

Effect of *Commiphora myrrha* gum and pomegranate peel extract on preserving the quality of acid lime fruit throughout storage

ABSTRACT

Lime fruits undergo metabolic changes during storage, leading to peel drying and a change in green color, which reduce the fruit's marketability. To better preserve fruit quality and delay senescence during storage, various compounds, including edible coatings, have been suggested. In a factorial experiment in a completely randomized design, the effect of 0.1% and 0.2% myrrh gum and 1% pomegranate peel extract immersion postharvest, alone or in combination, on the quality of mature green lime fruit during 24 days of storage at $25 \pm 2^\circ\text{C}$ was evaluated. The results of this study showed that the 0.1% myrrh gum treatment prevented weight loss of the fruit compared to the control. This treatment also had the highest titratable acidity (TA) (12.17%) compared to the control group (10.88%). The lowest soluble solid content (TSS) was observed in the 1% pomegranate peel extract treatment, while the highest TSS was observed in the control. Furthermore, myrrh gum and pomegranate peel extract treatments better preserved ascorbic acid and had a higher antioxidant capacity compared to the control group. Both myrrh gum and pomegranate peel extract treatments maintained the quality of lime fruit during storage. Overall, the treatments used had a significant effect on maintaining the quality of lime fruit during storage, which was also observable in the evaluation of the fruit's appearance.

Keywords: Improving quality, edible coatings, pomegranate peel extract, lime fruit

بررسی اثر صمغ مرّمکی (*Commiphora myrrha*) و عصاره پوست انار بر کیفیت میوه‌های لیمو ترش در طول انبارمانی

چکیده:

پوست میوه‌های لیمو ترش در طول نگهداری در اثر تغییرات متابولیکی خشک شده و رنگ سبز آنها تغییر می‌یابد که بازارپسندی آنها را کاهش می‌دهد. برای کیفیت میوه و به تأخیر انداختن پیری در زمان انبارمانی ترکیبات مختلفی از جمله پوشش‌های خوراکی پیشنهاد شده است. در یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، اثر غوطه‌ور سازی در ۰/۱ و ۰/۲ درصد صمغ مرّمکی و ۱ درصد عصاره پوست انار پس از برداشت به‌تنهایی یا به‌صورت ترکیبی بر کیفیت لیموهای ترش سبز بالغ طی روزهای صفر، ۱۲ و ۲۴ انبارمانی در دمای 25 ± 2 ارزیابی شد. نتایج نشان داد تیمار صمغ مرّمکی ۰/۱ درصد از افت وزن میوه نسبت به شاهد جلوگیری کرد. این تیمار همچنین بیشترین مقدار اسید قابل تیتراسیون (TA) (۱۷/۱۲ درصد) را داشت در صورتی که اسید قابل تیتراسیون گروه شاهد ۱۰/۸۸ درصد بود. کمترین میزان کل مواد جامد محلول (TSS) نیز در تیمار عصاره پوست انار ۱ درصد و بیشترین آن در تیمار شاهد مشاهده شد، همچنین تیمارهای مرّمکی در ترکیب با عصاره پوست انار باعث حفظ بهتر اسید اسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نسبت به گروه شاهد شدند. تیمارهای مرّمکی در ترکیب با عصاره پوست انار کیفیت میوه لیمو ترش را در طول انبارمانی حفظ کردند که در ارزیابی وضعیت ظاهری میوه نیز قابل مشاهده بود.

کلیدواژه‌ها: افزایش کیفیت، پوشش خوراکی، عصاره پوست انار، لیمو

مقدمه:

لیمو ترش^۱ یکی از محبوب‌ترین مرکبات است که - در سراسر جهان از عصاره آن به‌عنوان نوشیدنی و چاشنی غذاها استفاده می‌شود. علاوه بر طعم بی‌نظیر، لیمو ترش سرشار از ترکیبات ارزشمندی همچون اسید سیتریک، انواع فلاونوئیدها، فنل‌ها، پکتین و آسکوربیک اسید می‌باشد (Altemimi et al., 2021). این میوه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری جهان، از جمله برزیل، آرژانتین، مکزیک، هند، پاکستان و خاورمیانه، به وفور یافت می‌شود. تولید لیمو ترش حدود ۵ درصد از تولید جهانی مرکبات را به خود اختصاص داده است (Donkersley et al., 2018). بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی جهانی، در حال حاضر حدود ۹/۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی جهان به کشت مرکبات اختصاص یافته و سالانه ۱۳۲ میلیون تن مرکبات در دنیا تولید می‌شود. ایران با تولید سالانه ۶۸۷ هزار تن، رتبه نهم جهانی را در تولید این محصول به خود اختصاص داده و یکی از تولیدکنندگان مهم لیمو ترش در خاورمیانه به شمار می‌رود. تولید سالانه لیمو ترش در جهان حدود ۲۱ میلیون تن است (FAOSTAT 2019). تولید لیمو ترش در ایران عمدتاً در استان‌های جنوبی (استان هرمزگان و استان فارس) صورت می‌گیرد. در مناطق گرم، تلفات پس از برداشت در میوه‌های مرکبات به دلیل افت کیفیت سریع آنها در حین جابجایی، انبارمانی و حمل‌ونقل، چالش مهمی به شمار می‌رود (Strano et al., 2022). لیموهای تازه می‌توانند برای چند روز شادابی ظاهری و کیفیت خود را حفظ کنند، با این حال به دلیل محتوای بالای آب، ماندگاری طولانی‌مدت ندارند (Altemimi et al., 2021). لیموها معمولاً در مرحله سبز بالغ برداشت می‌شوند. طی فرآیند نگهداری، تغییرات متابولیکی در این میوه‌ها رخ می‌دهد که منجر به لکه‌های پوستی و از دست رفتن رنگ سبز طبیعی آنها می‌شود. این تغییرات کیفیت ظاهری، طعم و عطر لیمو را کاهش داده و در نتیجه بازار پسندی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tavallali, 2019). استفاده از پوشش‌ها از انتقال گازها و تبخیر آب جلوگیری کرده و در نتیجه، تازگی، رنگ و عطر میوه را برای مدت طولانی‌تری حفظ می‌کند (Tripathi et al., 2021). پوشش‌های خوراکی، لایه‌های نازکی از مواد طبیعی هستند که روی سطح مواد غذایی کشیده شده و مانند یک سپر محافظتی عمل می‌کنند. یکی از مزایای اصلی پوشش‌های خوراکی منشاء طبیعی آنهاست که آنها را از مواد شیمیایی سنتزی متمایز می‌کند (Panahirad et al., 2021). پوشش‌های خوراکی ساخته شده از صمغ‌های طبیعی راهکاری نوین و امیدبخش برای حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات محسوب می‌شوند (Salehi, 2020).

مر یا مَرَمَکی صمغی طبیعی و ارزشمند با طیف گسترده می‌باشد که از درختان کوچک خاردار متعلق به خانواده بورسراسه^۲ استخراج می‌شود. این صمغ طبیعی از دیرباز در طب سنتی برای درمان انواع بیماری‌ها و همچنین در صنایع عطر و آرایشی و به عنوان بخور به کار می‌رفته است.

پوست میوه انار^۳ که معمولاً به‌عنوان پسماند در نظر گرفته می‌شود، در واقع سرشار از ترکیبات زیست فعال، به‌ویژه پلی فنل‌ها، تانن‌ها، اسیدهای فنولیک و فلاونوئیدها می‌باشد که قادر به پاکسازی رادیکال‌های آزاد است. این محصول فرعی کشاورزی با سهم ۴۰ تا ۵۰ درصد از وزن کل میوه دارای خواص آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی است (Maphetu et al., 2022). این مطالعه با هدف ارزیابی تأثیر پوشش‌های ترکیبی حاوی صمغ مرمکی و عصاره پوست انار بر ویژگی‌های کیفی و ماندگاری لیمو در دمای محیط انجام شده است.

^۱. *Citrus aurantifolia* L.

^۲. Burseraceae

^۳. *Punica granatum* L

پیشینه پژوهش

در یکی از پژوهش‌ها اثر استفاده از پوشش‌های خوراکی مثل صمغ ایرانی و روغن هسته انار بر افزایش عمر نگهداری و کیفیت میوه لیمو ترش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پوشش‌های مورد استفاده در کنترل کاهش وزن، حفظ محتوای فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها مؤثر بودند و میوه‌های پوشش داده شده با صمغ ۱٪ بهترین ماندگاری و کیفیت بازارپسندی را داشتند. (Mohammadi et al., 2023). بررسی‌ها نشان داده‌اند که پوشش‌های صمغ زانتان و اسانس بادرنبویه، کیفیت تغذیه‌ای نارنگی‌های 'کینو' را در طول دوره نگهداری ۷۵ روزه به‌طور قابل توجهی حفظ کردند. این پوشش‌ها باعث حفظ اسیدیت، میزان قند محلول، اسکوربیک اسید، فلاونوئیدها و آب میوه شده و از کاهش وزن میوه جلوگیری کردند (Bhan et al., 2022). در پژوهشی پوشش میوه‌های گوجه‌فرنگی با ترکیب صمغ عربی^۱ و کربوکسی متیل سلولز به مدت ۲۰ روز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد، به‌طور مؤثری از کاهش وزن میوه جلوگیری کرد، میزان آنتی‌اکسیدان‌ها را حفظ نمود و فرآیند پیری را به تأخیر انداخت (Shakir et al., 2022). پوشش‌های خوراکی بر پایه صمغ زانتان و عصاره پوست انار به‌طور مؤثری از کاهش وزن انبه جلوگیری کرده و باعث حفظ بهتر کل جامدات محلول و اسیدیت آن شدند (Kumar et al., 2023). در میوه گواوا استفاده از عصاره گیاهی طبیعی مانند عصاره پوست انار همراه با کیتوزان و آلزینات کیفیت میوه را افزایش داد (Nair et al., 2018). مطالعه‌ای بر روی میوه توت‌فرنگی نشان داد که عصاره پوست انار می‌تواند به‌عنوان جایگزینی طبیعی برای مواد شیمیایی مصنوعی در حفظ کیفیت و افزایش عمر نگهداری پس از برداشت این میوه مورد استفاده قرار گیرد (Rongai et al., 2018). در مطالعه‌ای اثر تیمار پس‌برداشت صمغ عربی بر میوه توت‌فرنگی با غلظت‌های ۱۰ و ۱۵ درصد در دمای ۱±۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ روز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که ۱۵ درصد صمغ عربی به‌طور معنی‌داری منجر به حفظ بالاتر ترکیبات فنلی کل و TSS، مهار قابل توجه کاهش وزن، مهار کامل آلودگی‌های قارچی، افزایش استحکام بافت و ارتقای فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با شاهد شد (Tahir et al., 2018). غنی‌سازی پوشش‌های خوراکی با عصاره‌های گیاهی طبیعی، به عنوان جایگزینی ایمن در صنایع غذایی به‌ویژه برای میوه‌ها، روز به روز محبوبیت بیشتری می‌یابد. با بهره‌گیری از پوشش‌های گیاهی و عصاره‌های طبیعی، می‌توان ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات را افزایش داده و کیفیت آن‌ها را در طول مدت نگهداری حفظ کرد. تحقیقات محدودی روی میوه لیمو ترش صورت گرفته است. درحالی‌که در صورت افزایش عمر انبارمانی آن می‌توان بر ارزش اقتصادی آن نیز افزود. تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی تأثیر همزمان صمغ مرمکی و عصاره پوست انار بر روی میوه‌ها از جمله لیمو ترش، نپرداخته است.

روش‌شناسی پژوهش:

در این پژوهش از میوه‌های ژنوتیپ جدیدی از لیمو ترش شیرازی (یا همان لیموی عمانی، لیموی آب یا لیموی شیشه) که بی‌خار می‌باشد و در اصطلاح محلی مناطق استان هرمزگان بن نام خارکل^۲ استفاده شد. میوه‌ها از یک باغ تجاری در منطقه رودخانه، شهرستان رودان، استان هرمزگان با مختصات جغرافیایی ۲۷ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۵۷ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی در مرحله سبز بالغ با رعایت دقیق اصول فنی برداشت و به آزمایشگاه کشاورزی دانشگاه هرمزگان منتقل شدند. سپس میوه‌هایی با اندازه یکسان، کاملاً سالم و عاری از هرگونه آسیب فیزیکی برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند. پس از برداشت، میوه‌ها به طور کامل شسته شده و به مدت یک دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم ۰/۰۵ درصد ضدعفونی شدند. آزمایش به صورت

^۱ . Arabic Gum
^۲ . Thornless Key Lime

فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۹ عدد میوه برای هر تکرار انجام شد. میوه‌های تیمار شده در دمای محیط (25 ± 2 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. نمونه‌ها در روز انبارمانی (روز صفر)، ۱۲ و ۲۴ روز بعد از انبارمانی از نظر برخی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۱). فاکتورهای آزمایش شامل: درصد کاهش وزن، محتوای کل مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون، آسکوربیک اسید، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و بازارپسندی میوه، بود.



شکل ۱- انبارمانی میوه‌های ژنوتیپی از لیمو ترش ش (لیموی بی‌خار معروف به خارکل در ظروف یکبار مصرف و دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد)

آماده‌سازی پوشش‌ها

در این مطالعه، پوشش‌دهی لیموها با استفاده از صمغ مرمکی و عصاره الکلی پوست انار تهیه شده از شرکت گیاه کالا انجام شد. صمغ مرمکی در دو غلظت ۰/۱ و ۰/۲ درصد به آرامی در آب حل شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق هم زده شد. همچنین، عصاره ۱ درصد پوست انار نیز به همین روش آماده‌سازی شد. میوه‌های لیمو به مدت ۱۰ دقیقه در این محلول‌ها غوطه‌ور شدند و پس از خشک شدن کامل پوشش سطحی، به ظروف پلاستیکی یکبار مصرف منتقل شده و در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. در مرحله نمونه‌برداری، ویژگی‌های مورد نظر به شرح زیر ارزیابی شدند.

درصد کاهش وزن

وزن میوه‌ها در زمان برداشت (روز صفر) و در تاریخ‌های مختلف نمونه‌برداری در طول انبارمانی، با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از فرمول زیر درصد کاهش وزن محاسبه گردید (Dong and Wang 2018).

$$WL (\%) = (w_1 - w_2) * 100 / w_1 \quad (1)$$

(WL درصد کاهش وزن، w_1 و w_2 به ترتیب وزن اولیه و ثانویه برحسب گرم)

کل مواد جامد محلول (TSS)

میزان TSS عصاره، پس از آب‌گیری میوه‌ها با قرار دادن چند قطره از عصاره بر روی صفحه دستگاه رفاکتومتر دیجیتال DBR95 ساخت تایوان، بر حسب درجه بریکس اندازه‌گیری شد.

اسیدیته قابل تیتراسیون

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) با تیتراسیون دستی آب لیمو با محلول NaOH ۰/۱ نرمال انجام شد. نقطه پایانی تیتراسیون با استفاده از pH متر (HANA, Romani) در pH ۸/۲ و با استفاده از فنل‌فتالین به عنوان شاخص تعیین گردید. نتیجه نهایی به صورت درصد معادل اسید سیتریک بیان شد.

آسکوربیک اسید

سطح اسید اسکوربیک از طریق روش ایندوفنل (سدیم-۲،۶-دی کلروفنل-ایندوفنول) اندازه‌گیری شد. به طور خلاصه، ۱۰۰ میکرولیتر آب میوه لیمو با ۱۰ میلی لیتر اسید متافسفریک ۱ درصد مخلوط و سانتیفریوژ شد. پس از آن، ۱۰۰۰ میکرولیتر از مخلوط حاصل با ۹ میلی لیتر ایندوفنول ترکیب سپس، سانتیفریوژ شد و جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۵ نانومتر ثبت شد (O'grady et al., 2014).

محتوی فنل کل

اندازه‌گیری محتوای آب‌میوه توسط معرف فولین سیوکالتو به صورت زیر انجام گرفت: ۶۰ میکرولیتر از آب میوه به همراه ۳۰۰ میکرولیتر از معرف فولین (۱:۱۰) مخلوط و پس از ۵ دقیقه، ۲۴۰ میکرولیتر سدیم کربنات ۷ درصد به آن اضافه شد و پس از ۹۰ دقیقه شیکر در تاریکی و در دمای محیط توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (CECIL-2501 انگلستان) با طول موج ۷۶۰ نانومتر خوانده شد (Ordenez et al., 2006).

محتوی فلاونوئید کل

برای اندازه‌گیری فلاونوئید به ۶۰ میکرولیتر از آب میوه، ۱۸۰ میکرولیتر متانول ۸۵ درصد، ۱۲ میکرولیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۱۲ میکرولیتر پتاسیم استات و ۳۳۶ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه شیکر در تاریکی و در دمای محیط سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۴۱۵ نانومتر خوانش انجام گرفت (Chang et al., 2002).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش مهار رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی فنیل ۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) اندازه‌گیری شد. طبق این روش ۳۰ میکرولیتر از عصاره متانولی ۸۵ درصد میوه و ۱۱۷۰ میکرولیتر DPPH (۱۵۰ ماکرومول) ترکیب و به مدت ۴۰ دقیقه در تاریکی شیکر شد، سپس با دستگاه اسپکتروفتومتر و در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت شد (Bourtoom et al., 2008).

وضعیت ظاهری

ارزیابی بازارپسندی میوه‌ها با توجه به خصوصیات ظاهری میوه‌ها به روش نمره‌دهی انجام گرفت. معیارهای نمره‌دهی شامل عطر و بو، یکنواختی رنگ، پوسیدگی و شفافیت وضعیت ظاهری میوه بود و نمرات ۱ تا ۵ به آن‌ها اختصاص داده شد. ۱- ضعیف، ۲- متوسط، ۳- خوب، ۴- خیلی خوب، ۵- عالی (Mohammadi et al., 2024).

تجزیه آماری

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی به اجرا درآمد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD در سطح آماری ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

یافته‌های پژوهشی و بحث:

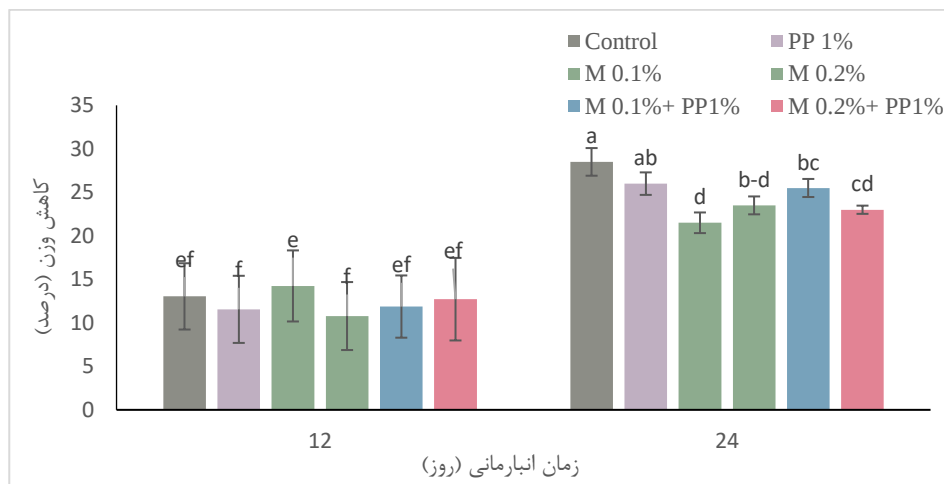
کاهش وزن میوه

نتایج نشان داد، با گذشت زمان درصد کاهش وزن میوه افزایش یافت. همه تیمارها در مقایسه با شاهد، اثر معنی‌دار در جلوگیری از کاهش وزن میوه نشان دادند (شکل ۲). در پایان آزمایش بیشترین درصد کاهش وزن میوه در تیمار شاهد (۲۸/۵ درصد) و کمترین درصد کاهش وزن در تیمار صمغ مرمکی ۰/۱ درصد به میزان ۲۱/۵ مشاهده شد. یکی از دلایل مهم کاهش کیفیت و از بین رفتن ارزش اقتصادی میوه‌های مرکبات پس از برداشت، روند پیری طبیعی میوه‌ها می‌باشد که به صورت کاهش وزن و از دست دادن آب و تغییرات ظاهری نمایان می‌شود (Lufu, 2020). میوه‌ها به دلیل کم آبی یا فعل و انفعالات بیولوژیکی وزن خود را از دست می‌دهند. پوشش‌های خوراکی به عنوان یک لایه محافظتی عمل می‌کنند که روزه‌ها را پوشانده و با کاهش تعرق از کاهش وزن جلوگیری می‌کنند (Salehi, 2020). همچنین، پژوهش دیگری نشان داده است که پوشش دهی میوه عناب با صمغ زانتان، بروز بیماری‌های پس از برداشت را به تأخیر انداخته و از کاهش وزن میوه در طول انبارداری جلوگیری نمود (Naveed et al., 2024). در پژوهشی بر روی میوه گلابی، پوشش کامپوزیتی صمغ گوار (GG) و اسید سالیسیلیک^۲ (SA) به طور موثری از کاهش وزن میوه جلوگیری کرد (Wang et al., 2023). همچنین تیمار ترکیبی پس از برداشت میوه‌های نارنگی 'کینو' با صمغ عربی و گاما-آمینوبوتیریک اسید^۳ (AG + GABA) به طور قابل توجهی از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری نمود که با نتایج ما همسو بود (Ali et al., 2023). کاهش افت وزن میوه‌های تیمار شده با کیتوزان و آلژینات غنی شده با عصاره پوست انار می‌تواند به این دلیل باشد که این عصاره به عنوان مانعی از بخار آب جلوگیری نموده و محدود کننده جذب O₂ نیز باشد. خروج بخار آب از سطح میوه‌ها و سبزیجات به دلیل خاصیت آبریزی عصاره پوست انار کاهش می‌یابد (Nair et al., 2018). نتایج ما در مورد کاهش وزن با مطالعات دیگری که روی تاثیر عصاره پوست انار بر کیفیت میوه‌های دیگر مرکبات (Taherpour et al., 2020) و گواوا (Nair et al., 2018) صورت گرفته مطابقت دارد.

¹. Guar gum

². Salicylic acid

³. γ - Amino butyric acid



شکل ۲- اثر تیمارهای (Control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمکی ۰/۱ درصد، M0.2: مرمکی ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۱۲ و ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر کاهش وزن ژنوتیپی از لیموی ترش معروف به خارگل. حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

کل مواد جامد محلول (TSS)، اسید قابل تیتراسیون (TA) و pH

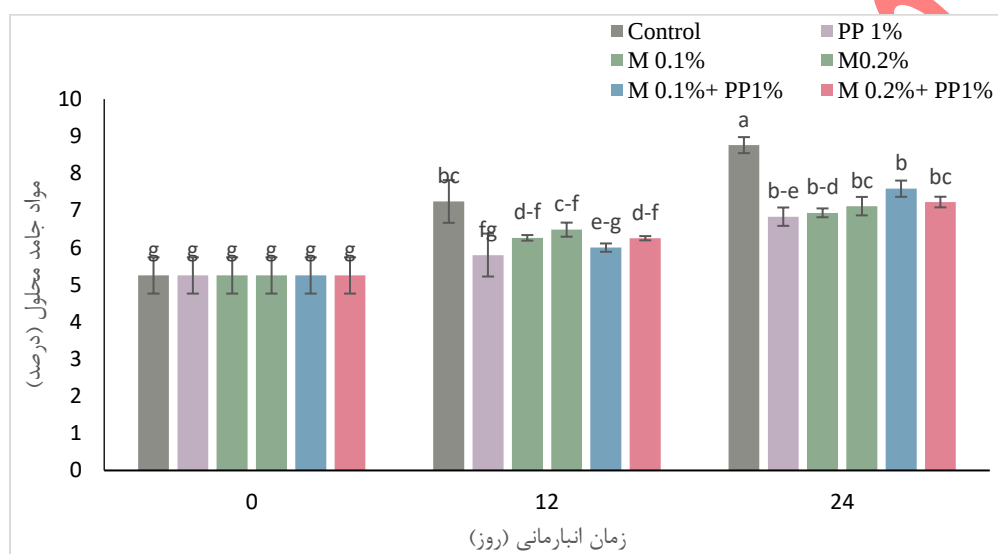
در طول دوره انبارمانی، TSS در تمامی تیمارها و گروه شاهد به تدریج افزایش یافت. با این وجود، افزایش مشاهده شده در گروه شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از سایر تیمارها بود. نتایج نشان داد که کمترین میزان TSS در روز ۲۴ انبارمانی در تیمار با عصاره پوست انار ۱ درصد (معادل ۶/۸۳ درصد) مشاهده شد، در حالی که بیشترین میزان TSS در گروه شاهد (معادل ۸/۷۶ درصد) ثبت گردید (شکل ۳).

در طول دوره انبارمانی، اسیدیته قابل تیتراسیون لیمو ترش به طور قابل توجهی تحت تأثیر پوشش‌های مرمکی و عصاره پوست انار قرار گرفت. در بیشتر تیمارها TA بالاتر از تیمار شاهد بود و در پایان انبارمانی بالاترین TA مربوط به تیمار مرمکی ۰/۱ درصد به دست آمد (شکل ۴).

نتایج نشان داد با اینکه در طول ۱۲ روز انبارمانی مقدار pH گروه شاهد نسبت به بیشتر تیمارها کمتر است اما در طول مدت ۲۴ روز انبارمانی بیشترین مقدار pH میوه لیمو در گروه شاهد (۲/۱) مشاهده شد و میوه لیمو تیمار شده با ۰/۲ درصد پوشش صمغ مرمکی با (۱/۷۲) کمترین مقدار pH را نشان داد (شکل ۵).

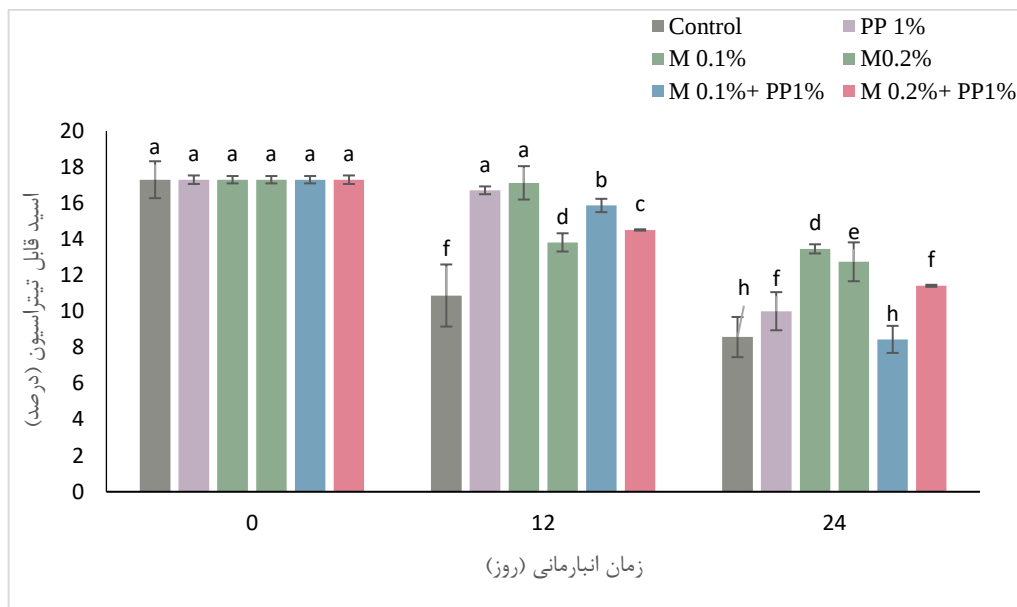
در پایان انبارمانی افزایش کمی در TSS و کاهش اندکی در TA در تمام نمونه‌ها مشاهده شد اگرچه با شدت کمتری در میوه‌های تیمار شده همراه بود. افزایش یا کاهش اسیدیته در طول انبارمانی ممکن است به دلیل تبدیل آنها به قند و استفاده بیشتر در فرآیندهای متابولیک میوه باشد. در طول انبارداری، هیدرولیز نشاسته به قند منجر به افزایش میزان مواد جامد محلول می‌شود (Wang et al., 2013) و با تخریب دیواره سلولی و افزایش در غلظت ماده خشک، نسبت آب میوه به مواد جامد محلول کاهش می‌یابد (Khorram et al., 2017). در میوه انبه استفاده از ترکیب پوشش‌های صمغ عربی (GA) و اسید سینامیک (CA) باعث شد که محتوای مواد جامد محلول (SSC) حفظ شود و اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) نسبت به میوه‌های بدون پوشش کاهش یابد که با نتایج ما همسو بود (Gill et al., 2024). در پژوهش دیگری در مورد پرتقال‌های تیمار شده با عصاره پوست انار، بیشترین میزان قند در نمونه‌هایی مشاهده شد که با غلظت ۹ گرم در لیتر تیمار شده بودند و کمترین میزان اسیدیته نیز در

نمونه‌هایی با تیمار ۳ گرم در لیتر مشاهده گردید (Jawad and Al-Shammari., 2023). نتایج مشابه با مطالعه روی میوه گواوا با پوشش صمغ زانتان^۱ (XG) به دست آمد که در آن ۱٪ مخلوط صمغ زانتان با پوشش نانو ذرات کیتوزان ۰/۲ درصد کیفیت کلی میوه‌های گواوا را در طول دوره‌های نگهداری طولانی مدت در سردخانه بهبود بخشید (Gad and Zagzog., 2017). نتایج آزمایش دیگر نشان داد که تیمار میوه عناب با صمغ بادام ۱۰ درصد منجر به کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و کند شدن افزایش کل مواد جامد محلول (TSS) شد (Naveed et al., 2024). تیمار میوه موز با ترکیب آلوه ورا، نشاسته و صمغ عربی با کاهش سنتز کل مواد جامد محلول، ماندگاری میوه موز را افزایش داد (Tchinda et al., 2023). میوه انبه تیمار شده با پوشش زانتان ۲ درصد، pH پایین‌تری نسبت به نمونه شاهد داشت (Kumar et al., 2023).

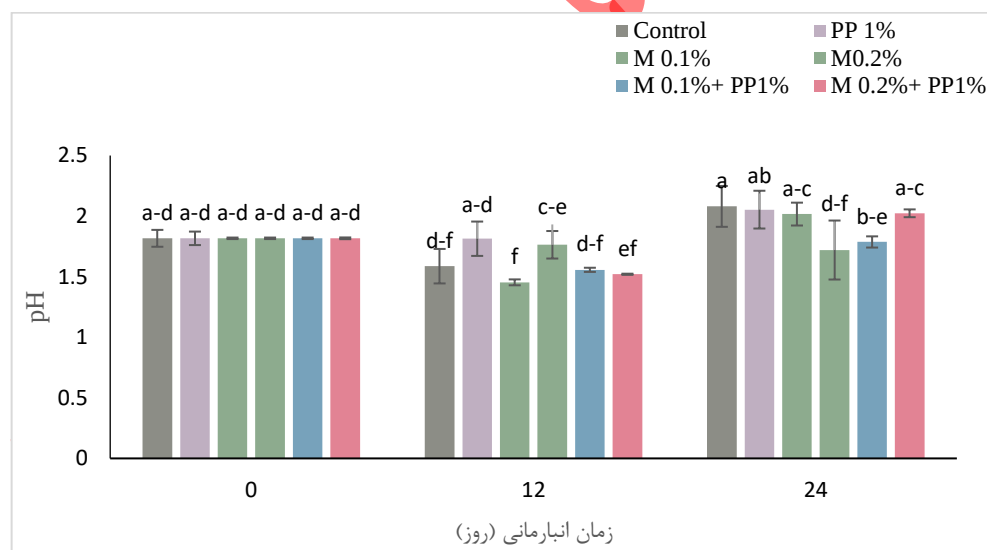


شکل ۳- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمکی ۰/۱ درصد، M0.2: مرمکی ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد بر محتوی کل مواد جامد محلول (TSS) آب میوه لیمو خار کل. حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

^۱. xanthan gum



شکل ۴- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمری ۰/۱ درصد، M0.2: مرمری ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمری ۰/۲ درصد، M0.2+PP: مرمری ۰/۱ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر محتوی کل اسید قابل تیتر (TA) آب میوه لیمو خارکل. حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

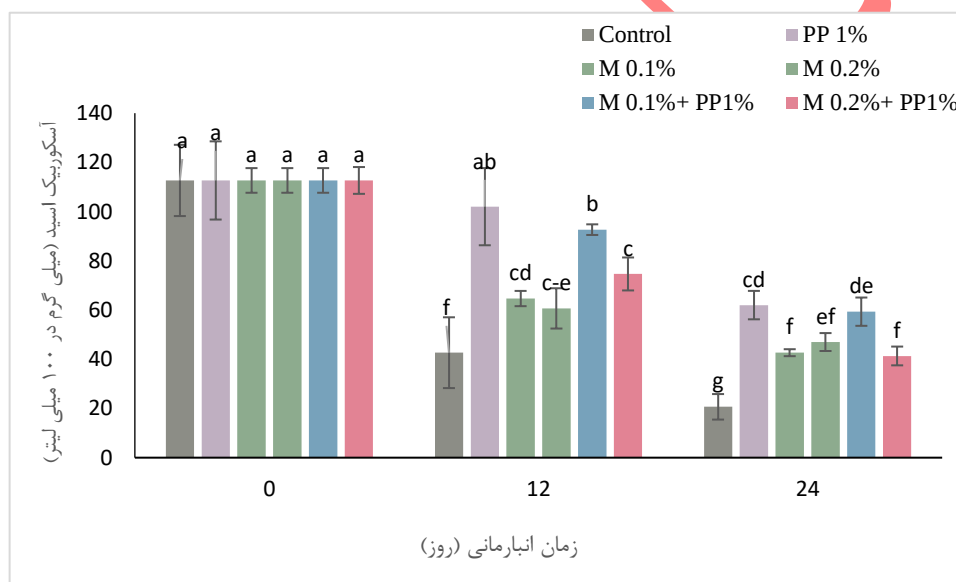


شکل ۵- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمری ۰/۱ درصد، M0.2: مرمری ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمری ۰/۲ درصد، M0.2+PP: مرمری ۰/۱ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد بر مقدار pH آب میوه لیمو خارکل. حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

آسکوربیک اسید:

محتوی آسکوربیک اسید میوه طی انبارمانی به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. اما میوه‌های تیمار شده محتوی بالاتری نسبت به شاهد نشان دادند. و بالاترین میزان اسید آسکوربیک در تیمار عصاره پوست انار ۱ درصد مشاهده شد. در طی ۲۴ روز انبارمانی،

حداکثر محتوای اسید اسکوربیک در میوه‌های تیمار شده با عصاره پوست انار به میزان ۶۲ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه و حداقل آن در میوه‌های شاهد به میزان ۲۰/۶۶ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر آب میوه مشاهده شد (شکل ۶). اسید اسکوربیک قوی‌ترین آنتی‌اکسیدانی است که میوه را از اثرات مضر گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند (Blokina et al., 2003). در آزمایشی کاربرد پوشش صمغ زانتان بر روی میوه عنب در طول انبارداری بروز پوسیدگی را به تأخیر انداخت و عنب‌های پوشش داده شده محتوای اسید اسکوربیک بالاتری را نشان دادند (Naveed et al., 2024). در آزمایشی روی میوه گلابی اثر پوشش آلژینات سدیم^۱ (SA؛ ۱ درصد و ۲ درصد) مخلوط با عصاره پوست انار (PPE) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در مقایسه با شاهد، پوشش‌های SA+PPE در حفظ میزان اسید اسکوربیک مؤثر بودند (Megha et al., 2023). همچنین در پژوهشی که توسط Anjum و همکاران (۲۰۲۰) در میوه گواوا تیمار شده با عصاره سیر + صمغ عربی انجام شده محتوای اسید اسکوربیک به‌طور معنی داری نسبت به شاهد بالاتر بود. همه نتایج فوق با نتایج ما همسو بودند.



شکل ۶- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمکی ۰/۱ درصد، M0.2: مرمکی ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارداری در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی گراد بر میزان اسید اسکوربیک آب میوه لیمو خارکل. حروف یکسان تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

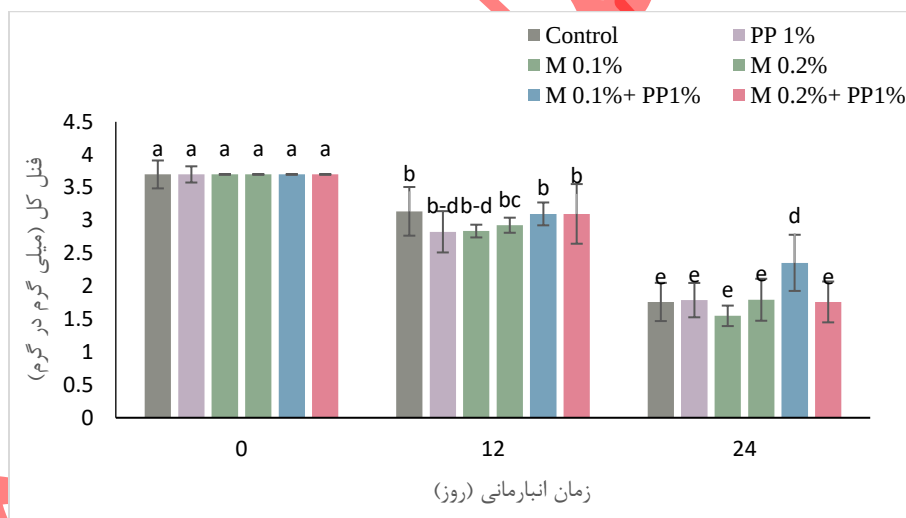
فنل، فلاونوئید و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان داد که گروه شاهد، علی‌رغم حفظ میزان فنل بیشتر در روز دوازدهم انبارداری، در پایان دوره با کاهش محتوای فنلی مواجه شد. در مقابل، تیمار صمغ مرمکی ۰/۱ درصد به همراه عصاره پوست انار (با غلظت ۴/۰۱ میلی گرم فنولیک اسید بر گرم وزن تر) در مقایسه با سایر تیمارها، محتوای فنلی بالاتری را نشان داد (شکل ۷).

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد محتوای بالاتر فلاونوئید میوه لیموترش در طی ۲۴ روز انبارداری مربوط به تیمار عصاره پوست انار ۱ درصد به میزان (۱/۱۱ میلی گرم بر گرم) در مقایسه با شاهد مشاهده بود (شکل ۸). ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه لیمو

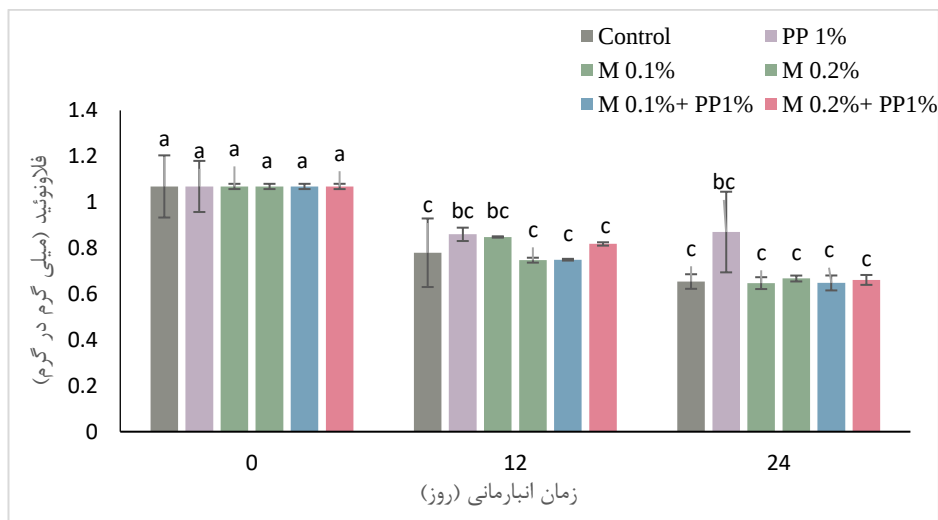
^۱ Sodium alginate

طی انبارمانی به مقدار نسبتاً کمی کاهش پیدا کرد. در روز ۱۲ و ۲۴ انبارمانی میوه‌های گروه شاهد به‌طور معنی‌داری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتری نسبت به بقیه تیمارها نشان دادند (شکل ۹). ترکیبات فنلی به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی در میوه‌ها، در طول فرایند رسیدن افزایش می‌یابند اما با آغاز پیری، میزان آن‌ها کاهش می‌یابد. ترکیبات فنلی طیف وسیعی از متابولیت‌های ثانویه با اثرات مفید بر سلامت انسان هستند (Luo et al., 2021). فلاونوئیدها، تانن‌ها و فنل‌ها با خواص ضد میکروبی همگی در پوست میوه انار وجود دارند. این مواد توانایی حذف رادیکال‌های آزاد و جلوگیری از اکسیداسیون لیپیدها در محصولات را دارند (George et al., 2019). همچنین عصاره پوست انار منبع خوبی از مواد فعال زیستی مورد نیاز برای فعالیت بیولوژیکی میوه مانند فلاونوئیدها می‌باشد (Azmat et al., 2024). در پژوهشی پوشش صمغ عربی (GA) در میوه هلو سطوح بالاتری از کل فنل‌ها و فلاونوئیدها را در میوه‌ها حفظ کرد. پوشش GA باعث حفظ سطوح بالایی از فنل‌ها و افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شد (Gan et al., 2024). همچنین در آزمایشی روی نارنگی 'کینو' تیمار پوشش‌های کامپوزیتی صمغ عربی (۱۰ درصد) به‌طور موثری محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی کل را حفظ کردند (Bajaj et al., 2024). در میوه گلابی تأثیر پوشش آلزینات سدیم (SA؛ ۱ درصد و ۲ درصد) مخلوط با عصاره پوست انار (PPE) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در مقایسه با شاهد، پوشش‌های SA+PPE در حفظ فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی کل (TAA) و محتوای فنولیک کل (TPC) در گلابی‌های ذخیره‌شده مؤثر بودند (Megha et al., 2023). همچنین در میوه‌های نارنگی 'اورلاندو' تانجلو^۱ تیمار شده با ملاتونین و صمغ زانتان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری نسبت به گروه شاهد مشاهده شد (Molaei Mohammad Abadi and Rastegar, 2024).

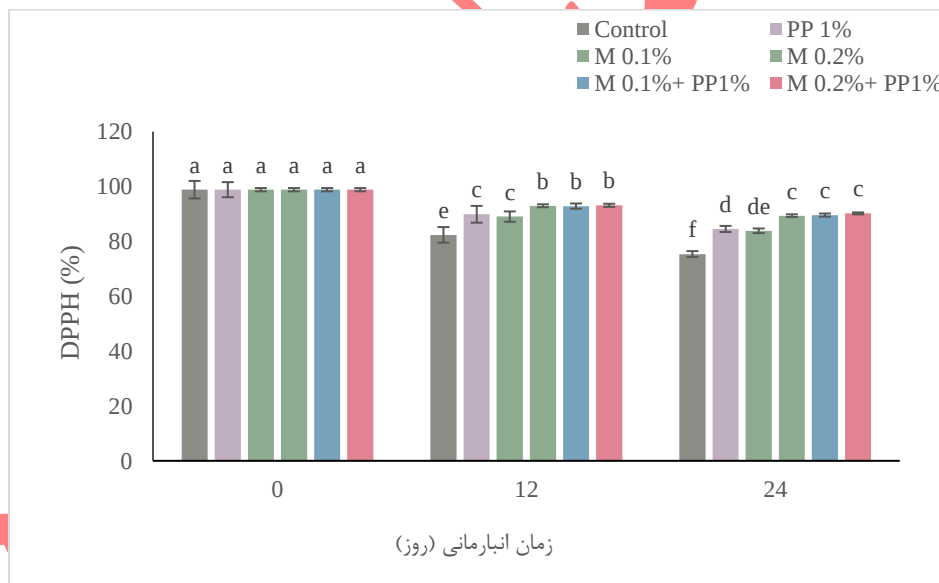


شکل ۷- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمرکی ۰/۱ درصد، M0.2: مرمرکی ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمرکی ۰/۱ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمرکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد بر میزان فنل آب‌میوه لیمو خارکل. حروف یکسان تفاوت معنی‌داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

^۱. 'Orlando' tangelo



شکل ۸- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمری ۰/۱ درصد، M0.2: مرمری ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتیگراد بر فلاونوئید آبمیوه لیمو خارگل. حروف یکسان تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

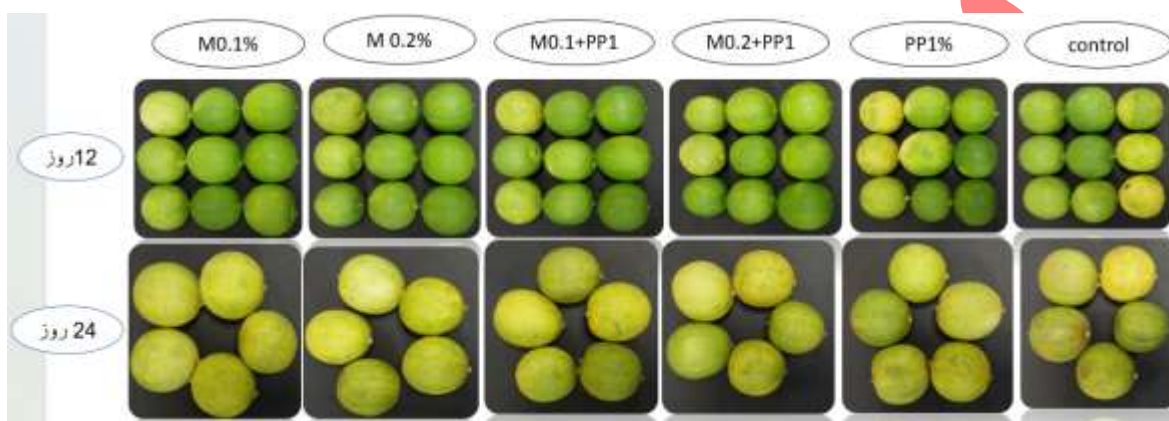


شکل ۹- اثر تیمارهای (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمری ۰/۱ درصد، M0.2: مرمری ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمری ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتیگراد بر میزان آنتی اکسیدان آبمیوه لیمو خارگل. حروف یکسان تفاوت معنی داری با یکدیگر در سطح احتمال $p \leq 0.05$ ندارند.

وضعیت ظاهری

مهم ترین شاخص ارزیابی و بازارپسندی میوه ها وضعیت ظاهری آنها می باشد. تیمار صمغ مرمری ۰/۱ و ۰/۲ درصد دارای میوه ها با رنگ سبز و تازگی بیشتر نسبت به سایر تیمارها بودند. تیمار عصاره پوست انار نیز به تنهایی یا بصورت ترکیبی با غلظت های

مختلف صمغ مرمکی نیز دارای میوه‌های تازه و اندکی تغییر رنگ داده بودند اما نسبت به گروه شاهد از بازارپسندی خیلی بهتری برخوردار بود در صورتیکه همه میوه‌های شاهد کاملاً خشک و دارای زردی بیشتری بود (شکل ۱۰). کیفیت میوه‌ها مانند تازگی، یکنواختی رنگ، سفتی و عدم پوسیدگی نقش مهمی در حفظ کیفیت و امکان صادرات به بازارهای دور دست دارد. در پژوهشی توسط Mohammadi و همکاران (۲۰۲۳)، افزایش عمر نگهداری و کیفیت میوه لیمو ترش با استفاده از پوشش‌های خوراکی صمغ ایرانی و روغن هسته انار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میوه‌های پوشش داده شده با صمغ ۱٪ بهترین ماندگاری و کیفیت بازارپسندی را داشتند. همچنین پژوهشی دیگر توسط Molaei Mohammad Abadi and Rastegar (۲۰۲۴) نشان داد که استفاده از پوشش‌های زانتان پس از برداشت باعث حفظ کیفیت نارنگی 'اورلاندو' تانجلو در طول نگهداری شد.



شکل ۱۰- اثر تیمارهای مختلف (control: شاهد، PP: عصاره پوست انار ۱ درصد، M0.1: صمغ مرمکی ۰/۱ درصد، M0.2: مرمکی ۰/۲ درصد، M0.1+PP: مرمکی ۰/۱ درصد با عصاره پوست انار، M0.2+PP: مرمکی ۰/۲ درصد با عصاره پوست انار) بر وضعیت ظاهری میوه های لیمو خارکل طی ۲۴ روز انبارمانی در دمای 25 ± 2 درجه سانتی‌گراد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها:

از آن جایی که پوشش‌های خوراکی صمغ مرمکی و عصاره پوست انار در دمای محیط موجب افت کمتر وزن، حفظ مواد جامد محلول (TSS) و اسید قابل تتراسیون (TA) و بازارپسندی بیشتر میوه‌ها شدند، می‌تواند به عنوان پوشش‌های پس از برداشت لیمو ترش استفاده شود. نتایج این تحقیق نشان داد تیمارهای مرمکی در ترکیب با عصاره پوست انار باعث حفظ بهتر اسید اسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بالاتر نسبت به گروه شاهد شد. از نظری ظاهری نیز میوه‌های تیمار شده با داشتن میوه‌های تازه و براق، نسبت به شاهد که دارای میوه‌های خشک و زرد رنگ بودند، بازارپسندی مطلوب‌تری نشان دادند. بنابراین می‌توان این پوشش‌ها را جهت ارتقاء کیفیت میوه‌ها، افزایش عمر مفید آن‌ها و کاهش چشمگیر تلفات پس از برداشت توصیه نمود.

منابع

Ali, S., Khan, A. S., Nawaz, A., Naz, S., Ejaz, S., Shah, A. A., & Haider, M. W. (2023). The combined application of Arabic gum coating and γ -aminobutyric acid mitigates chilling injury and maintains eating quality of 'Kinnow' mandarin fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 236, 123966. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123966>

- Altemimi, A. B., Al-Hilphy, A. R., Abdelmaksoud, T. G., Aboud, S. A., Badwaik, L. S., Noore, S., & Pratap-Singh, A. (2021). Infrared radiation favorably influences the quality characteristics of key lime juice. *Applied Sciences*, 11(6), 2842. <https://doi.org/10.3390/app11062842>
- Anjum, M. A., Akram, H., Zaidi, M., & Ali, S. (2020). Effect of gum arabic and Aloe vera gel based edible coatings in combination with plant extracts on postharvest quality and storability of 'Gola' guava fruits. *Scientia Horticulturae*, 271, 109506. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109506>
- Azmat, F., Safdar, M., Ahmad, H., Khan, M. R. J., Abid, J., Naseer, M. S., ... & Suleria, H. A. R. (2024). Phytochemical profile, nutritional composition of pomegranate peel and peel extract as a potential source of nutraceutical: A comprehensive review. *Food Science & Nutrition*, 12(2), 661-674.
- Bajaj, K., Kumar, A., Gill, P. P. S., Jawandha, S. K., & Arora, R. (2024). Ameliorative effect of gum Arabic and essential oil coatings on postharvest preservation of Kinnow mandarin (*Citrus reticulata*. Blanco). *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s11694-024-02772-8>
- Bhan, C., Asrey, R., Meena, N. K., Rudra, S. G., Chawla, G., Kumar, R., & Kumar, R. (2022). Guar gum and chitosan-based composite edible coating extends the shelf life and preserves the bioactive compounds in stored Kinnow fruits. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 2922-2935. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.068> Get rights and content
- Blokhina, O., Virolainen, E., & Fagerstedt, K. V. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of botany*, 91(2), 179-194. <https://doi.org/10.1093/aob/mcf118>
- Bourtoom, T. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International food research journal*, 15(3), 237-248.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, 10(3). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>
- Dong, F., & Wang, X. (2018). Guar gum and ginseng extract coatings maintain the quality of sweet cherry. *Lwt*, 89, 117-122. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.10.035>
- Donkersley, P., Silva, F. W., Carvalho, C. M., Al-Sadi, A. M., & Elliot, S. L. (2018). Biological, environmental and socioeconomic threats to citrus lime production. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 125, 339-356. <https://doi.org/10.1007/s41348-018-0160-x>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAOSTAT, Database. 2022. Available online: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gad, M. M., & Zagzog, O. A. (2017). Mixing xanthan gum and chitosan nano particles to form new coating for maintaining storage life and quality of elnamoura guava fruits. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(11), 1582-1591. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.611.190>
- Gan, Z., Zhang, Y., Jin, Z., Wang, Y., Li, J., Yang, C., ... & Guo, S. (2024). Gum arabic coating alleviates chilling injury of cold-stored peach by regulating reactive oxygen species, phenolic, and sugar metabolism. *Food Chemistry*, 139899. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139899>
- George, N. S., Cheung, L., Luthria, D. L., Santin, M., Dawson, H. D., Bhagwat, A. A., & Smith, A. D. (2019). Pomegranate peel extract alters the microbiome in mice and dysbiosis caused by *Citrobacter rodentium* infection. *Food Science & Nutrition*, 7(8), 2565-2576.
- Gill, P. P. S., Jawandha, S. K., Singh, N. P., Kaur, S., & Kaur, P. (2024). Role of gum Arabic combined with cinnamic acid coating on quality and cell wall degradation enzymes of mango fruits at low temperature. *International Journal of Biological Macromolecules*, 259, 129088. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.129088>
- Jawad, A. A., & Al-Shammari, G. N. H. (2023, December). Effect of anti-transpiration inhibitors copper and chitosan, pomegranate peel and thyme leaves extracts and storage period on the chemical traits of local orange fruits. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1262, No. 4, p. 042014). IOP Publishing.
- Khorram, F., Ramezani, A., & Hosseini, S. M. H. (2017). Effect of different edible coatings on postharvest quality of 'Kinnow' mandarin. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11, 1827-1833.
- Kumar, N., Pratibha, Upadhyay, A., Trajkovska Petkoska, A., Gniewosz, M., & Kieliszek, M. (2023). Extending the shelf life of mango (*Mangifera indica* L.) fruits by using edible coating based on xanthan gum and

- pomegranate peel extract. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(2), 1300-1308. <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01706-6>
- Lufu, R., Ambaw, A., & Opara, U. L. (2020). Water loss of fresh fruit: Influencing pre-harvest, harvest and postharvest factors. *Scientia Horticulturae*, 272, 109519. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109519>
- Luo, J., Si, H., Jia, Z., & Liu, D. (2021). Dietary anti-aging polyphenols and potential mechanisms. *Antioxidants*, 10(2), 283. <https://doi.org/10.3390/antiox10020283>
- Maphetu, N., Unuofin, J. O., Masuku, N. P., Olisah, C., & Lebelo, S. L. (2022). Medicinal uses, pharmacological activities, phytochemistry, and the molecular mechanisms of *Punica granatum* L.(pomegranate) plant extracts: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113256. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113256>
- Megha, M., Gill, P. P. S., Jawandha, S. K., Kaur, N., & Sinha, A. (2023). Effects of sodium alginate plus pomegranate peel extract based edible coating on the antioxidant properties of pear fruit during low temperature storage. *Erwerbs-Obstbau*, 65(5), 1341-1348. <https://doi.org/10.1007/s10341-023-00883-y>
- Mohammadi, M., Dargiri, S. A., & Rastegar, S. (2023). The effect of Persian gum coating enriched with pomegranate seed oil on the quality of Mexican lime (*Citrus aurantifolia*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 19(3), 79-94.
- Mohammadi, M., Rastegar, S., & Rohani, A. (2024). Enhancing shelf-life and quality of Mexican lime (*Citrus aurantifolia* cv.) fruit: Utilizing edible coating from wild sage seeds enriched with pomegranate seed oils. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(1), 331-344. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02176-0>
- Molaei Mohammad Abadi, S., & Rastegar, S. (2024). Preharvest melatonin and postharvest xanthan gum coating maintain the quality of Orlando tangelos during storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(3), 49-64. <https://doi.org/10.22067/iftstrj.2024.87553.1324>
- Nair, M. S., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Effect of chitosan and alginate-based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.). *Food chemistry*, 240, 245-252.
- Naveed, F., Nawaz, A., Ali, S., & Ejaz, S. (2024). Xanthan gum coating delays ripening and softening of jujube fruit by reducing oxidative stress and suppressing cell wall polysaccharides disassembly. *Postharvest Biology and Technology*, 209, 112689. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112689>
- Naveed, F., Nawaz, A., Ali, S., Ejaz, S., & Saleem, M. S. (2024). Almond gum-based hydrocolloid coating delays surface reddening and suppresses softening of harvested jujube (*Ziziphus mauritiana* L.) fruit. *Progress in Organic Coatings*, 194, 108554. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2024.108554>
- O'grady L, Sigge G, Caleb O & Opara UL (2014) Effects of storage temperature and duration on chemical properties, proximate composition and selected bioactive components of pomegranate (*Punica granatum* L.) arils. *LWT-Food Science and Technology*. 57(2), 508-515.
- Ordóñez, A.A.L., Gómez, J.D., & Vattuone, M.A. (2006). Antioxidant activities of *Sechium edule* (Jacq.) Swartz extracts. *Food Chemistry*, 97(3), 452-458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.024>
- Panahirad, S., Dadpour, M., Peighambaroust, S. H., Soltanzadeh, M., Gullón, B., Alirezalu, K., & Lorenzo, J. M. (2021). Applications of carboxymethyl cellulose-and pectin-based active edible coatings in preservation of fruits and vegetables: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 663-673.
- Rongai, D., Sabatini, N., Pulcini, P., Di Marco, C., Storch, L., & Marrone, A. (2018). Effect of pomegranate peel extract on shelf life of strawberries: computational chemistry approaches to assess antifungal mechanisms involved. *Journal of food science and technology*, 55, 2702-2711. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3192-0>
- Salehi, F. (2020). Edible coating of fruits and vegetables using natural gums: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(sup2), S570-S589. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1746730>
- Shakir, M. S., Ejaz, S., Hussain, S., Ali, S., Sardar, H., Azam, M., & Canan, İ. (2022). Synergistic effect of gum Arabic and carboxymethyl cellulose as biocomposite coating delays senescence in stored tomatoes by regulating antioxidants and cell wall degradation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 201, 641-652. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.01.073>
- Strano, M. C., Altieri, G., Allegra, M., Di Renzo, G. C., Paterna, G., Matera, A., & Genovese, F. (2022). Postharvest technologies of fresh citrus fruit: Advances and recent developments for the loss reduction during handling and storage. *Horticulturae*, 8(7), 612.
- Taherpour, L., HosseiniFarahi, M., & Radi, M. (2020). Application of pomegranate peel extract (PPE) with sodium alginate (Alg-Na) coating on fruit decay control and quality of sweet lemon fruit cv Mahali. *Food Technology and Nutrition* 17 (3),108122.

- Tahir, H. E., Xiaobo, Z., Jiyong, S., Mahunu, G. K., Zhai, X., & Mariod, A. A. (2018). Quality and postharvest-shelf life of coldstored strawberry fruit as affected by gum arabic (*Acacia senegal*) edible coating. *Journal of Food Biochemistry*, 42(3), e12527. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12527>
- Tavallali, V. (2019). Vacuum infiltration of 24epibrassinolide delays chlorophyll degradation and maintains quality of lime during cold storage. *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus* 17: 35–48. DOI: 10.24326 /asphc. 2018.1.4
- Wang, F., X. Zhang, Q. Yang and Q. Zhao. (2019a). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food Chem.* 301: 125311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311>
- Tchinda, A. N., Anoumaa, M., Tazo, F. L. T., Phounzong, E. T., Kenfack, O. J., Lekeufack, M., ... & Fonkou, T. (2023). Edible coating formulated by optimization from *Aloe vera*, starch, and Arabic gum improved the conservation of banana (*Musa acuminata*) fruits. *International Journal of Food Science*, 2023(1), 3746425. <https://doi.org/10.1155/2023/3746425>
- Tripathi, A.D., Sharma, R., Agarwal, A., & Haleem, D.R. (2021). Nanoemulsions based edible coatings with potential food applications. *International Journal of Biobased Plastics*, 3(1), 112-125. <https://doi.org/10.1080/24759651.2021.1875615>
- Wang, H., Zhang, Y., Pu, Y., Chen, L., He, X., Cao, J., & Jiang, W. (2023). Composite coating of guar gum with salicylic acid alleviates the quality deterioration of vibration damage in ‘Huangguan’ pear fruit through the regulation of antioxidant metabolism. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112476. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112476>
- Wang, S. Y., & Gao, H. (2013). Effect of chitosan-based edible coating on antioxidants, antioxidant enzyme system, and postharvest fruit quality of strawberries (*Fragaria x arnansa* Duch.). *LWT-Food Science and Technology*, 52(2), 71-79.

Effect of *Commiphora myrrja* gum and pomegranate peel extract on preserving the quality of lime fruit throughout storage

Extended Abstract

Introduction

Postharvest losses of citrus fruits, particularly lime, are a significant challenge in tropical regions due to the rapid deterioration of fruit quality during handling, storage, and transportation. Edible coatings have emerged as a promising solution to address this issue by forming a protective barrier on the fruit surface, reducing the penetration of oxygen, moisture, and microorganisms. These coatings not only enhance the shelf life of fruits but also preserve their nutritional and sensory qualities, making them highly relevant for minimally processed food systems. Natural extracts, such as myrrha (*Commiphora myrrha*) and pomegranate peel, offer substantial advantages when incorporated into edible coatings due to their antioxidant and antimicrobial properties. Myrrha, a resin with a long history of use, exhibits potent antibacterial activity, while pomegranate peel, an agricultural byproduct rich in polyphenols, provides free radical scavenging capabilities. These bioactive compounds align with the growing consumer demand for eco-friendly, natural alternatives to synthetic

preservatives. Consequently, the development of plant-based edible coatings enriched with natural extracts not only addresses the critical issue of postharvest losses but also supports sustainable and health-conscious practices in the food industry.

Material and methods

Lime fruits (*Citrus aurantifolia*) were harvested at the green mature stage from a commercial orchard located in the Rudkhan region, Rudan County, Hormozgan Province, Iran (27°59' N, 57°29' E). Fruits of uniform size and free from physical damage were selected for the study. Following harvest, the fruits were thoroughly washed and disinfected by immersion in a sodium hypochlorite solution for one minute. Myrrha gum solutions were prepared by dissolving the gum in water at concentrations of 1.0% and 2.0% (w/v), respectively, and stirring at room temperature for 30 minutes. A 1% (w/v) pomegranate peel extract solution was prepared similarly. Lime fruits were then immersed in these respective solutions for 10 minutes. After allowing the surface coating to dry completely, the fruits were transferred to disposable plastic containers and stored at $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ for a period of 24 days. At the conclusion of the 24-day storage period, several quality parameters were evaluated. Ascorbic acid content was determined using the indophenol titration method. Total phenolic content was measured using the Folin-Ciocalteu reagent. Antioxidant activity was assessed using the 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging assay. Fruit appearance was evaluated based on changes in color, freshness, and skin glossiness in both the control and treated fruit samples. The experiment was conducted using a completely randomized factorial design. Data were analyzed using SAS software version 9.4.

Results and discussion

Fruit weight loss increased progressively throughout the storage period. However, all treatments, with the exception of the control group, effectively mitigated this weight loss. At the end of the experiment, the control group exhibited the highest percentage of weight loss (28.5%), while the 1.0% myrrha gum treatment demonstrated the lowest (21.5%). Concurrently, the TSS content gradually increased in all treatments, including the control group. Notably, the control group exhibited the most substantial increase in TSS content. On the 24th day of storage under ambient conditions, the lowest TSS content was recorded in the 1% pomegranate peel extract treatment (6.83%), while the highest was observed in the control group (8.76%). Titratable acidity (TA) remained higher in the majority of treatments compared to the control group, with the 1.0% myrrha gum

treatment displaying the highest TA at the end of the storage period. Ascorbic acid content in all fruits decreased significantly during storage. However, all treated fruits maintained higher ascorbic acid levels compared to the control group. Over the 24-day storage period, the maximum ascorbic acid content was found in fruits treated with pomegranate peel extract (62 mg/100 mL), and the minimum in the control group (20.66 mg/100 mL).

The results revealed that while the control group maintained a higher phenol content on the 12th day of storage, this content subsequently decreased by the end of the storage period. This decline in the control group's phenol content suggests a potential degradation of these compounds over time, possibly due to enzymatic activity or other physiological processes. The 1.0% myrrha gum treatment in combination with pomegranate peel extract exhibited the highest (4.01 mg/g) phenolic content among all treatments. Fruit appearance, a critical factor influencing consumer acceptability, was notably enhanced by the application of these coatings. Specifically, the 1.0% and 2.0% myrrha gum treatments resulted in fruits with a greener hue and a fresher appearance compared to other treatments. Pomegranate peel extract, both independently and in combination with varying concentrations of myrrha gum, also yielded fruits with a fresh appearance and only slight color alterations. Critically, these treatments significantly improved market acceptability compared to the control group, where all fruits were completely desiccated and exhibited a pronounced yellow discoloration. The application of myrrha gum and pomegranate peel extract coatings at ambient temperature proved effective in reducing weight loss, preserving soluble TSS and TA, and improving the market appearance of the limes. These findings suggest the potential of these coatings as effective postharvest treatments. This study demonstrated that treatments involving myrrha gum and pomegranate peel extract resulted in superior retention of ascorbic acid and higher antioxidant capacity compared to the control group. The treated fruits, characterized by a fresh and glossy appearance, exhibited enhanced market acceptability compared to the control group, which presented with dry and yellow fruits. Therefore, the application of these coatings is recommended as a promising strategy to improve fruit quality, extend shelf life, and significantly reduce postharvest losses in limes. Phenolic compounds, serving as natural antioxidants in fruits, typically increase during the ripening process but decline with the onset of senescence. These compounds represent a diverse group of secondary metabolites known for their beneficial effects on human health. Ascorbic acid, a potent antioxidant, plays a crucial role in protecting fruits from the detrimental effects of reactive oxygen species. Variations in TA during storage can be attributed

to its conversion to sugars and its utilization in the fruit's metabolic processes. The hydrolysis of starch to sugar during storage contributes to the observed increase in soluble solids content. A primary factor contributing to the decline in quality and economic value of citrus fruits postharvest is the natural ripening process. This process manifests in various ways, including weight loss, water loss, and other detrimental changes. Weight loss in fruits is primarily a consequence of dehydration and biological changes. Edible coatings, by acting as a protective barrier covering the stomata, can effectively reduce transpiration, thereby mitigating weight loss.

Conclusion

The application of *Commiphora myrrha* gum and pomegranate peel extract coatings at ambient temperature demonstrated a positive impact on preserving the postharvest quality of lime fruit. Specifically, these coatings resulted in reduced weight loss, maintenance of higher levels of TSS and TA, and an overall improvement in fruit marketability. This suggests their potential as effective postharvest treatments for lime fruit. Furthermore, the present study revealed that *Commiphora myrrha* gum treatments in conjunction with pomegranate peel extract promoted superior retention of ascorbic acid and enhanced antioxidant capacity compared to the control group. Visually, the treated fruits maintained a fresh and glossy appearance, contributing to their improved market appeal, whereas the control group exhibited signs of deterioration, including dryness and yellowing. Consequently, the application of these coatings is recommended as a viable strategy for enhancing fruit quality, extending shelf life, and significantly mitigating postharvest losses in lime fruit.