, Michigan State University) انجام شد و پس از بررسی نتایج جداول ANOVA<sup>۳</sup> مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی داری (LSD) در سطح یک یا پنج درصد صورت گرفت و جهت رسم نمودارها از نرم افزار Excel 2013 استفاده شد.

## نتایج و بحث

اندازه ذرات نانوامولسیون

نتایج آزمون DLS نشان داد که میانگین اندازه ذرات نانو-امولسیون اسانس آویشن باغی و پونه به ترتیب برابر با ۷۳/۳ و ۶۰/۵ نانومتر بود. همچنین شاخص توزیع اندازه-ی ذرات<sup>۴</sup> نانوامولسیون اسانس آویشن باغی ۰/۴ و برای نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ به دست آمد (شکل ۱).

اندازه‌گیری فعالیت ضداکسایشی کل

بررسی فعالیت ضداکسایشی کل با استفاده از ماده مهارکننده رادیکال (DPPH) ۱، براساس روش (2009) Patras et al. انجام گرفت. ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراجی به ۵۰۰ میکرولیتر از محلول متانولی ۰/۰۱ درصد DPPH اضافه و ورتکس گردید. در نهایت جذب نمونه‌ها پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در تاریکی در دمای اتاق در طول موج ۵۱۵ نانومتر با استفاده از دستگاه طیف نورسنج (Unico, UV - 2100, USA) قرائت شد. نتایج با استفاده از رابطه (۳) به صورت درصد بازدارندگی DPPH گزارش گردید.

(رابطه ۳)

= درصد بازدارندگی DPPH

(جذب نمونه شاهد) / (جذب نمونه اصلی - جذب نمونه شاهد) × ۱۰۰

نمونه شاهد: محلول DPPH

نمونه اصلی: محلول DPPH و عصاره استخراجی

اندازه‌گیری آنتوسیانین کل

محتوای آنتوسیانین کل با استفاده از روش اختلاف pH اندازه‌گیری شد (Giusti & Wrolstad, 1993). به این منظور ۰/۶ گرم بافت منجمد شده با ازت مایع در ۳ میلی‌گرم از هر یک بافرهای pH=۱ و pH=۴/۵ به صورت جداگانه همگن شده و به مدت ۱۵ دقیقه در ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. میزان جذب محلول شناور رویی برای هر دو بافر با استفاده از دستگاه طیف نورسنج (Unico, UV-2100, USA) در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. جهت واسنجی<sup>۲</sup> دستگاه از هر بافر به صورت جداگانه استفاده گردید. نتایج به صورت میلی‌گرم پلارگونیدین تری گلیکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه گزارش گردید.

مقدار آنتوسیانین کل با استفاده از رابطه‌های (۴)



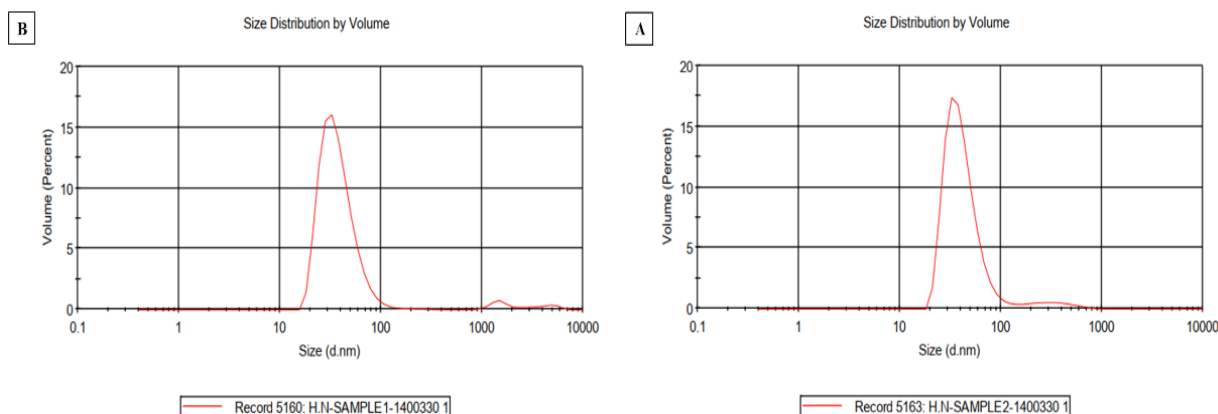
زیست دسترسی ترکیبات فرآسودمند می‌شوند ( Snoussi *et al.*, 2022). در جدول ۱ متوسط اندازه ذرات نانوامولسیون مطالعه حاضر با سایر روش‌های بکار برده شده جهت تولید نانوامولسیون اسانس‌های روغنی مقایسه شده است.

همان‌طور که نتایج DLS نشان می‌دهد تولید نانو-امولسیون با موفقیت توسط روش خودبخودی انجام گرفته است. نانوامولسیون‌های روغن در آب با اندازه قطرات کوچکتر از ۲۰۰ نانومتر به شکل قابل توجهی کارآمد هستند و باعث بهبود پراکندگی، پایداری و

جدول ۱- مقایسه اندازه قطرات نانوامولسیون‌های تولید شده با سایر روش‌های مطالعه شده و مقایسه آن با نتایج پژوهش حاضر

Table 1. Comparison of droplet size of nanoemulsions produced in previous study with the results of the present study

روش تولید	خصوصیات و اندازه ذرات نانوامولسیون	مقایسه با مطالعه حاضر
هموژنایزر اولتراسوند (Ozogul <i>et al.</i> , 2017)	اندازه قطرات نانوامولسیون آویشن تولید شده برابر با ۱۱۲ نانومتر گزارش شده است. در این مطالعه از Tween 80 و با غلظت ۳ درصد به عنوان سورفاکتانت استفاده شده است.	اولتراسونیک هموژنایزر یکی از کارآمدترین روش‌های تولید نانوامولسیون‌ها و نانوذرات است. عیب اصلی این روش انرژی بر بودن آن و هزینه بالای تجهیزات مصرفی است. در مطالعه حاضر با استفاده از روش امولسیون-سازی خودبخودی و سورفاکتانت مشابه، نانوامولسیونی تولید شده است که از لحاظ اندازه قطرات و پایداری با این روش قابل مقایسه است.
هموژنایزر دور بالا (اولتراتوراکس) (Wan <i>et al.</i> , 2019)	متوسط اندازه قطرات نانوامولسیون تولید شده در غلظت‌های مختلف امولسیفایرهای طبیعی آلبومین سرم گاوی، ساپونین و لیزولیستین سویا (۰,۵ تا ۱/۵ درصد وزنی/حجمی) برابر با ۱۷۷ تا ۵۰۵ نانومتر گزارش شد.	مزیت مطالعه انجام شده به‌گیری از امولسیفایرهای طبیعی است. اندازه قطرات گزارش شده به نسبت و مخصوصاً در غلظت‌های پایین امولسیفایر بالا بوده است. عیب اصلی این روش، استفاده از روش‌های انرژی بر همگن‌سازی قطرات فاز روغنی است.
روش آب مادون بحرانی <sup>۱</sup> (Ahmadi & Jafarizadeh-Malmiri, 2020)	در بهینه‌ترین شرایط اندازه قطرات نانوامولسیون و PDI به ترتیب برابر با ۱۸۴ نانومتر و ۰,۵۴ بوده است.	اندازه قطرات نانوامولسیون تولید شده (۷۳ نانومتر) در مطالعه حاضر پایینتر بوده است. همچنین در این مطالعه میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۲۴ درصد گزارش شده است که نسبت به مطالعه حاضر بسیار کمتر است.
ترکیب هموژنایزر دور بالا و پروب اولتراسوند (Zhang <i>et al.</i> , 2021)	در این مطالعه ابتدا امولسیون اولیه (ماکروامولسیون) با استفاده از دستگاه هموژنایزر در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه تهیه گردید، سپس امولسیون تهیه شده جهت تولید نانوامولسیون نهایی تحت تیمار اولتراسونیک پروب‌دار در توان ۴۵۰ وات قرار گرفت. متوسط اندازه ذرات گزارش شده در غلظت ۲ درصد اسانس روغنی برابر با ۴۷ نانومتر بوده است.	استفاده ترکیبی از دو روش انرژی بر که دو مرحله هموژنایزاسیون را انجام می‌دهند، از لحاظ تولید نانو قطرات کوچک‌تر کاربردی است اما عملیاتی کردن این روش ترکیبی با توجه به هزینه سنگین تجهیزات بسیار دشوار است.
وارونگی فاز امولسیونی (EPI) (Sampaio <i>et al.</i> , 2022)	متوسط اندازه قطرات نانوامولسیون اسانس روغنی آویشن تولیدی در غلظت‌های متفاوت سورفاکتانت و اسانس روغنی برابر با ۱۸۰ تا ۲۰۰ نانومتر بوده است.	این روش نیز بر پایه تولید خودبخودی و کم انرژی است. اندازه قطرات نانوامولسیون تولید شده در آن بیشتر از مطالعه حاضر است.



شکل ۱- نمودار توزیع اندازه ذرات نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد (A) و نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد (B).

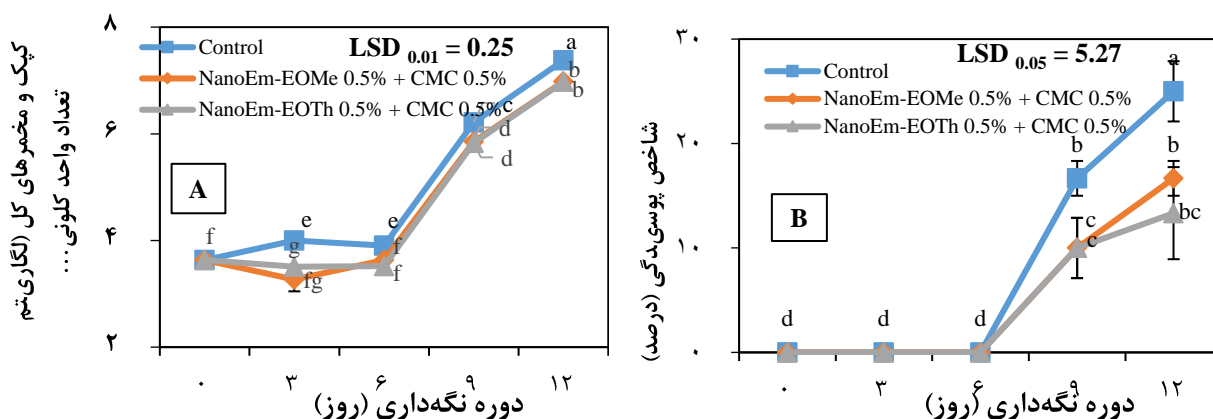
Figure 1- Particle size distribution diagram of 0.5% thyme essential oil nanoemulsion (A) and 0.5% peppermint essential oil nanoemulsion (B)

نفوذ اکسیژن به داخل بافت محصول و در نتیجه آن کاهش سرعت تنفس، موجب کاهش فساد و آلودگی میکروبی میوه‌ها و سبزی‌ها طی دوره نگهداری می‌شوند (Sogvar *et al.*, 2016).

Enayatifard *et al.* (2021) فعالیت ضد میکروبی بیشتر، نانومولسیون اسانس مرزنجوش (*Origanum vulgare L.*) تهیه شده با روش انرژی بالا در مقایسه با امولسیون آن علیه چند باکتری بیماری‌زا و کپک و مخمر عامل فساد محصولات غذایی را گزارش کردند. Nikravan *et al.* (2021) نیز فعالیت ضدباکتری و ضداکسایشی بیشتر نانومولسیون اسانس گیاه لعل کوهستان (*Oliveria decumbens Vent.*) را در مقایسه با فرم آزاد آن را گزارش کردند. نتایج تحقیقات دیگر در خصوص استفاده از اسانس نعنا همراه با پوشش‌های کیتوزان و کربوکسی متیل سلولز (CMC) به منظور جلوگیری از رشد باکتری *Listeria monocytogenes* در میوه توت‌فرنگی نشان می‌دهد که تیمار بکار رفته باعث کاهش عوامل میکروبی (شمارش کل باکتری‌ها و کپک و مخمر)، حفظ صفت‌های فیزیکوشیمیایی (کاهش وزن، اسیدیته و pH) و خصوصیات حسی (ظاهر، رنگ، بافت و پذیرش کلی) در طول ۱۲ روز انبارمانی شده است (Shahbazi *et al.*, 2018).

#### ارزیابی کپک و مخمر

جمعیت کپک و مخمرهای کل میوه‌های توت‌فرنگی در طول دوره نگهداری در تمام تیمارها روند افزایشی را نشان داد. اما این افزایش به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیشتر بود (افزایش از  $3/6$  تا  $7/4 \text{ Log CFU/g}$ ) و بین تیمارهای حاوی نانومولسیون اسانس تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). یکی از ویژگی‌های مهم اسانس و ترکیبات آن خاصیت آب‌گریزی آن‌ها است که سبب نفوذ آن‌ها در لپیدهای غشای سلولی و افزایش نفوذپذیری آن می‌گردد که این امر موجب اختلال در کلیه فعالیت‌های حیاتی وابسته به غشای سلولی عوامل میکروبی سطح میوه و خروج یون‌ها، ترکیب‌های حیاتی و در نتیجه مرگ سلول خواهد شد. عملکرد ضد-میکروبی اسانس‌های گیاهی و ترکیب‌های مونوترپنوئیدی آن‌ها، با اثرات سمی روی ساختار و عملکرد غشا قابل توجیه می‌باشد (Sadeghi *et al.*, 2015). علاوه بر این اسانس‌های گیاهی با تأخیر در کاهش سفتی و کاهش روند پیری بافت میوه به‌طور غیر مستقیم حساسیت بافت را نسبت به میکروارگانیسم‌ها کاهش می‌دهند (Romanazzi *et al.*, 2013). از طرف دیگر پوشش‌های خوراکی با ایجاد ممانعت فیزیکی در برابر



شکل ۲- تغییرات جمعیت کپک و مخمرهای کل (A) و شاخص پوسیدگی (B) در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با شاهد (Control)، نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد (NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%)، نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد (NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%) در دمای ۴ درجه سلسیوس. بارهای روی میانگین‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد. حروف متشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ برای کپک و مخمرهای کل و ۵٪ درصد برای شاخص پوسیدگی.

Figure 2- Changes in total yeast and mold populations (A) and decay index (B) in strawberry fruits treated with nanoemulsion of thyme and peppermint essential oils with carboxymethylcellulose by layer-by-layer method during 12 days storage at 4 °C. Bars on means represents ± standard errors

که این اثر احتمالاً به دلیل افزایش خاصیت ضد میکروبی اسانس آویشن می‌باشد. در پژوهشی استفاده از ترکیب کیتوزان با اسانس آویشن باغی سبب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی فیلم شد. از طرف دیگر، فعالیت ضد- میکروبی فیلم را در برابر باکتری‌های گرم منفی (*Escherichia coli spp.*) و گرم مثبت (*Bacillus subtilis spp.*) بهبود بخشید (Elshamy et al., 2021). یکی از مکانیسم‌های عمل نانومولسیون در از بین بردن میکروارگانیسم‌ها به این صورت است که ذرات نانو-امولسیون جهت ایجاد پیوند به‌طور ترمودینامیکی به سمت موجودات دارای لیپید حرکت می‌کنند. این پیوند با کشش الکترواستاتیک بین بار کاتیونی نانومولسیون و بار آنیونی میکروارگانیسم‌ها افزایش می‌یابد. زمانی که پیوند بین نانومولسیون با میکروارگانیسم ایجاد شد، انرژی در دام افتاده‌ی آن آزاد می‌شود و غشاء لیپیدی میکروارگانیسم از بین می‌رود و در نهایت مرگ میکروارگانیسم اتفاق می‌افتد (Seifi et al., 2014).

#### درصد کاهش وزن

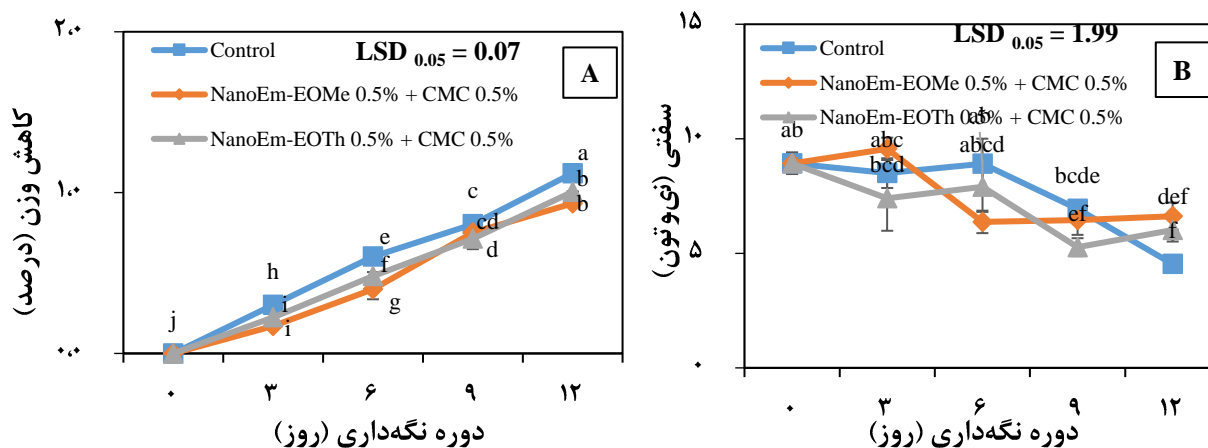
به‌طور معمول با افزایش دوره نگهداری درصد کاهش وزن میوه‌ها افزایش یافت. اما این افزایش به‌طور معنی-داری در نمونه‌های شاهد بیشتر بود. به‌طوری که تیمار

#### شاخص پوسیدگی

اولین علائم مربوط به شاخص پوسیدگی در روز نهم از دوره نگهداری در همه تیمارها مشاهده شد. سپس پوسیدگی میوه در نمونه‌های شاهد با سرعت بیشتری افزایش یافت. میانگین شاخص پوسیدگی در پایان دوره نگهداری در میوه‌های تیمار شده با نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد، نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد و شاهد به ترتیب ۱۶/۷، ۱۳/۳ و ۲۵ درصد بود (شکل ۲). حفظ خصوصیات کیفی مانند کاهش وزن، سفتی و کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها می‌تواند باعث کاهش ضایعات پس از برداشت شود (Sogvar et al., 2016). همچنین کاهش ترکیبات ضد اکسایشی سبب کاهش کیفیت میوه توت‌فرنگی و افزایش رشد میکروارگانیسم‌ها و نیز پدیده-هایی همانند قهوه‌ای شدن آنزیمی می‌شود (Ayala-Zavala et al., 2004). (Zavala et al., 2004). (Kodituwakku et al., 2020). دریافتند که اسانس پوست دارچین قابلیت کنترل پوسیدگی میوه انبه (ایجاد شده توسط *Phomopsis sp.*) را دارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش‌دهی میوه‌های توت‌فرنگی با نانو-امولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد از افزایش پوسیدگی طی دوره نگهداری جلوگیری کرد

زخمهای کوچک اثرات مطلوبی در کم کردن کاهش وزن دارند (Hernandez-Munos *et al.*, 2008). به طور کلی اثر مطلوب پوشش‌های خوراکی براساس خاصیت هیگروسکوپی است که همانند سدی بین سطح میوه و محیط اطراف قرار می‌گیرد. بنابراین تبادلات گازی را کاهش می‌دهد (Xu *et al.*, 2016). همچنین اسانس‌های گیاهی با کاهش شدت تنفس و به تأخیر انداختن پیری سبب کنترل کاهش وزن محصول می‌شوند (Gao *et al.*, 2013). همان‌طور که در بخش‌های قبلی ذکر شد، فعالیت ضدقارچی اسانس‌های گیاهی در آزمایش‌های متعددی اثبات شده است. در این پژوهش نیز تیمارهای حاوی نانوامولسیون اسانس سرعت رشد کپک و مخمرهای کل را کاهش دادند. بنابراین به نظر می‌رسد اثر تیمارها بر کاهش وزن احتمالاً به دلیل جلوگیری از رشد عوامل بیماری‌زا در سطح میوه نیز باشد. (Dong & Wang, 2017) گزارش کردند که کاربرد پوشش CMC به همراه اسانس سیر در میوه توت‌فرنگی پوسیدگی را کنترل و باعث کاهش افت وزن طی دوره نگهداری می‌شود.

شاهد پس از ۱۲ روز انبارداری بیشترین درصد کاهش وزن (۱/۱ درصد) را داشت و اما بین دو تیمار حاوی نانوامولسیون اسانس تفاوتی مشاهده نشد (شکل ۳). با افزایش مدت انبارداری درصد کاهش وزن محصولات به علت تنفس، تبخیر و تعرق رطوبت از سطح میوه به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Vogler and Ernst, 1999) که نتایج این پژوهش نیز به همین گونه بود (شکل ۳). ننگه-داری در دمای پایین و کاهش اختلاف فشار بخار آب، بین بافت میوه و محیط اطراف آن سبب کاهش از دست دهی آب از سطح میوه می‌شود (Hernandez-Munos *et al.*, 2008)، از طرف دیگر شدت تنفس بالاتر، با تسریع متابولیسم بافت و پیشرفت فرایندهای رسیدگی و پیری موجب کاهش وزن میوه طی دوره نگهداری می‌گردد (Gao *et al.*, 2013). علاوه بر موارد ذکر شده، آلودگی‌های قارچی نیز از عوامل مؤثر بر کاهش وزن میوه می‌باشند (Romanazzi *et al.*, 2013). فساد میکروبی بیشتر موجب تخریب بافت و در نتیجه کاهش وزن بیشتر می‌گردد. پوشش‌های خوراکی با کاهش از دست رفتن آب و محافظت از پوست از صدمات مکانیکی و با ترمیم



شکل ۳- تغییرات درصد کاهش وزن (A) و سفتی بافت (B) در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با شاهد (Control)، نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%)، نانوامولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%) به روش لایه به لایه طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس. بارهای روی میانگین‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد. حروف متشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۵٪.

Figure 3- Changes weight loss (A) and firmness (B) in strawberry fruits treated with nanoemulsion of thyme and peppermint essential oils with carboxymethylcellulose by layer-by-layer method during 12 days storage at 4 ° C. Bars on means represents ± standard errors

## سفتی بافت میوه

میزان سفتی بافت میوه‌های توت‌فرنگی در مدت زمان انبارداری در همه تیمارها کاهش یافت. اما این کاهش به‌طور معنی‌داری در نمونه‌های شاهد بیشتر بود. پس از ۱۲ روز نگهداری بیشترین میزان سفتی بافت مربوط به میوه‌های تیمار شده با نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد و کمترین میزان سفتی بافت مربوط به تیمار شاهد که به ترتیب ۶/۶ و ۴/۵ نیوتن بودند (شکل ۳).

معمولا سفتی بافت میوه توت‌فرنگی طی دوره انبارمانی در اثر حل شدن و تخریب ترکیبات پکتینی و دیگر ترکیبات دیواره سلولی به وسیله فعالیت آنزیم‌هایی همانند پلی‌گالاکتروناز و پکتین متیل استراز کاهش می‌یابد (Caner et al., 2008). این در حالی است که در استفاده از پوشش‌های خوراکی با کاهش فعالیت آنزیم‌های دیواره سلولی و در نتیجه کاهش تولید پکتین‌های محلول و تبدیل پکتین‌های نامحلول به محلول، سفتی بافت میوه حفظ می‌گردد (Hussain et al., 2016). همچنین میزان سفتی بافت میوه به استحکام دیواره سلولی، تماس سلول‌ها با یکدیگر و فشار تورژسانس سلولی بستگی دارد (Caner et al., 2008). در تحقیقی اسانس آویشن سبب حفظ استحکام بافت میوه گیلاس شده است (Nunan et al., 1998). همچنین گزارش کرده‌اند که از دست دادن آب و تبادلات گازی در میوه‌ها توسط سلول‌های نگهبان روزنه لایه اپیدرمی کنترل می‌شود، و استفاده از پوشش روی سطح میوه در مقابل از دست رفتن آب میوه به صورت یک سد عمل می‌کند و مانع کاهش سفتی بافت در طول دوره نگهداری می‌شود (Sogvar et al., 2016) و همچنین با کاهش میزان اکسیژن ورودی سبب کاهش فعالیت آنزیم‌های مذکور می‌شود که در نتیجه‌ی آن سفتی بافت میوه حفظ می‌گردد (Hussain et al., 2016).

## مواد جامد محلول

تغییرات مواد جامد محلول در توت‌فرنگی‌های تیمار شده و شاهد طی دوره نگهداری در جدول ۱ نشان داده شده است. به طور کلی میزان مواد جامد محلول طی دوره نگهداری در میوه‌های شاهد از ۶/۵ درجه بریکس در روز برداشت به ۷/۳ درجه بریکس افزایش یافت؛ این در حالی است که در میوه‌های تیمار داده شده روند نسبتاً ثابتی داشت و اختلاف معنی‌داری در مواد جامد محلول بین روز برداشت و پایان دوره نگهداری مشاهده نشد (جدول ۱). به‌طور معمول تعادل بین میزان قندها و اسیدهای آلی تعیین‌کننده طعم توت‌فرنگی است (Pérez et al., 1999).

براساس مطالعات انجام شده، میزان مواد جامد محلول در میوه توت‌فرنگی طی دوره‌ی نگهداری افزایش و میزان اسیدیته قابل تیتراسیون کاهش می‌یابد (Pelayo et al., 2003) که دلیل آن شرکت اسیدهای آلی در فرآیند تنفس می‌باشد (Valero et al., 2006). از طرف دیگر در طول دوره نگهداری با تبدیل نشاسته به قند و یا تجزیه پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آن‌ها به مواد جامد قابل حل که در اثر فرآیند پیری و تخریب سلولی رخ می‌دهد، میزان مواد جامد محلول در میوه‌ها افزایش می‌یابد (Ben & Gaweda, 1985). یکی دیگر از دلایل افزایش مواد جامد در طول دوره نگهداری از دست دادن آب و افزایش غلظت محتویات آب میوه می‌باشد (Sayyari et al., 2009). به نظر می‌رسد اثر مطلوب نانو-امولسیون اسانس با پوشش CMC در عدم تغییرات میزان مواد جامد محلول طی دوره نگهداری مربوط به کاهش تبخیر و تعرق از سطح میوه و همچنین کاهش میزان تنفس باشد. پوشش‌های خوراکی به عنوان یک مانع در مقابل جریان هوا، اتمسفر داخل بافت را تغییر داده و باعث کاهش تنفس، تلفات آب میوه و کاهش اتیلن تولیدی شده در نتیجه سبب تثبیت مواد جامد محلول

می‌گردد (Hernandez-Muñoz *et al.*, 2008).

#### اسیدیته قابل تیتراسیون و pH

میزان اسیدیته میوه توت‌فرنگی در طول دوره انبارداری در تیمار نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد روند نسبتاً ثابتی داشت و اختلاف معنی‌داری در محتوای اسیدیته قابل تیتراسیون بین روز برداشت و پایان دوره نگهداری مشاهده نشد. اما در دو تیمار شاهد و نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد از ۰/۶ درصد به ۰/۷ درصد افزایش یافت و بین این دو تیمار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱). در مورد pH، با گذشت زمان در طول دوره نگهداری در میوه‌های پوشش داده شده و شاهد روند افزایشی مشاهده شد و در پایان دوره نگهداری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد.

معمولاً کاهش میزان اسیدهای آلی و افزایش pH طی دوره نگهداری به دلیل مصرف اسیدهای آلی مانند اسید مالیک و اسید سیتریک به عنوان سوپسترای اولیه، در فرآیند تنفس می‌باشد (Valero *et al.*, 2006). پوشش‌های خوراکی با تغییر اتمسفر ایجاد شده داخل میوه سبب کاهش میزان تنفس و متابولیسم سلولی می‌شوند. بنابراین این پوشش‌ها سرعت مصرف اسیدهای آلی را طی جریان فرآیندهای آنزیمی تنفس، کاهش می‌دهند (Hernandez-Muñoz *et al.*, 2008). پوشش برش‌های تازه میوه سیب با CMC ۰/۵ درصد همراه با اسید اسکوربیک و کلسیم کلرید سبب افزایش میزان اسیدیته و کاهش pH شده است (Koushesh Saba & Sogvar, 2016). پوشش کیتوزان با کند کردن مصرف اسیدهای آلی طی فرآیندهای آنزیمی تنفس باعث کاهش میزان تنفس، حفظ اسیدهای آلی و در نتیجه حفظ سطوح پایین pH در توت‌فرنگی‌های تیمار شده گردیده است (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008).

#### میزان آنتوسیانین کل

میزان محتوای آنتوسیانین کل در روز برداشت برابر با

۷۳/۵ میلی‌گرم پلارگونیدین تری گلیکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تازه بود و در طول دوره نگهداری میزان آنتوسیانین کل در همه تیمارها افزایش یافت. با این وجود در پایان دوره نگهداری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۱). افزایش آنتوسیانین کل می‌تواند در نتیجه‌ی افزایش فعالیت آنزیم‌های فنیل‌آلانین آمونیلایز و دی‌هیدروفلاونول ترا ردوکتاز ایجاد گردد (Li *et al.*, 2014)، یا احتمالاً این افزایش به علت نگهداری در دمای پایین و یا غلظت مناسب اکسیژن و دی‌اکسید کربن صورت گیرد (Perez-Gregorio *et al.*, 2011). گزارش شده است که در توت‌فرنگی‌های شاهد و تیمار شده با تیمول و کلسیم کلراید محتوای آنتوسیانین طی زمان انبارداری افزایش یافته است (Amal *et al.*, 2010). همچنین گزارش شده است که میزان آنتوسیانین در همه توت‌فرنگی‌های شاهد و تیمار شده با پوشش خوراکی کیتوزان در طی دوره نگهداری افزایش یافته است (Gol *et al.*, 2013).

#### میزان ویتامین ث

میزان ویتامین ث در روز برداشت برابر با ۲۹/۴ میلی‌گرم آسکوربیک اسید بر ۱۰۰ گرم وزن تازه بود و در طول دوره نگهداری میزان ویتامین ث در همه تیمارها کاهش یافت. با این وجود در پایان دوره نگهداری اختلاف معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۲). در دوره‌ی پس از برداشت عواملی از جمله شرایط نگهداری، اختلالات فیزیولوژیکی و صدمات مکانیکی میزان ویتامین ث میوه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Lee & Kader, 2000). به‌طور کلی میزان ویتامین ث طی دوره‌ی نگهداری به علت مصرف آن به عنوان دهنده الکترون به اکسیدان‌ها جهت خنثی کردن رادیکال‌های آزاد کاهش می‌یابد (Mditshwa *et al.*, 2017). همچنین کاهش ویتامین ث طی دوره‌ی انبارمانی به مصرف آن طی واکنش تنفس نسبت داده‌اند (Amal *et al.*, 2010). پوشش‌های خوراکی با بهبود بافت میوه و کاهش صدمات

میزان بودند (Vyas *et al.*, 2014). افزایش فنول کل در طول دوره نگهداری به احتمال ادامه بیوسنتز این ترکیبات در طول دوره پس از برداشت نسبت داده شده است (Sogvar *et al.*, 2016). در توت‌فرنگی‌های پوشش‌دار شده با کیتوزان ترکیبات فنولی بیشتری نسبت به میوه‌های شاهد مشاهده گردید. احتمالاً پوشش‌ها با ایجاد یک مانع در برابر تبادلات گازی سبب به تأخیر انداختن فرآیند رسیدگی و پیری می‌شود و در نتیجه کاهش کمتر ترکیبات فنولی در طول دوره نگهداری موجب می‌شود (Wang & Gao, 2013). گزارش شده است که میزان فنول کل در میوه‌های آواکادو تیمار شده با اسانس آویشن در زمان نگهداری افزایش یافته است. ترکیبات فنولی به عنوان یک مکانیسم دفاعی در برابر حمله پاتوژن‌های گیاهی عمل کرده و سبب افزایش مقاومت گیاه می‌شوند (Assis *et al.*, 2001).

#### فلاونوئید کل

فلاونوئید کل در طول دوره نگهداری در میوه‌های شاهد و پوشش داده شده روند نسبتاً ثابتی را داشت و اختلاف معنی‌داری در میزان فلاونوئید کل بین روز برداشت و پایان دوره نگهداری مشاهده نشد (جدول ۲). با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در غلظت‌های مناسب از اکسیژن جهت انجام تنفس هوازی، میزان تولید فلاونوئید نیز افزایش می‌یابد اما در غلظت‌های پایین اکسیژن از فعالیت این آنزیم کاسته می‌شود (Perez-Gregorio *et al.*, 2011). پوشش‌دهی میوه‌های توت‌فرنگی با اسانس آویشن موجب افزایش محتوای فلاونوئید کل و جذب رادیکال اکسیژن می‌شود (Wang & Gao, 2013).

مکانیکی از مصرف ویتامین ث در جهت رفع تنش و ترمیم سلول‌ها ممانعت می‌کنند. از طرف دیگر پوشش با کاهش غلظت اکسیژن ورودی و مقابله با از دست دادن آب، از اکسیداسیون ناشی از کاهش آب و فعالیت آنزیم آسکوربیک اسید اکسیداز جلوگیری می‌کند و سبب حفظ ویتامین ث در سلول‌های گیاهی می‌گردد (Hernandez-Muñoz *et al.*, 2008). گزارش شده است که میزان ویتامین ث میوه‌های گلابی پوشش یافته با شلاک<sup>۱</sup> بیشتر از میوه‌های شاهد بوده اما پوشش گلابی با CMC هیچ اثری در این مورد نداشته است (Zhou *et al.*, 2008). نتایج پژوهش ما با نتایج پژوهش (Wang & Gao, 2013) در ارتباط با کاهش میزان ویتامین ث در دوره نگهداری مشابهت دارد.

#### میزان فنول کل

میزان فنل کل میوه‌های توت‌فرنگی طی دوره نگهداری در دو تیمار شاهد و نانومولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد CMC + ۰/۵ درصد افزایش یافت و بین آن‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. اما میزان فنل کل در نمونه‌های تیمار شده با نانومولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + ۰/۵ درصد پس از ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس از ۱۲۴/۰ به ۱۱۰/۴ میلی‌گرم اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم تازه کاهش یافت (جدول ۲). محتوای ترکیبات فنولی میوه طی دوره پس از برداشت تحت تأثیر نوع رقم، درجه رسیدگی در زمان برداشت، شرایط رشد و طول دوره نگهداری و شرایط انبار قرار می‌گیرد (Valero *et al.*, 2006). میوه‌های پایایی تیمار شده با CMC ۰/۵ درصد در مقایسه با شاهد از میزان ترکیبات فنولی بیشتری برخوردار بودند ولی میوه‌های پوشش یافته با CMC ۱ درصد دارای کمترین

جدول ۲- تغییرات مقدار مواد جامد محلول (بریکس)، اسیدیته قابل تیتراسیون (درصد)، pH و مقدار آنتوسیانین (میلی گرم پلارگونیدین تری گلیکوزید در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه) در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با شاهد (Control)، نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOMe 0.5%)، نانوامولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%) به روش لایه به لایه طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس.

Table 2- Changes in total soluble solid (brix), titratable acidity, pH and anthocyanin content (mg pelargonidin 3-glucoside in 100 g fruit fresh weigh) in strawberry fruits treated with nanoemulsion of thyme and peppermint essential oils with carboxymethylcellulose by layer-by-layer method during 12 days storage at 4 ° C.

دوره نگهداری (روز)					تیمارها	فاکتورها
۱۲	۹	۶	۳	۰		
۷/۳±۰/۲ <sup>cd</sup>	۷/۳±۰/۲ <sup>cd</sup>	۸/۶±۰/۲ <sup>a</sup>	۶/۵±۰/۲ <sup>ef</sup>	۶/۵±۰/۵ <sup>ef</sup>	Control	مواد جامد محلول (°Brix)
۷/۰±۰/۳ <sup>cde</sup>	۷/۲±۰/۶ <sup>cde</sup>	۷/۶±۰/۵ <sup>bc</sup>	۸/۱±۰/۴ <sup>ab</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۶/۱±۰/۳ <sup>f</sup>	۷/۲±۰/۲ <sup>cde</sup>	۶/۸±۰/۲ <sup>def</sup>	۶/۷±۰/۱ <sup>def</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۰/۷±۰/۰/۳ <sup>a</sup>	۰/۷±۰/۰/۳ <sup>ab</sup>	۰/۷±۰/۰/۱ <sup>ab</sup>	۰/۵±۰/۰/۳ <sup>de</sup>	۰/۶±۰/۱ <sup>cd</sup>	Control	اسیدیته قابل تیتراسیون (% citric acid)
۰/۷±۰/۰/۳ <sup>ab</sup>	۰/۷±۰/۰/۲ <sup>bc</sup>	۰/۶±۰/۱ <sup>d</sup>	۰/۵±۰/۱ <sup>d</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۰/۵±۰/۱ <sup>d</sup>	۰/۶±۰/۰/۲ <sup>d</sup>	۰/۶±۰/۰/۴ <sup>cd</sup>	۰/۴±۰/۰/۳ <sup>e</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۳/۰±۵/۲ <sup>a</sup>	۳/۲±۰/۱ <sup>cde</sup>	۳/۲±۰/۰/۱ <sup>cde</sup>	۳/۰±۰/۰/۱ <sup>de</sup>	۳/۰±۰/۱ <sup>e</sup>	Control	pH
۳/۶±۰/۰/۵ <sup>a</sup>	۳/۳±۰/۱ <sup>bc</sup>	۳/۳±۰/۱ <sup>c</sup>	۳/۲±۰/۱ <sup>cd</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۳/۴±۰/۱ <sup>ab</sup>	۳/۲±۰/۰/۴ <sup>c</sup>	۳/۲±۰/۱ <sup>cde</sup>	۳/۱±۰/۲ <sup>cde</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۱۳۱/۳±۶/۸ <sup>b</sup>	۱۰۳/۸±۷/۴ <sup>bcd</sup>	۱۳۲/۷±۳/۰/۳ <sup>b</sup>	۱۷۰/۶±۴/۳ <sup>a</sup>	۷۳/۵±۱۷/۸ <sup>d</sup>	Control	آنتوسیانین (mg kg <sup>-1</sup> dw)
۱۱۴/۵±۲/۴ <sup>bc</sup>	۱۱۱/۱±۲/۸ <sup>bc</sup>	۱۰۲/۲±۱۵/۴ <sup>bcd</sup>	۸۸/۵±۲۴/۲ <sup>cd</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۱۱۱/۴±۱۸/۶ <sup>bc</sup>	۱۲۷/۰/۵±۲۵/۰/۳ <sup>b</sup>	۱۰۵/۱±۱۴/۲ <sup>bcd</sup>	۸۸/۵±۱۳/۶ <sup>cd</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	

حروف مشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است.

خنثی‌سازی و مهار تنش‌های اکسایشی می‌باشد (Kumar *et al.*, 2014). میزان فعالیت ضداکسایشی در میوه توت-فرنگی به محتوای ویتامین‌ها، فنول‌ها، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و آنزیم‌های ضداکسایشی بستگی دارد (Ayala-Zavala *et al.*, 2004).

در طول دوره پس از برداشت افزایش تنش‌های اکسیداتیو سبب کاهش فعالیت ضداکسایشی کل می‌گردد (Kumar *et al.*, 2014). با توجه به نتایج این پژوهش و موارد ذکر شده می‌توان گفت پوشش‌دهی میوه‌های

#### فعالیت ضداکسایشی کل

میزان فعالیت ضداکسایشی کل در طول دوره نگهداری در میوه‌های پوشش داده شده روند نسبتاً ثابتی داشت و اختلاف معنی‌داری در میزان فعالیت ضداکسایشی کل بین روز برداشت و پایان دوره نگهداری در این دو تیمار مشاهده نشد؛ این در حالی است که میزان فعالیت ضد اکسایشی در میوه‌های شاهد از ۹۰/۸ درصد در روز برداشت به ۸۶/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۲). فعالیت ضداکسایشی کل بیانگر ظرفیت ضداکسایشی میوه در



سبب افزایش مقاومت بافت میوه به پوسیدگی گردد (Hu & Xu, 2005). گزارش شده است که پوشش میوه‌های توت‌فرنگی با کیتوزان به‌طور معنی‌داری باعث حفظ میزان ترکیبات فنلی، آنتوسیانین و فلاونوئید می‌شود و همچنین سبب تأخیر در کاهش میزان ویتامین ث و فعالیت بیشتر آنزیم‌های ضد اکسایشی می‌گردد (Wang & Gao, 2013).

توت‌فرنگی با نانوامولسیون اسانس و CMC در اثر حفظ ویژگی‌های کیفی میوه، کاهش میزان پوسیدگی، پیری و مهار فعالیت آنزیمی از کاهش میزان ظرفیت ضد-اکسایشی میوه جلوگیری کرده است. در همین راستا استفاده از پوشش ژل آلونئورا روی سطح میوه توت-فرنگی باعث حفظ بهتر فعالیت ضد اکسایشی میوه توت-فرنگی در طول دوره نگهداری گردید (Sogvar et al., 2016). ممکن است ژل آلونئورا با افزایش فعالیت ضد-اکسایشی و توانایی در خنثی کردن رادیکال‌های آزاد،

جدول ۳- تغییرات میزان ویتامین ث (میلی‌گرم آسکوربیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه)، فنول کل (میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه)، فلاونوئید کل (میلی‌گرم کاتکین در ۱۰۰ گرم وزن تازه میوه) و فعالیت ضد اکسایشی (درصد بازدارندگی) در میوه‌های توت‌فرنگی تیمار شده با شاهد (Control)، نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%)، نانوامولسیون اسانس آویشن ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد (NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%) به روش لایه به لایه طی ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس. حروف متشابه بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪.

Table 3- Changes in vitamin C (mg ascorbic acid in 100 g fruit fresh weight), total phenol (mg gallic acid in 100 g fruit fresh weight), total flavonoid (mg catechin in 100 g fruit fresh weight) and total antioxidant capacity (%) in strawberry fruits treated with nanoemulsion of thyme and peppermint essential oils with carboxymethylcellulose by layer-by-layer method during 12 days storage at 4 °C.

دوره نگهداری (روز)					تیمارها	فاکتورها
۱۲	۹	۶	۳	۰		
۲۳/۸±۰/۳ <sup>bc</sup>	۲۴/۳±۱/۴ <sup>bc</sup>	۲۸/۲±۰/۶ <sup>a</sup>	۲۵/۰±۰/۴ <sup>b</sup>	۲۹/۴±۰/۸ <sup>a</sup>	Control	ویتامین ث (mg kg <sup>-1</sup> ) (FW)
۲۳/۰±۰/۵ <sup>c</sup>	۲۳/۷±۱/۲ <sup>bc</sup>	۲۳/۲±۰/۴ <sup>c</sup>	۲۹/۰±۰/۲ <sup>a</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۲۲/۷±۰/۹ <sup>c</sup>	۲۳/۴±۰/۸ <sup>bc</sup>	۲۳/۵±۰/۵ <sup>bc</sup>	۲۳/۵±۰/۲ <sup>bc</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۱۴۰/۳±۳/۴ <sup>ab</sup>	۱۱۱/۸±۸/۵ <sup>efg</sup>	۱۱۹/۳±۰/۵ <sup>def</sup>	۱۳۵/۱±۷/۱ <sup>bc</sup>	۱۲۴/۰±۰/۲ <sup>cd</sup>	Control	فنول کل (mg kg <sup>-1</sup> ) (FW)
۱۵۱/۱±۱۲/۰ <sup>a</sup>	۱۱۰/۶±۴/۸ <sup>fg</sup>	۱۲۳/۱±۳/۵ <sup>de</sup>	۱۰۵/۵±۶/۵ <sup>gh</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۱۱۰/۴±۰/۶ <sup>fg</sup>	۱۱۴/۰±۷/۱ <sup>defg</sup>	۱۱۶/۴±۳/۲ <sup>defg</sup>	۹۸/۴±۵/۵ <sup>h</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۳۳/۳±۸/۳ <sup>cde</sup>	۳۶/۱±۴/۵ <sup>bcd</sup>	۴۱/۱±۴/۵ <sup>ab</sup>	۴۴/۶±۲/۷ <sup>a</sup>	۳۹/۶±۱/۳ <sup>ab</sup>	Control	فلاونوئید کل (mg kg <sup>-1</sup> ) (FW)
۳۹/۰±۰/۷ <sup>bc</sup>	۳۳/۵±۱/۹ <sup>de</sup>	۳۲/۷±۰/۸ <sup>de</sup>	۴۰/۰±۴/۱ <sup>ab</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۳۷/۹±۵/۷ <sup>bcd</sup>	۳۳/۰±۰/۷ <sup>de</sup>	۳۲/۵±۱/۳ <sup>de</sup>	۲۹/۵±۴/۷ <sup>c</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	
۸۶/۵±۰/۸ <sup>cd</sup>	۸۹/۵±۲/۰ <sup>ab</sup>	۸۴/۸±۰/۳ <sup>de</sup>	۷۸/۷±۰/۰۵ <sup>f</sup>	۹۰/۸±۱/۰	Control	فعالیت ضد- اکسایشی (%)
۸۹/۱±۱/۵ <sup>ab</sup>	۸۸/۳±۰/۴ <sup>bc</sup>	۸۷/۹±۱/۹ <sup>bc</sup>	۸۳/۴±۰/۴ <sup>e</sup>		NanoEm-EOMe 0.5% + CMC 0.5%	
۸۹/۰±۱/۷ <sup>abc</sup>	۸۸/۶±۰/۴ <sup>abc</sup>	۸۹/۷±۰/۳ <sup>ab</sup>	۸۷/۳±۱/۰ <sup>bcd</sup>		NanoEm-EOTh 0.5% + CMC 0.5%	

## نتیجه‌گیری

در حفظ کیفیت و افزایش عمر انبارمانی توت‌فرنگی در دمای ۴ درجه سلسیوس داشته باشد. در این پژوهش، سرعت رشد کپک و مخمرهای کل و شاخص پوسیدگی میوه‌های توت‌فرنگی پوشش داده شده با نانوامولسیون

پژوهش حاضر نشان داد که پوشش دهی میوه توت‌فرنگی با نانوامولسیون اسانس به همراه پوشش CMC با تکنیک لایه به لایه به‌عنوان روشی جدید، می‌تواند نقش مهمی

شد. ضمن این‌که این پوشش‌ها، میزان فعالیت ضد-اکسایشی و مواد جامد محلول میوه‌های توت‌فرنگی را در طول دوره نگهداری در سطح مطلوب‌تری نسبت به تیمار شاهد حفظ نمودند و توصیه می‌شود از این پوشش‌ها به عنوان قارچ‌کش‌های طبیعی جهت حفظ کیفیت و کاهش ضایعات پس از برداشت میوه توت‌فرنگی به صورت تجاری تولید و به کار برده شوند.

هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد.

اسانس آویشن باغی و پونه به همراه کربوکسی متیل سلولز به‌طور قابل توجهی کاهش یافت. همچنین پوشش‌های مورد استفاده سبب کاهش افت وزن در مقایسه با نمونه‌های شاهد شدند. علاوه بر این، بیشترین میزان سفتی بافت میوه در طول ۱۲ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس در میوه‌های توت‌فرنگی پوشش داده شده با نانوامولسیون اسانس پونه ۰/۵ درصد + CMC ۰/۵ درصد و کمترین آن در نمونه‌های شاهد مشاهده

## REFERENCES

- Aali, E., Mahmoudi, R., Kazemina, M., Hazrati, R., & Azarpey, F. (2017). Essential oils as natural medicinal substances. *Tehran University Medical Journal TUMS Publications*, 75(7), 480-489.
- Ahmadi, O. & Jafarizadeh-Malmiri, H. (2020). Green approach in food nanotechnology based on subcritical water: effects of thyme oil and saponin on characteristics of the prepared oil in water nanoemulsions. *Food Science and Biotechnology*, 29, 783-792.
- Amal, S.H.A., El-Mogy, M.M., Aboul-Anean, H.E. & Alsanius, B.W. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- Anton, N. & Vandamme, T.F. (2009). The universality of low-energy nano-emulsification. *International Journal of Pharmaceutics*, 377(1-2), 142-147.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. 16<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Virginia, USA.
- AOAC. 2002. Vitamin C (ascorbic acid) in vitamin preparations and juices: 2, 6 dichloroindophenol titrimetric method final action. *Association of Official Analytical Chemists Official Method*, 4 (967), 21.
- Arnon, H., Zaitsev, Y., Porat, R. & Poverenov, E. (2014). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 87, 21-26.
- Assis, J.S., Maldonado, R., Muñoz, T., Escribano, M.A.I. & Merodio, C. (2001). Effect of high carbon dioxide concentration on PAL activity and phenolic contents in ripening cherimoya fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 23(1), 33-39.
- Ayala-Zavala, J.F., Wang, S.Y., Wang, C.Y. & González-Aguilar, G.A. (2004). Effect of storage temperatures on antioxidant capacity and aroma compounds in strawberry fruit. *LWT-Food Science and Technology*, 37(7), 687-695.
- Ben, J. & Gaweda, M. (1985). Changes of pectic compounds in Jonathan apples under various storage conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 7: 45-54
- 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(6), 1575-1583.
- Davazdahemami, S. & Majnoonhosini, N. (2008). *Cultivation and production of certain herbs and species*. Tehran University. (in Farsi).
- Dong, F. & Wang, X. (2017). Effects of carboxymethyl cellulose incorporated with garlic essential oil composite coatings for improving quality of strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, 821-826.
- Elshamy, S., Khadizatul, K., Uemura, K., Nakajima, M. & Neves, M.A. (2021). Chitosan-based film incorporated with essential oil nanoemulsion foreseeing enhanced antimicrobial effect. *Journal*

- of Food Science and Technology*, 58(9), 3314-3327.
- Enayatifard, R., Akbari, J., Babaei, A., Rostamkalaei, S.S., Hashemi, S.M. H. & Habibi, E. (2021). Anti-microbial potential of nano-emulsion form of essential oil obtained from aerial parts of *Origanum vulgare* L. as Food Additive. *Advanced Pharmaceutical Bulletin*, 11(2), 327-334.
- Gago, C., Antão, R., Dores, C., Guerreiro, A., Miguel, M.G., Faleiro, M.L., Figueiredo, A.C., Antunes, M.D. (2020) The effect of nanocoatings enriched with essential Oils on 'Rocha' pear long storage. *Foods*, 9 (2), 240.
- Gao, P., Zhu, Z. & Zhang, P. (2013). Effects of chitosan–glucose complex coating on postharvest quality and shelf life of table grapes. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 371-378.
- Giusti, M.M. & Wrolstad, R.E. (2003). Acylated anthocyanins from edible sources and their application in food systems. *Biochemical Engineering Journal*, 14(3), 217-225.
- Gol, N.B., Patel, P.R. & Rao, T.V.R. (2013). Improvement of quality and shelf-life of strawberries with edible coatings enriched with chitosan. *Postharvest Biology and Technology*, 85: 185-195.
- Hernandez-Munoz, P., Almenar, E., Valle, V. Del, Velez, D. & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428–435.
- Hu, Y. & Xu, J. (2005). Free radical-scavenging activity of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) extracts by supercritical carbon dioxide extraction. *Food Chemistry*, 91(1), 85-90.
- Hussain, P.R., Suradkar, P.P., Wani, A.M. & Dar, M.A. (2016). Potential of carboxy methyl cellulose and  $\gamma$ -irradiation to maintain quality and control disease of peach fruit. *International Journal of Biological Macromolecules*, 82, 114-126.
- Kodituwakku, T.D.; Ekanayake, G.C.M.; Abeywickrama, K.P.; Jayakody, R. (2020) In vitro antifungal efficacy of selected essential oils in controlling fungi associated with the stem-end rot disease of mango (cv. Karutha Colomban) fruits and characterisation of antifungal components. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka (JNSF)*, 48, 101–111.
- Komaiko, J. & McClements, D.J. (2015). Low-energy formation of edible nanoemulsion by spontaneous emulsification, factors affecting particle size. *Journal of Food Engineering*, 146, 122-128.
- Koushesh Saba, M. & Sogvar, O.B. (2016). Combination of carboxy methyl cellulose-based coatings with calcium and ascorbic acid impacts in browning and quality of fresh-cut apples. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 165-171.
- Kumar, S., Kumar, R., Nambi, V.E. & Gupta, R.K. (2014). Postharvest changes in antioxidant capacity, enzymatic activity and microbial profile of strawberry fruits treated with enzymatic and divalent ions. *Food and Bioprocess Technology*, 7(7), 2060-2070.
- Lee, S.K. & Kader, A.A. (2000). Pre harvest and post harvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*, 20(3), 207-220.
- Li, D., Luo, Z., Mou, W., Wang, Y., Ying, T. & Mao, L. (2014). ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin contents of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*, 90, 56-62.
- Marandi, R.J., Hassani, A., Ghosta, Y., Abdollahi, A., Pirzad, A. & Sefidkon, F. (2010). *Thymus kotschyanus* and *Carum copticum* essential oils as botanical preservatives for table grape. *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(22), 2424-2430.
- Mditshwa, A., Magwaza, L.S., Tesfay, S.Z. & Opara, U.L. (2017). Postharvest factors affecting vitamin C content of citrus fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 218, 95-104.
- Meng, F.B., Gou, Z.Z., Li, Y.C., Zou, L.H., Chen, W.J. & Liu, D.Y. (2022). The Efficiency of Lemon Essential Oil-Based Nanoemulsions on the Inhibition of *Phomopsis* sp. and Reduction of Postharvest Decay of Kiwifruit. *Foods*, 11(10), 1510.
- Nikravan, L., Maktabi, S., Ghaderi Ghahfarrokhi, M. & Mahmoodi Sourestani, M. (2021). The comparison of antimicrobial and antioxidant activity of essential oil of *Oliveria decumbens* and its nanoemulsion preparation to apply in food industry. *Iranian Veterinary Journal*, 17(3), 78-87.

- Nunan, K.J., Sims, I.M., Bacic, A., Robinson, S.P. & Fincher, G.B. (1998). Changes in cell wall composition during ripening of grape berries. *Plant Physiology*, 118(3), 783-792.
- Oliveira, J., Parisi, M.C.M., Baggio, J.S., Silva, P.P.M., Paviani, B., Spoto, M.H.F., & Gloria, E.M. (2019). Control of *Rhizopus stolonifer* in strawberries by the combination of essential oil with carboxymethylcellulose. *International Journal of Food Microbiology*, 292, 150-158.
- Oluwaseun, A.C., Kayode, A., Bolajoko, F.O. & Bunmi, A.J. (2013). Effects of coatings on storability of carrot under evaporative coolant system. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 12(3), 485-493.
- Ozogul, Y., Yuvka, Y., Ucar, Y., Durmus, M., Kösker, A.R., Öz, M. & Ozogul, F. (2017). Evaluation of effects of nanoemulsion based on herb essential oils (rosemary, laurel, thyme and sage) on sensory, chemical and microbiological quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during ice storage. *LWT*, 75, 677-684.
- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S. & Butler, F. (2009). Impact of high-pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purezes. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(3), 308-313.
- Pavela, R., Žabka, M., Vrchotová, N. & Tříška, J. (2018). Effect of foliar nutrition on the essential oil yield of thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Industrial Crops and Products*, 112, 762-765.
- Pelayo, C., Ebeler, S. & Kader, A. (2003). Postharvest life and flavor quality of three strawberry cultivars kept at 5 °C in air or air + 20 kPa CO<sub>2</sub>. *Postharvest Biology and Technology*, 27(2), 171-183.
- Perdones, A., Sánchez-González, L., Chiralt, A. & Vargas, M. (2012). Effect of chitosan–lemon essential oil coatings on storage-keeping quality of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 70, 32-41.
- Pérez, A.G., Sanz, C., Ríos, J.J., Olias, R. & Olías, J.M. (1999). Effects of ozone treatment on postharvest strawberry quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(4), 1652-1656.
- Perez-Gregorio, M.R., Garcia-Falcon, M.S. & Simal-Gandara, J. (2011). Flavonoids changes in fresh-cut onions during storage in different packaging systems. *Food Chemistry*, 124(2), 652-658.
- Romanazzi, G., Feliziani, E., Santini, M. & Landi, L. (2013). Effectiveness of postharvest treatment with chitosan and other resistance inducers in the control of storage decay of strawberry. *Postharvest Biology and Technology*, 75, 24-27.
- Saavedra, G.M., Figueroa, N.E., Poblete, L.A., Cherian, S. & Figueroa, C.R. (2016). Effects of preharvest applications of methyl jasmonate and chitosan on postharvest decay, quality and chemical attributes of *Fragaria chiloensis* fruit. *Food Chemistry*, 190, 448-453.
- Sadeghi, E., Dargahi, A., Mohammadi, A., Asadi, F. & Sahraee, S. (2015). Antimicrobial effect of essential oils: a systematic review. *Food Hygiene*, 5(2), 1-26 (In Farsi).
- Sampaio, C.I., Bourbon, A.I., Gonçalves, C., Pastrana, L.M., Dias, A.M. & Cerqueira, M.A. (2022). Low energy nanoemulsions as carriers of thyme and lemon balm essential oils. *LWT*, 154, 112748.
- Sayyari, M., Babalar, M., Kalantari, S., Serrano, M. & Valero, D. (2009). Effect of salicylic acid treatment on reducing chilling injury in stored pomegranates. *Postharvest Biology and Technology*, 53(3), 152-154.
- Seifi, F., Farzaneh, M., Rafati, H. & Rezadoost, H. (2014). Antifungal potency of some medicinal plants essential oils nano-emulsions to control soft rot in strawberry fruit caused by *Rhizopus stolonifer*. *Biocontrol in Plant Protection*, 2(1), 69-79 (In Farsi).
- Selcuk, N. & Erkan, M. (2015). Changes in phenolic compounds and antioxidant activity of sour-sweet pomegranates cv. 'Hicaznar' during long-term storage under modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 109, 30-39.
- Shahbazi, Y. (2018). Application of carboxymethyl cellulose and chitosan coatings containing *Mentha spicata* essential oil in fresh strawberries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 112, 264-272.

- Singleton, V.L., Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.
- Snoussi, A., Chouaibi, M., Haj Koubaier, H.B. & Bouzouita, N. (2022). Encapsulation of Tunisian thyme essential oil in O/W nanoemulsions: Application for meat preservation. *Meat Science*, 188, 108785.
- Sogvar, O.B., Koushesh Saba, M. & Emamifar, A. (2016). *Aloe vera* and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29-35.
- Soylu, E.M. Kurt, S & Soyly, S. (2010). *In vitro* and *in vivo* antifungal activities of the essential oils of various plants against tomato grey mould disease agent *Botrytis cinerea*". *International Journal of Food Microbiology*. 143,183-189.
- Stanisavljevic, D.M., Dordevic, S.M., Ristic, M.S., Velickovic, D.T. & Randelovic, N.V. (2010). Effects of different drying methods on the yield and the composition of essential oil from herb *Mentha longifolia* (L.) Hudson. *Biologica Nyssana*, 1(2), 89-93.
- Valero, D., Valverde, J.M., Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S. & Serrano, M. (2006). The combination of modified atmosphere packaging with eugenol or thymol to maintain quality, safety and functional properties of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3), 317-327.
- Vogler, B.K. & Ernst, E. (1999). *Aloe vera*: a systematic review of its clinical effectiveness. *British Journal of General Practice*, 49(2), 82-90.
- Vyas, P.B., Gol, N.B. & Rao, T.R. (2014). Postharvest quality maintenance of papaya fruit using polysaccharide-based edible coatings. *International Journal of Fruit Science*, 14(1), 81-94.
- Wan, J., Zhong, S., Schwarz, P., Chen, B. & Rao, J. (2019). Enhancement of antifungal and mycotoxin inhibitory activities of food-grade thyme oil nanoemulsions with natural emulsifiers. *Food Control*, 106, 106709.
- Wang, S.Y. & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system and post harvest fruit quality of strawberries (*Fragaria × aranassa* Duch.). *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 71-79.
- Wojdylo, A., Figiel, A. & Oszmianski, J. (2009). Effect of drying methods with the application of vacuum microwaves on the bioactive compounds, color and antioxidant activity of strawberry fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1337-1343.
- Xu, F., Wang, S., Xu, J., Liu, S. & Li, G. (2016). Effects of combined aqueous chlorine dioxide and UV-C on shelf-life quality of blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, 117, 125-131.
- Zhang, X., Liu, D., Jin, T.Z., Chen, W., He, Q., Zou, Z. & Guo, M. (2021). Preparation and characterization of gellan gum-chitosan polyelectrolyte complex films with the incorporation of thyme essential oil nanoemulsion. *Food Hydrocolloids*, 114, 106570.
- Zhishen, J., Mengcheng, T. & Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555-559.
- Zhou, R., Mo, Y., Li, Y., Zhao, Y., Zhang, G. & Hu, Y. (2008). Quality and internal characteristics of Huanghua pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. *Huanghua*) treated with different kinds of coatings during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 49(1), 171-179.
- Zhu, S.H. & Zhou, J. (2007). Effect of nitric oxide on ethylene production in strawberry fruit during storage. *Food Chemistry*, 100(4), 1517-1522.
- Zúñiga, G.E., Junqueira-Gonçalves, M.P., Pizarro, M., Contreras, R., Tapia, A. & Silva, S. (2012). Effect of ionizing energy on extracts of *Quillaja saponaria* to be used as an antimicrobial agent on irradiated edible coating for fresh strawberries. *Radiation Physics and Chemistry*, 81(1), 64-69.