



تأثیر بسته بندی با اتمسفر تغییر یافته بر ماندگاری انجیر سیاه استهبان

The Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Shelf Life of Estahban Black Fig

ندا مفتون آزاد^{*}، حمید زارع^۲، مریم شاه‌امیریان^۱

۱. تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

۲. ایستگاه تحقیقات انجیر استهبان، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

*نویسنده مسئول، پست الکترونیک: (n.maftoon@areo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۴

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر ترکیبات گازی مختلف در اتمسفر بسته‌بندی بر کیفیت و ماندگاری انجیر سیاه استهبان بود. درصدهای مختلف گازهای اکسیژن، دی‌اکسید کربن و نیتروژن به صورت تیمارهای G1 (۵ درصد اکسیژن، ۷۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۲۵ درصد نیتروژن)، G2 (۵ درصد اکسیژن، ۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۹۵ درصد نیتروژن)، G3 (۵ درصد اکسیژن، ۳۵ درصد دی‌اکسید کربن و ۶۰ درصد نیتروژن)، G4 (۵ درصد اکسیژن، ۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۲۵ درصد نیتروژن؛ خلاء نسبی) و نیز نمونه شاهد (هوای معمولی) استفاده شد. نمونه‌های انجیر بسته‌بندی و در ۴ درجه سلسیوس تا زمان حفظ کیفیت و بازارپسندی نگهداری شدند. در ابتدای آزمایش و در خاتمه میزان اسیدیته، مواد جامد محلول، ترکیبات زیست‌فعال و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مشخص شد. هر ۳ روز یک‌بار نیز، تنفس، رنگ، بافت، تغییرات وزن و تعداد نمونه‌های آلوده به قارچ اندازه‌گیری شد. خصوصیات فیزیوشیمیایی کلیه تیمارها با گذشت زمان کاهش یافت و میوه‌های انجیر در کلیه تیمارها نرم‌تر شده و تغییرات رنگ در آن‌ها مشهود بود. در حین نگهداری، میوه‌ها بسته به نوع اتمسفر و زمان نگهداری حدود ۳۸-۹ درصد از وزن اولیه خود را از دست دادند. اندازه‌گیری میزان تنفس نمونه‌ها نشان داد که تیمار G3 (۶۰ درصد نیتروژن، ۳۵ درصد دی‌اکسید کربن و ۵ درصد اکسیژن) در به‌تعویق انداختن وقوع بیشینه تنفسی و حفظ خصوصیات کیفی محصول موثر بوده است. به‌منظور مطالعه سینتیک تغییرات کیفی انجیر حین نگهداری، بهترین تیمار گازی انتخاب و به‌همراه نمونه شاهد در دماهای ۴، ۱۰ و ۱۵ درجه تا زمان از دست دادن بازارپسندی نگهداری شدند و هم‌زمان تغییرات وزن، بافت و رنگ آن‌ها مطالعه شد. نتایج نشان داد که دماهای بالاتر سبب تغییرات کیفی سریع‌تر در میوه‌ها می‌شود اما روند این تغییرات در نمونه‌های شاهد نسبت به ترکیب گازی G3 با سرعت بالاتری صورت گرفت. بررسی پذیرش کلی نمونه‌ها نشان داد که میانگین امتیازات داده شده در همه تیمارها در طول زمان نگهداری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: انجیر، بسته بندی با اتمسفر تغییر یافته، کاهش وزن، بیشینه تنفسی، بافت، رنگ.

مقدمه

انجیر با نام علمی *Ficus carica* L. متعلق به تیره موراسه^۱ و دارای گونه‌های متفاوتی است که به‌واسطه نوع بافت، خصوصیات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی و نیز زمان‌های برداشت متفاوت دارای زمان‌های ماندگاری متفاوتی می‌باشد. این محصول قابلیت نگهداری طولانی مدت ندارد ولی استفاده از دمای پایین (۲-۰ درجه سلسیوس) و رطوبت نسبی بالا می‌تواند در حفظ انبارمندی آن موثر باشد (Villalobos et al., 2016).

ایران با تولید ۹۸۹۹۰ تن انجیر و سطح زیر کشت ۵۶۲۹۲ هکتار در سال ۱۳۹۹ پنجمین تولید کننده انجیر در سطح جهان شناخته شده است (آمارنامه کشاورزی، ۱۴۰۰). استان‌های فارس، لرستان و کرمانشاه به ترتیب رتبه‌های اول تا سوم تولید را به خود اختصاص داده‌اند. در سال ۲۰۲۰ ارزش تجاری محصول انجیر ایران ۳۳/۴ میلیون دلار (انجیر تازه و خشک) بوده است. عمده خریداران محصول انجیر ایران کشورهای ویتنام، ژاپن، چین، هند و امارات بوده‌اند. اقتصاد عمده مناطق انجیرخیز استان فارس و در راس آن شهرستان استهبان بطور مستقیم و غیرمستقیم وابسته به انجیر است. فساد انجیر تازه در اثر فقدان شرایط مناسب نگهداری و نیز نامناسب بودن شرایط بسته‌بندی و حمل و نقل خسارات فراوانی را به انجیر وارد می‌سازد.

بر اساس آخرین برآوردهای وزارت جهاد کشاورزی، میزان ضایعات انجیر حدود ۳۰ درصد است (Mirmajidi *et al.*, 2016) که بر اساس میانگین قیمت تولیدکننده و عمده‌فروشی ارقام غالب کشور در سال ۱۴۰۱ (۲۰۰۰۰۰ ریال) معادل ریالی این میزان ضایعات ۶۰۰۰ میلیارد ریال برآورد می‌شود. بنابراین تلاش در جهت کاهش ضایعات این محصول در مراحل مختلف تولید کمک شایانی به صرفه‌جویی و حفظ منابع آبی کشور و سایر نهاده‌ها، افزایش درآمد باغداران و کاهش مسائل زیست‌محیطی می‌کند. اگرچه انجیر به‌عنوان میوه‌ای فرازگرا در نظر گرفته می‌شود، اما باید زمانی برداشت شود که تقریباً به‌طور کامل رسیده است تا طعم مطلوبی ایجاد شود. میوه‌هایی که در مرحله رسیدن بهینه برداشت می‌شوند، بافت نرمی داشته و به کبودی و شکافتن پوست بسیار حساس می‌باشند (Villalobos *et al.*, 2016). علاوه بر این، به دلیل میزان بالای قند انجیر، رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها باعث فساد سریع محصول می‌شود که در این میان قارچ‌ها شایع‌ترین عامل ایجاد فساد در انجیر می‌باشند (Crisosto *et al.*, 2011). یکی از مهم‌ترین عوامل حفظ کیفیت و کنترل فساد انجیر تازه، استفاده از دماهای پایین (۰-۱- درجه سلسیوس) و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد است. با این حال، در این شرایط ماندگاری انجیر پس از برداشت به ۷ تا ۱۴ روز محدود می‌شود. بنابراین، استفاده از تکنیک‌های جدید پس از برداشت برای افزایش عمر پس از برداشت انجیر تازه ضروری است (Colell *et al.*, 1991). استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده (MAP)، چه فعال و چه غیرفعال، برای میوه‌ها و سبزیجات تازه، فعالیت تنفسی را کاهش می‌دهد و کاهش وزن، رسیدگی و نرم‌شدن را به‌تاخیر می‌اندازد و می‌تواند بروز فساد و اختلالات فیزیولوژیک را به کمترین حد برساند (Adiletta *et al.*, 2018).

گزارش‌های کمی در مورد نگهداری پس از برداشت انجیر تازه به‌خصوص با استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته وجود دارد. Crisosto و همکاران (۲۰۱۱) سطح اکسیژن را برای میوه انجیر در بسته بین ۵ تا ۱۰ درصد و میزان دی‌اکسیدکربن را بین ۱۵ تا ۲۰ درصد گزارش کردند. در مطالعه دیگری افزایش ماندگاری انجیر میژن در ۰ تا ۵ درجه سلسیوس و ۱۵ یا ۲۰ درصد دی‌اکسیدکربن به میزان ۲-۳ هفته گزارش شده است (Colelli *et al.*, 1991). اتمسفر غنی‌شده با دی‌اکسیدکربن در کاهش بروز پوسیدگی‌های ناشی از بیماری‌های قارچی و حفظ ویژگی‌های کیفی میوه انجیر موثر است. همچنین نشان داده شده که نگهداری انجیر در ۲ درصد اکسیژن در هر دو دمای ۱- و ۲۰ درجه سلسیوس منجر به کاهش بیشتر جذب اکسیژن و کاهش تولید اتیلن در مقایسه با هوای معمولی می‌شود (Tsantili & Rodov, 2022). استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته نیز باعث افزایش عمر پس از برداشت میوه‌های بر انجیر و تاخیر در فرآیندهای پیری فیزیولوژیک شده است (del Carmen *et al.*, 2014). البته این محققان بر اهمیت رقم انجیر مورد استفاده به‌منظور افزایش زمان نگهداری در سردخانه نیز تاکید کرده‌اند. سانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز ترکیب بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته با ۱-متیل سیکلوپروپین را بررسی و نشان دادند که این تیمار بطور موثری بافت میوه را بهبود بخشیده و کاهش وزن، تولید اتیلن، تنفس و تجمع مالون آلدهید را در مقایسه با نمونه شاهد کاهش می‌دهد. اثرات سه نوع فیلم پلاستیکی (پلی پروپیلن جهت‌دار دو محوره^۱، پلی‌وینیل کلرید سوراخ‌دار^۲ و پلی‌پروپیلن^۳ در ایجاد اتمسفر تغییر یافته و مرحله رسیدن میوه بر کیفیت حسی انجیر رقم *Tiberius breba* نیز بررسی شده است. بهترین نتایج برای میوه‌های بسته‌بندی شده با فیلم BOPP بدست‌آمد (Hernández Méndez *et al.*, 2001).

با توجه به آن‌که انجیر رقم سیاه استهبان یکی از نژادگان‌های ارزشمند این منطقه می‌باشد و به دلیل ماندگاری پس از برداشت پایین، دچار تلفات زیادی در مراحل پس از برداشت و بازررسانی می‌شود، این پژوهش در راستای بررسی تاثیر کاربرد

بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته و مطالعه میزان ماندگاری انجیر تازه رقم سیاه استهبان با غلظت‌های مختلف گازی، به‌منظور یافتن بهترین شرایط نگهداری انجام شد.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه

نمونه‌های انجیر مورد نیاز از ایستگاه انجیر استهبان تهیه و پس از کاهش دمای باغ در یک اتاق مجهز به خنک‌کننده با استفاده از دستگاه تغییر اتمسفر بسته بندی گردید. درختان مورد استفاده ۳۰ ساله بودند و آبیاری آن‌ها به‌صورت دیم انجام می‌شد. میوه‌ها در مرحله بلوغ تجاری برداشت شدند. برداشت میوه‌ها با استفاده از یک چاقوی تیز به نحوی انجام شد که هیچگونه آسیبی به محصول وارد نشود. معیار انتخاب نمونه‌ها تغییر رنگ از حالت سبز به ارغوانی تیره، سفتی بافت قابل فشردن و نداشتن زخم روی سطح میوه بود. میوه‌های برداشت‌شده از لحاظ رنگ و اندازه تقریباً حالت مشابهی داشتند. نمونه‌ها با استفاده از یک خودرو مجهز به یخچال به آزمایشگاه انتقال یافتند.

بسته‌بندی نمونه‌ها

تعداد ۱۵ ظرف بسته‌بندی با پوشش PVC (با حجم 1500 cm^3) هر کدام حاوی ۱۵ عدد انجیر با استفاده از دستگاه ایجاد کننده اتمسفر تغییر یافته (شرکت پلی‌تکنیک شیراز، شیراز، ایران) برای هر تیمار تهیه و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. نمونه‌های شاهد نیز در همان دما در اتمسفر معمولی بسته‌بندی شدند. مهم‌ترین هدف نگهداری میوه‌های شاهد، تعیین مدت زمان نگهداری نمونه‌های موجود در اتمسفر تغییر یافته بود تا ماکزیم تفاوت بین تیمارها و نمونه‌های شاهد که نشان‌دهنده سریع‌ترین حالت رسیدگی هستند تعیین گردد. براساس مشاهدات به‌دست‌آمده از نمونه شاهد، مدت زمان آزمایش مشخص گردید. نمونه‌ها پس از بسته‌بندی تا زمان حفظ کیفیت و بازاریابی در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. هر ۳ روز یک‌بار نمونه‌ها از انبار سرد خارج و پس از رسیدن به دمای محیط، تغییرات وزن، تنفس، رنگ و بافت نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به‌علاوه در هر تیمار میزان نمونه‌های آلوده به قارچ در طول آزمایش شمارش و جدا گردید. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شدند.

ترکیب گازی درون بسته

بسته‌بندی و اعمال گازهای درون بسته به‌وسیله دستگاه تغییر اتمسفر صورت گرفت. این دستگاه دارای قسمت ایجادکننده خلاء شامل پمپ وکیوم، هیتر فرم‌دهنده فیلم، قسمت توزین، قسمت درزگیری درب ظروف و تزریق هم‌زمان گاز و سه عدد شیر تزریق گاز مجزا برای گازهای اکسیژن، دی‌اکسید کربن و نیتروژن بود. روش کار به این صورت بود که ابتدا درون محفظه خلاء ایجاد شد، و سپس ترکیبات گازی با تعیین فشارهای جزئی گازها توسط فشارسنج اعمال گردید. گاز دی‌اکسید کربن با خلوص ۹۰ درصد و گاز نیتروژن با خلوص ۹۵ درصد از شرکت بالان شیراز تهیه شد. تیمارهای گازی اعمال شده عبارت بودند از:

ترکیب گازی G1: ۲۵ درصد نیتروژن، ۷۰ درصد دی‌اکسید کربن و ۵ درصد اکسیژن

ترکیب گازی G2: ۹۵ درصد نیتروژن، صفر درصد دی‌اکسید کربن و ۵ درصد اکسیژن

ترکیب گازی G3: ۶۰ درصد نیتروژن، ۳۵ درصد دی‌اکسید کربن و ۵ درصد اکسیژن

ترکیب گازی G4: ۲۵ درصد نیتروژن، صفر درصد دی‌اکسید کربن و ۵ درصد اکسیژن (ایجاد شرایط نزدیک به خلاء)

نمونه شاهد C: هوای معمولی

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

اسیدیته قابل تیتراسیون (گرم اسید سیتریک/۱۰۰ گرم میوه با استفاده از تیتراسیون با محلول ۰/۱ مولار هیدروکسید سدیم و رسیدن به نقطه پایانی (pH ۸/۱) با مشاهده رنگ ارغوانی تعیین شد. برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از رفراکتومتر دیجیتالی پرتابل (Atago, Tokyo, Japan) استفاده شد.

برای تعیین میزان ترکیبات زیست‌فعال میوه انجیر با محلول ۸۰ درصد حجمی متانول همگن شد و مایع رویی برای تعیین ترکیبات زیست‌فعال و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تعیین شد. روش رنگ‌سنجی فولین-سیوکالتیو و کلرید آلومینیم به ترتیب برای تعیین ترکیبات فنولی و فلاوونوئیدی استفاده شد. میزان پلی‌فنول بر اساس میلی‌گرم معادل اسید گالیک/۱۰۰ گرم میوه تازه و مقدار فلاوونوئید بر اساس میلی‌گرم معادل کتچین/۱۰۰ گرم میوه تازه بیان گردید (Adiletta et al., 2022). ظرفیت

آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش بی‌رنگ شدن کاتیون‌های آزاد تعیین و به صورت میکرومول ترولوکس/۱۰۰ گرم میوه تازه گزارش شد (Solomon *et al.*, 2006).

مقدار آنتوسیانین با استفاده از اندازه‌گیری جذب در طول موج‌های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر تعیین و به صورت میلی‌گرم سیانیدین -۳- گلیکوزید/۱۰۰ گرم میوه تازه بیان شد (Solomon *et al.*, 2006).

بررسی تغییرات وزن نمونه

میزان کاهش وزن نمونه‌ها به خاطر از دست‌رفتن رطوبت محصول با توزین نمونه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius, Goettingen, Germany) محاسبه‌گردید و به صورت اتلاف وزن نمونه براساس وزن اولیه با استفاده از رابطه ۱ گزارش‌گردید:

$$\text{weight loss (\%)} = \left[\frac{(W_0 - W_t)}{W_0} \right] \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن W_0 ، وزن (گرم) در روز صفر و W_t وزن (گرم) در روز آزمون (هر سه روز یک‌بار) است.

اندازه‌گیری تنفس

مقدار وزنی مشخصی (400 ± 20 گرم) از میوه انجیر در داخل یک محفظه پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا ($20 \times 10 \text{ cm}$) قرار گرفت. یک حسگر دی‌اکسیدکربن (Gas Alert Micro 5, Calgary, Canada) مجهز به کارت حافظه، درون محفظه قرار داده شد تا مقادیر غلظت دی‌اکسیدکربن را اندازه‌گیری نماید. دستگاه به نحوی برنامه‌ریزی شد که داده‌های مربوط به غلظت دی‌اکسیدکربن را در فواصل یک دقیقه‌ای به مدت ۳۰ دقیقه برای هر نمونه اندازه‌گیری نماید. تنفس براساس شیب رگرسیون غلظت دی‌اکسیدکربن در برابر زمان به دست‌آمد و به صورت میلی‌گرم دی‌اکسیدکربن/کیلوگرم-ساعت گزارش‌گردید (Maftoonazad & Ramaswamy, 2019).

اندازه‌گیری رنگ

خصوصیات رنگ نمونه‌ها با استفاده از رنگ‌سنج (RT 500, Amusbury, Uk) بررسی شد و میزان L^* (درخشندگی یا روشنی نمونه)، a^* (قرمزی-سبزی) و b^* (زردی یا آبی بودن) نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. دستگاه با استانداردهای سفید و سیاه کالیبره شد. با استفاده از مقادیر به دست آمده، کروما، زاویه فام و میزان تغییر رنگ نمونه‌ها با استفاده از روابط ۲ تا ۴ تعیین گردید (Maftoonazad & Ramaswamy, 2019):

$$\text{Chroma} = \sqrt{a^2 + b^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\text{hue angle} = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

اندازه‌گیری سفتی نمونه‌ها

بافت نمونه‌ها توسط دستگاه بافت سنج (Instron, Surety, uk) اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها در معرض آزمون سوراخ کردن با سرعت 50 mm/min قرار گرفتند. قطر پروب ۲ میلی‌متر با انتهای مسطح و عمق نفوذ ۳ میلی‌متر بود. منحنی نیرو-تغییر فرم رسم‌گردید و سفتی نمونه‌ها بر اساس شیب قسمت خطی منحنی نیرو-تغییر فرم (N/mm) به دست‌آمد. حداقل شش اندازه‌گیری در نقاط مختلف میوه انجام شد (Maftoonazad & Ramaswamy, 2019).

ارزیابی حسی نمونه‌ها

از افراد آموزش دیده برای ارزیابی حسی نمونه‌های بسته‌بندی شده با ترکیبات گازی متفاوت به همراه نمونه شاهد استفاده شد. بر اساس مقیاس هدونیک به هر صفت امتیازات ۱ تا ۹ بر اساس کمترین شدت (۱) و بیشترین شدت (۹) داده شد. صفات مورد بررسی شامل بوی نامطبوع، طعم شیرین، طعم ترش، رنگ قرمز-ارغوانی، چروکیدگی، بادکردگی و پذیرش کلی بود (Giannakourou *et al.*, 2020).

تعیین تعداد و درصد میوه‌های آلوده

تیمارهای مختلف آزمایش هر سه روز یک‌بار مورد بررسی قرار گرفته و میوه‌های آلوده به قارچ شمارش و جدا شدند. میزان آلودگی براساس نسبت میوه‌های آلوده به کل میوه‌ها محاسبه و به صورت درصد گزارش گردید.

مطالعه سینتیک تغییرات کیفی

کاهش خصوصیات کیفی محصول در نتیجه نگهداری می‌تواند با واژه‌هایی نظیر ثابت سرعت (k) و وابستگی آن به دما به صورت انرژی فعال سازی (Ea) بیان گردد. بدین منظور بهترین تیمار حاصل از انجام آزمون‌های کیفی مشخص گردید و همراه با نمونه شاهد در سه دمای ۴، ۱۰ و ۱۵ درجه سلسیوس تا زمان از دست رفتن بازارپسندی نگهداری شد. تغییر شاخص کیفی A (da/dt) با زمان را می‌توان با معادله سینتیک زیر (رابطه ۵) شرح داد:

$$\frac{dA}{dt} = -k(A^n) \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن k ثابت سرعت، n مرتبه واکنش، و A مقدار کمی پارامتر در زمان t است. اگر عوامل محیطی ثابت نگهداشته شوند، n شکل منحنی زوال یا فساد را نیز تعیین می‌کند. برای واکنش مرتبه صفر، $n=0$ و برای واکنش مرتبه یک، $n=1$ است. علاوه بر توصیف تغییر در یک ویژگی به عنوان تابعی از زمان در یک دمای ثابت، باید بتوان اثر دما بر آن ویژگی را نیز شرح داد زیرا نرخ افت کیفیت وابسته به دما می‌باشد. رابطه آرنیوس برای شرح وابستگی به دمای نرخ فساد استفاده می‌شود (رابطه ۶):

$$LN \frac{k}{k_0} = \frac{E_0}{RT} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن k_0 یک فاکتور پیش نمایی، Ea انرژی اکتیواسیون بر حسب کیلوژول/مول، R ثابت گازها ($8.314 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$) و T دمای مطلق ($^\circ\text{K}$) می‌باشد. بنابراین حاصل رسم ثابت سرعت در مقیاس نیمه لگاریتمی بصورت تابعی از معکوس دمای مطلق ($1/T$) یک خط مستقیم می‌باشد. انرژی فعال سازی از حاصلضرب شیب این خط در ثابت گازهای R به دست می‌آید. شیب بیشتر به معنای حساس بودن بیشتر واکنش به دما است (Maftoonazad & Ramaswamy, 2019).

طرح آماری

تاثیر شرایط بسته بندی بر کیفیت انجیر سیاه در ۵ تیمار گازی و در زمان‌های نگهداری با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و ۱۵ مشاهده در هر تکرار و با نرم افزار SPSS 16 بدست آمد. رابطه ۷ برای این منظور مورد استفاده قرار گرفت:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \alpha_j + \alpha_{ij} \quad (\text{رابطه ۷})$$

که در آن، μ میانگین نمونه‌ها، α_i اثر ترکیب گاز، α_j اثر زمان و α_{ij} برهمکنش ترکیب گاز و زمان است.

نتایج و بحث

خصوصیات فیزیکوشیمیایی (اسیددیده، مواد جامد محلول، ترکیبات زیست‌فعال و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی)

اسیدهای آلی در ایجاد طعم و کیفیت تغذیه‌ای میوه دخالت دارند. در میوه انجیر، اسیددیده در ارتباط با غلظت‌های مختلفی از اسیدهای آلی مختلف نظیر اگزالیک، مالیک، سیتریک، اسکوربیک و سوکسینیک اسید می‌باشد که بسته به نوع رقم انجیر میزان آن‌ها متفاوت می‌باشد (Palmeira et al., 2019). با گذشت مدت زمان نگهداری اسیددیده قابل تیتراسیون کاهش یافت. تغییرات اسیددیده در تیمار G3 نسبت به سایر نمونه‌ها با سرعت کمتری صورت گرفت ولی تجزیه و تحلیل آماری هیچ تفاوت معنی‌داری را بین میانگین تیمارها و نیز مقادیر هر تیمار در روزهای مختلف نشان نداد (جدول ۱). مقادیر بالای اسیددیده در تیمار G1 نسبت به بقیه نمونه‌ها در طول دوره نگهداری می‌تواند بخاطر انجام واکنش‌های تخمیری (ایجاد طعم ترش در نتیجه تولید اسیدهای آلی و ترکیبات آلدئیدی) باشد. کاهش میزان اسیددیده میوه در طول زمان نگهداری مطابق با یافته‌های Islam و همکاران (۲۰۱۳) بود.

میزان مواد جامد محلول در همه تیمارها با افزایش مدت زمان نگهداری کاهش یافت (جدول ۱). بیشترین کاهش میزان مواد جامد محلول در روز نهم در نمونه شاهد و پس از آن در تیمار G2 مشاهده شد. اگرچه میزان مواد جامد محلول در کلیه تیمارها در مقایسه با شروع آزمایش تفاوت معنی‌داری نشان دادند ولی نمونه‌های شاهد، G1، G2 و G4 از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند ولی با نمونه G3 متفاوت بودند ($P < 0.05$). کاهش میزان مواد جامد محلول در نتیجه افزایش مصرف قندهای میوه در فرآیند تنفس می‌باشد (Mishra & Kar, 2014).

ترکیبات فعال زیستی (پلی فنول کل، فلاوونوئید و آنتوسیانین) و نیز ظرفیت آنتی اکسیدانی در کلیه تیمارها در حین نگهداری کاهش یافت. بیشترین کاهش مربوط به تیمار شاهد با ۵۴/۴، ۷۵/۱، ۵۸/۵ و ۳۹/۳ درصد به ترتیب برای پلی فنول کل، فلاوونوئید، آنتوسیانین و ظرفیت آنتی اکسیدانی بود و کمترین میزان تغییرات مربوط به تیمار G3 با ۳۸/۱، ۴۲/۶، ۳۲/۰ و ۲۴/۸ درصد برای صفات ذکر شده بود؛ اگرچه در اغلب موارد تفاوت معنی داری بین میانگین تیمارهای مختلف وجود نداشت. استفاده از اتمسفر تغییر یافته در بسته بندی میوه ها از جمله انجیر فرآیند پیری و کاهش ترکیبات زیست فعال را به تعویق می اندازد (Adiletta et al. 2022). روند کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی نیز با کاربرد این فناوری کند می شود. فعالیت آنتی اکسیدانی میوه ها به عوامل متعددی نظیر روش نگهداری، فعالیت آنزیمی و غلظت ترکیبات زیست فعال بستگی دارد. کاهش مقادیر فعالیت آنتی اکسیدانی در نتیجه کاهش ترکیبات زیست فعال در حین نگهداری می باشد (Adiletta et al. 2022).

جدول ۱- مقادیر اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، ترکیبات زیست فعال و ظرفیت آنتی اکسیدانی نمونه های انجیر بسته بندی شده با استفاده از تیمارهای مختلف گازی

Table 1. Titratable acidity, total soluble solids, bioactive compounds and antioxidant capacity

زمان نگهداری (روز)		تیمار
Storage time (days)		
اسیدیته		
Acidity (%)		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
0.14 ± 0.05 ^{bB} (Day 9)	0.24 ± 0.03 ^{aA}	شاهد
0.20 ± 0.04 ^{bA} (Day 12)	0.24 ± 0.03 ^{aA}	G1
0.15 ± 0.04 ^{bB} (Day 9)	0.24 ± 0.03 ^{aA}	G2
0.16 ± 0.04 ^{bB} (Day 15)	0.24 ± 0.03 ^{aA}	G3
0.14 ± 0.05 ^{bB} (Day 12)	0.24 ± 0.03 ^{aA}	G4
کل مواد جامد محلول		
Total soluble solids (TSS)		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
18.5 ± 1.2 ^{bB}	24.5 ± 1.7 ^{aA}	شاهد
20 ± 0.3 ^{bB}	24.5 ± 1.7 ^{aA}	G1
19.0 ± 0.8 ^{bB}	24.5 ± 1.7 ^{aA}	G2
21.5 ± 0.5 ^{cB}	24.5 ± 1.7 ^{aA}	G3
19.0 ± 1.8 ^{bB}	24.5 ± 1.7 ^{aA}	G4
پلی فنول کل (میلی گرم معادل اسید گالیک/۱۰۰ گرم میوه تازه)		
Total polyphenols (TPP) (mg GAE/100 g fresh fruit)		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
26.1 ± 3.2 ^{bB}	57.2 ± 4.5 ^{aA}	شاهد
31.5 ± 1.7 ^{bB}	57.2 ± 4.5 ^{aA}	G1
27.9 ± 2.6 ^{bB}	57.2 ± 4.5 ^{aA}	G2
35.4 ± 2.1 ^{bB}	57.2 ± 4.5 ^{aA}	G3
30.8 ± 3.5 ^{bB}	57.2 ± 4.5 ^{aA}	G4
فلاوونوئیدها (میلی گرم کتچین/۱۰۰ گرم میوه تازه)		
Flavonoids (mg catechin/100 g fresh fruits)		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
0.87 ± 0.02 ^{bB}	3.5 ± 0.09 ^{aA}	شاهد
1.78 ± 0.005 ^{cB}	3.5 ± 0.09 ^{aA}	G1
1.46 ± 0.036 ^{dB}	3.5 ± 0.09 ^{aA}	G2
2.01 ± 0.009 ^{eB}	3.5 ± 0.09 ^{aA}	G3
1.83 ± 0.02 ^{cB}	3.5 ± 0.09 ^{aA}	G4

آنتوسیانین (میلی گرم سیانیدین - ۳ - گلیکوزید Anthocyanin (mg of cyn-3-glu/100 g))		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
2.36 ± 0.3 ^{bB}	5.7 ± 0.2 ^{aA}	شاهد
3.12 ± 0.2 ^{cB}	5.7 ± 0.2 ^{aA}	G1
2.98 ± 0.3 ^{bB}	5.7 ± 0.2 ^{aA}	G2
3.87 ± 0.4 ^{dB}	5.7 ± 0.2 ^{aA}	G3
3.21 ± 0.6 ^{dB}	5.7 ± 0.2 ^{aA}	G4

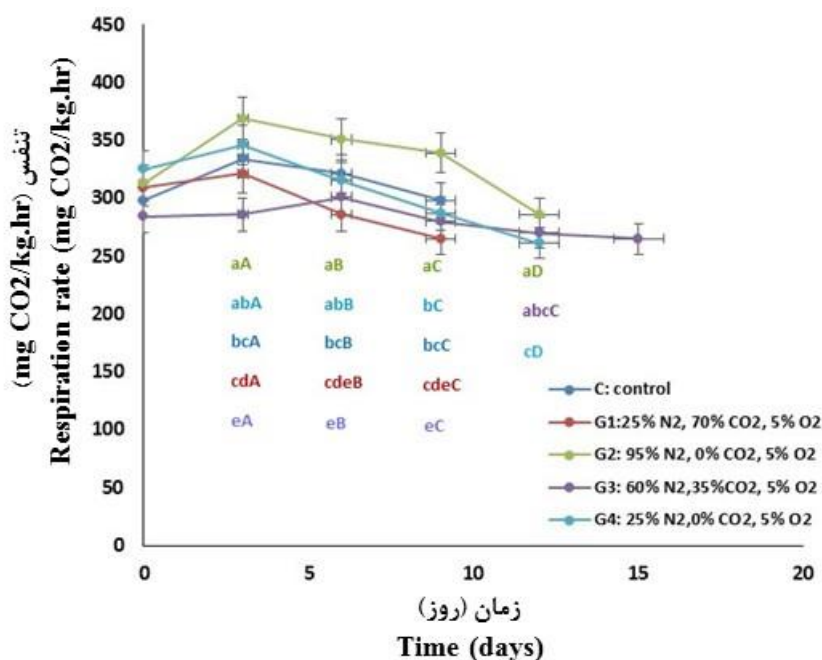
ظرفیت آنتی اکسیدان Antioxidant capacity (μmol of TE/100 g)		
مقدار نهایی (Final content)	مقدار اولیه (initial content)	
69.8 ± 7.21 ^{bB}	115 ± 10.1 ^{aA}	شاهد
80.4 ± 8.46 ^{bB}	115 ± 10.1 ^{aA}	G1
67.0 ± 10.5 ^{bB}	115 ± 10.1 ^{aA}	G2
86.5 ± 7.31 ^{bB}	115 ± 10.1 ^{aA}	G3
78.1 ± 9.31 ^{bB}	115 ± 10.1 ^{aA}	G4

در هر سطر و ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. داده‌ها شامل میانگین ± انحراف معیار می‌باشند.

Means with the same letter(s) are not significantly different at 5% level of probability. Data include mean ± standard error.

تنفس

شکل ۱ میزان تنفس انجیر سیاه نگهداری شده در ترکیبات مختلف گازی را نشان می‌دهد. همه نمونه‌های برداشت‌شده در مرحله بلوغ تجاری خصوصیات میوه فرازگرا را که به صورت افزایش میزان تنفس در مقطع خاصی از زمان می‌باشد، از خود نشان دادند. این افزایش برای نمونه‌های کنترل، G1، G2 و G4 در حدود روز سوم و برای نمونه G3 در حدود روز ششم مشاهده شد. روند تغییرات پس از گذشت این زمان به صورت معکوس درآمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب گازی G3 در به تعویق انداختن وقوع بیشینه تنفسی هر دو رقم و افزایش ماندگاری آن موثر بوده است. مطالعات انجام‌شده بر روی انجیر (Saleh, 2013 & Song *et al.*, 2017) و سبزیجات خرد شده (Conesa *et al.*, 2007) نیز نشان‌دهنده کاهش میزان تنفس در محصولات نگهداری‌شده در بسته‌های با اتمسفر تغییر یافته می‌باشد. میزان تنفس بین نمونه‌های مختلف در زمان‌های مختلف در سطح معنی‌داری متفاوت بود ($P < 0.05$) (Conesa *et al.*, 2007).



شکل ۱- میزان تنفس میوه‌های انجیر سیاه تحت تاثیر تیمارهای مختلف گازی در زمان‌های مختلف نگهداری (مقادیر میانگین حاصل سه تکرار \pm انحراف معیار می‌باشد. حروف کوچک بیانگر تفاوت آماری بین میانگین‌های تیمارهای مختلف و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت میانگین نمونه‌ها در روزهای مختلف آزمایش می‌باشد ($P < 0.05$)).

Fig. 1. Respiration rate of black fig fruit under the influence of different gas treatments in different storage times (Values represent the mean \pm standard deviation; $n = 3$. Columns with different small letters and capital letters differ statistically in means of different treatments and means of samples in different days; respectively ($P < 0.05$)).

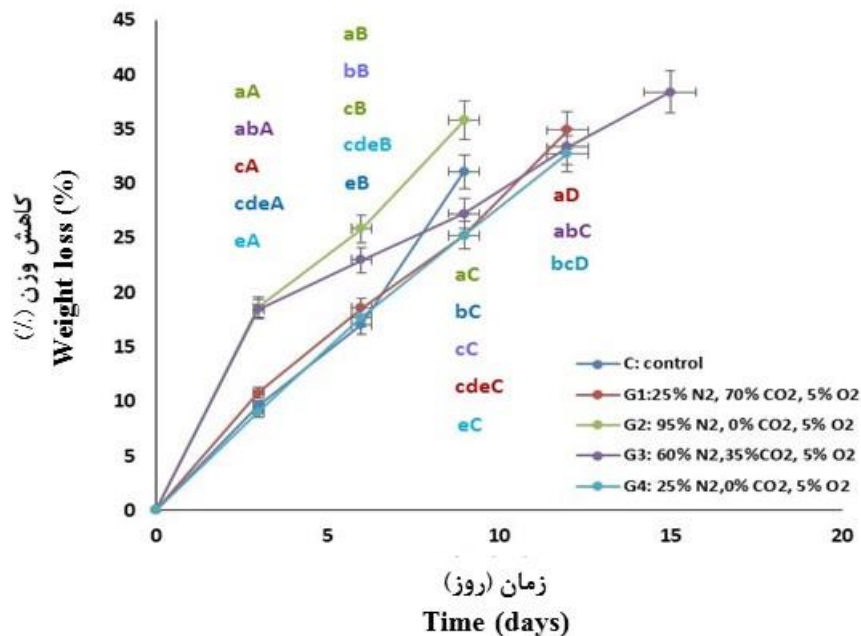
تغییرات وزن

در حین نگهداری، میوه‌ها بسته به نوع اتمسفر موجود در درون بسته‌بندی و زمان نگهداری حدود ۳۸-۹ درصد از وزن اولیه خود را در رقم انجیر سیاه از دست دادند. کاهش وزن به‌طور عمده به خاطر افت رطوبت از طریق تعرق (و تا حد بسیار کمی بخاطر کاهش میزان کربن به دلیل تبادلات گازی) می‌باشد (McGuire & Hallman, 1995).

شکل ۲ تغییرات وزن محصول را به صورت تابعی از زمان نگهداری در رقم انجیر سیاه نشان می‌دهد. در طول آزمایش درصد افت وزن در نمونه‌های کنترل و پس از آن ترکیب گازی G2 بیش از سایر نمونه‌ها بود ($P < 0.05$). نمونه‌های کنترل و ترکیب گازی G2 حدود ۳۱ و ۳۶ درصد از وزن اولیه خود را در مدت ۹ روز در رقم سیاه از دست دادند، در حالی که این میزان برای نمونه‌های ترکیب گازی G3 معادل ۱۶ درصد در این مدت زمان و ۳۲/۵ درصد به مدت ۱۵ روز بود. از روز سوم به بعد تفاوت بین میزان کاهش وزن در نمونه G3 با سایر نمونه‌ها افزایش یافت. تیمارهای G1 و G4 نیز به ترتیب پس از ۱۲ روز حدود ۳۲ و ۳۴ درصد وزن اولیه خود را از دست دادند. بروز آلودگی‌های قارچی سبب شد که انجام آزمایشات بیش از این مدت زمان امکان پذیر نباشد.

پوست میوه‌های انجیر بسیار نازک بوده که باعث می‌شود میوه‌ها نسبت به شرایط نگهداری حساس بوده و به سرعت دچار افت وزن می‌شوند. مکانیسم اولیه اتلاف رطوبت از میوه‌های تازه از طریق انتشار به‌واسطه گرادیان فشار بخار آب بین داخل و خارج میوه صورت می‌گیرد. تنفس میوه نیز سبب اتلاف وزن می‌شود زیرا قندها را تجزیه می‌کند و سبب از دست رفتن آب محصول می‌شود (Amal et al. 2010 & Kahramanoğlu, 2019). تغییر ترکیب گازی با تغییر میزان تنفس بر میزان افت وزن نمونه‌ها تاثیر می‌گذارد. دما و رطوبت نسبی محیط نیز فاکتورهای مهمی هستند زیرا نیروهای لازم را برای اتلاف رطوبت به‌صورت اختلاف فشار بخار آب بین میوه و اتمسفر ایجاد می‌کنند. مطالعه حاضر نشان داد که بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته شرایط بهتری را برای نگهداری میوه‌های انجیر سیاه فراهم کرده و افت وزن محصول را از طریق تنفس و تعرق کاهش می‌دهد. نتایج

فوق مطابق با مطالعات قبلی می‌باشد که نشان می‌دهند کاربرد اتمسفر تغییر یافته در نگهداری نارنگی (Del-Valle *et al.*, 2009)، انار (Kahramanoğlu *et al.*, 2018)، انجیر (Saleh, 2013) و بعضی دیگر از میوه‌ها و سبزی‌ها (Mangaraj & Goswami, 2009) افت وزن محصول را در حین نگهداری کاهش می‌دهد. (& Sandhya, 2010)



شکل ۲- تغییرات وزن میوه‌های انجیر سیاه تحت تاثیر تیمارهای مختلف گازی در زمان‌های مختلف نگهداری (مقادیر میانگین حاصل سه تکرار \pm انحراف معیار می‌باشد. حروف کوچک بیانگر تفاوت آماری بین میانگین‌های تیمارهای مختلف و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت میانگین نمونه‌ها در روزهای مختلف آزمایش می‌باشد ($P < 0.05$)).

Fig. 2. Weight loss percentage of black fig fruit under the influence of different gas treatments in different storage times (Values represent the mean \pm standard deviation; n = 3. Columns with different small letters and capital letters differ statistically in means of different treatments and means of samples in different days; respectively ($P < 0.05$)).

اتلاف وزن میوه‌ها در حین نگهداری از یک مدل خطی و طبق رابطه‌های ۸ تا ۱۲ برای انجیر سیاه تبعیت می‌کند:

$y = 3.359x - 0.659$	$R^2 = 0.983$	رابطه (۸) - نمونه شاهد
$y = 2.809x + 1.053$	$R^2 = 0.994$	رابطه (۹) - ترکیب‌گازی G1
$y = 3.822x + 2.870$	$R^2 = 0.958$	رابطه (۱۰) - ترکیب‌گازی G2
$y = 2.2948x + 6.2046$	$R^2 = 0.910$	رابطه (۱۱) - ترکیب‌گازی G3
$y = 2.725x + 0.601$	$R^2 = 0.910$	رابطه (۱۲) - ترکیب‌گازی G4

افت وزن میوه‌ها در همه دماها از واکنش مرتبه صفر تبعیت کرد (۱۹). ثابت سرعت k ، که از رگرسیون افت وزن در برابر زمان نگهداری بدست می‌آید در جدول ۱ نشان داده شده و در همه شرایط از برازش خوبی برخوردار بود. با افزایش دمای نگهداری مقدار k افزایش یافت که بیانگر افزایش سرعت تغییرات کیفی بود. مقادیر انرژی فعال‌سازی هر نمونه نیز در جدول ۲ نشان‌دهنده شده است. مقدار R^2 برای نمونه شاهد و تیمار گازی به ترتیب ۰/۹۸۰ و ۰/۹۷۴ و برای نمونه‌های شاهد و تیمار گازی بوده است.

جدول ۲- پارامترهای سینتیک افت وزن برای نمونه‌های شاهد و تیمارگازی G3 رقم انجیر سیاه در دماهای مختلف.
Table 2. Kinetic parameters of weight loss for control and G3 gas treatment of black fig fruits at different temperatures.

R ²	مقدار k (۱/روز) K value (1/day)	تیمار treatment	دمای نگهداری (°C) Storage temperature (°C)
0.985	3.35	شاهد (control)	4
0.910	2.29	تیمار گازی G3	4
0.983	6.38	شاهد (control)	10
0.887	4.27	تیمار گازی G3	10
0.994	7.11	شاهد (control)	15
0.860	6.02	تیمار گازی G3	15
170.4	شاهد: 181.2	تیمار گازی G3	انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول) Activation Energy (kJ/mole)
G3	control		

تغییرات رنگ

پارامترهای رنگ کلیه نمونه‌ها در حین زمان نگهداری تغییر کرد (اشکال ۳ الف-د). با گذشت زمان تفاوت در تاثیر تیمارها بر روی رنگ میوه‌ها افزایش یافت. تیمارهای G3 و G4 کمترین میزان تغییر در پارامترهای رنگ را نشان دادند. شکل ۳-الف کاهش میزان روشنایی یا L* را در انجیر رقم سیاه در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود کمترین تغییرات L* مربوط به تیمار گازی G3 است که با نمونه کنترل و سایر تیمارها دارای تفاوت معنی‌داری می‌باشد (P<0.05). از آنجایی که مقدار L* بیانگر اندازه رنگ در محور روشنایی-تاریکی می‌باشد، کاهش مقدار آن نشانه کاهش روشنایی نمونه در حین نگهداری است. تغییرات L* در حین نگهداری از مدل لگاریتمی طبق رابطه‌های ۳۰ تا ۱۷ تبعیت کرد:

$y=34.524e^{-0.054x}$	$R^2 = 0.970$	رابطه (۱۳) - نمونه شاهد
$y=33.201e^{-0.034x}$	$R^2 = 0.997$	رابطه (۱۴) - ترکیب‌گازی G1
$y=33.359e^{-0.041x}$	$R^2 = 0.951$	رابطه (۱۵) - ترکیب‌گازی G2
$y=34.093e^{-0.032x}$	$R^2 = 0.990$	رابطه (۱۶) - ترکیب‌گازی G3
$y=32.393e^{-0.033x}$	$R^2 = 0.914$	رابطه (۱۷) - ترکیب‌گازی G4

شکل ۳-ب نشان‌دهنده تغییرات شدت رنگ (کروما) در نمونه‌های مختلف انجیر سیاه می‌باشد. همان‌طوری که در این شکل دیده می‌شود مقدار کروما در رقم انجیر سیاه با افزایش زمان نگهداری کاهش یافته است که بیانگر کم‌رنگ شدن و کاهش شدت رنگ میوه نسبت به روز اول بود. مقدار کروما نمونه‌های نگهداری شده در تیمار گازی G3 با سرعت کمتری نسبت به سایر نمونه‌ها تغییر کرد (P<0.05) هر چند که بین این نمونه و تیمار گازی G4 تغییر معنی‌داری مشاهده نشد. مقادیر به‌دست آمده مشابه با داده‌های Solomon و همکاران (۲۰۰۶) بود.

تغییرات a* در حین نگهداری از مدل خطی و طبق رابطه‌های ۱۸ تا ۲۲ تبعیت کرد:		
$y=- 11.551e^{-0.09x}$	$R^2 = 0.970$	رابطه (۱۸) - نمونه شاهد
$y=- 9.8802e^{-0.044x}$	$R^2 = 0.868$	رابطه (۱۹) - ترکیب‌گازی G1
$y=- 9.9426e^{-0.063x}$	$R^2 = 0.966$	رابطه (۲۰) - ترکیب‌گازی G2
$y=- 10.735e^{-0.035x}$	$R^2 = 0.887$	رابطه (۲۱) - ترکیب‌گازی G3
$y=- 11.217e^{-0.039x}$	$R^2 = 0.842$	رابطه (۲۲) - ترکیب‌گازی G4

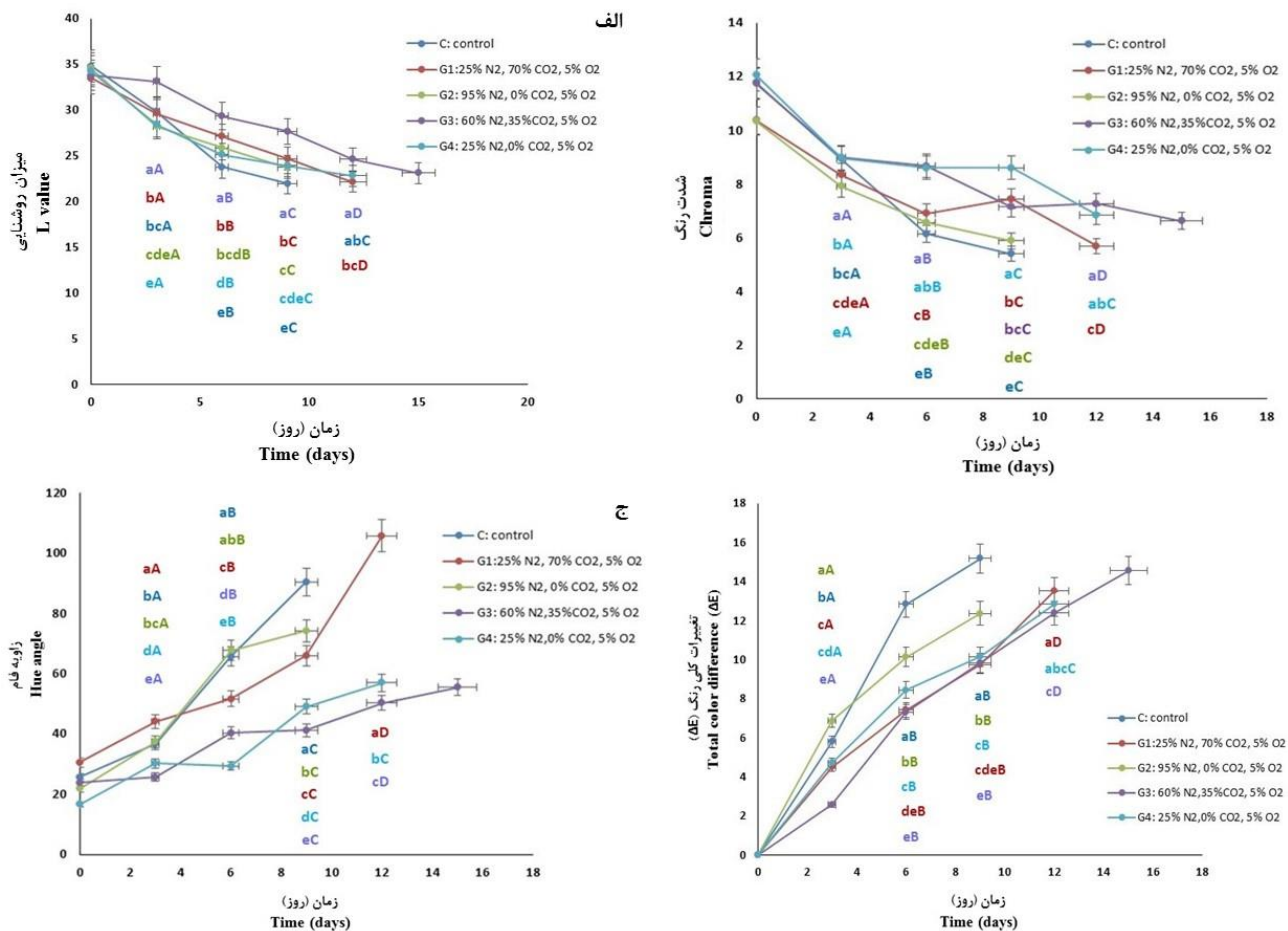
شکل ۳- ج نشان دهنده تغییرات مقدار زاویه فام در نمونه‌های مختلف انجیر رقم سیاه می‌باشد. همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌شود مقدار زاویه فام در رقم انجیر سیاه با افزایش زمان نگهداری افزایش یافت. نتایج نشان داد که زاویه فام نمونه‌های نگهداری شده در تیمار گازی G3 با سرعت کمتری نسبت به نمونه‌های شاهد، G1 و G2 تغییر کرد ($P < 0.01$)، اما با نمونه G4 اختلاف کمتری داشت ($P < 0.05$).

	تغییرات b^* در حین نگهداری طبق رابطه‌های ۲۳ تا ۲۷ از مدل لگاریتمی تبعیت کرد:	
$y = 0.2524e^{0.1457x}$	$R^2 = 0.987$	رابطه (۲۳) - نمونه شاهد
$y = 0.3066e^{0.0962x}$	$R^2 = 0.970$	رابطه (۲۴) - ترکیب گازی G1
$y = 0.2373e^{0.1422x}$	$R^2 = 0.932$	رابطه (۲۵) - ترکیب گازی G2
$y = 0.2266e^{0.0924x}$	$R^2 = 0.958$	رابطه (۲۶) - ترکیب گازی G3
$y = 0.1818e^{0.0978x}$	$R^2 = 0.922$	رابطه (۲۷) - ترکیب گازی G4

شکل ۳-د افزایش میزان تغییرات کلی رنگ را در همه تیمارهای رقم انجیر سیاه در مدت نگهداری نشان می‌دهد. این پارامتر که تلفیقی از مقادیر L^* ، a^* و b^* می‌باشد به صورت متداول برای تعیین خصوصیات حسی رنگ یک محصول استفاده می‌شود. بطوریکه در این شکل مشاهده می‌شود نمونه بسته‌بندی شده در ترکیب گازی G3 کمترین سرعت را از لحاظ تغییر رنگ نشان داده است که تفاوت این تیمار با تیمارهای کنترل و G2 معنی‌دار بوده ($P < 0.05$) ولی با تیمار G1 و G4 اختلاف معنی‌داری ندارد.

	تغییرات ΔE در حین نگهداری به صورت خطی و طبق رابطه‌های ۲۸ تا ۳۲ می‌باشد:	
$y = 1.75x + 0.573$	$R^2 = 0.967$	رابطه (۲۸) - نمونه شاهد
$y = 1.07x + 0.584$	$R^2 = 0.988$	رابطه (۲۹) - ترکیب گازی G1
$y = 1.35x + 1.29$	$R^2 = 0.934$	رابطه (۳۰) - ترکیب گازی G2
$y = 0.997x + 0.306$	$R^2 = 0.984$	رابطه (۳۱) - ترکیب گازی G3
$y = 1.028x + 2.01$	$R^2 = 0.899$	رابطه (۳۲) - ترکیب گازی G4

احتمال دارد فعالیت آنزیمی گیاه در جهت کاهش کلروفیل بر اثر کلروفیل‌لاز و افزایش فعالیت پلی‌فنول اکسیداز در تغییر رنگ محصول سهم عمده‌ای داشته و افزایش فعالیت آنزیمی با میزان اکسیژن و دی‌اکسید کربن موجود در بسته‌ها مرتبط باشد (Fakhrian *et al.*, 2010). تغییرات کمتر رنگ در بعضی نمونه‌ها به‌ویژه میوه‌های بسته‌بندی شده در تیمار گازی G3، احتمالاً به دلیل تاثیر تغییر اتمسفر گازی بسته می‌باشد. وجود CO_2 در اتمسفر اطراف محصول فاکتور مهمی در ممانعت از تجزیه کلروفیل و سایر رنگدانه‌ها می‌باشد. تجزیه کمتر کلروفیل در کلم بروکلی، زردآلو و هلو به‌واسطه افزایش مقدار CO_2 و کاهش مقدار O_2 گزارش شده است (Salunkhe *et al.*, 1991).



شکل ۳- تغییرات پارامترهای رنگ در نمونه های انجیر سیاه تحت تاثیر تیمارهای مختلف گازی در زمان های مختلف نگهداری: الف) میزان روشنایی، ب) میزان شدت رنگ (کروما)، ج) میزان زاویه فام و د) تغییرات کلی رنگ (ΔE) (مقادیر میانگین حاصل سه تکرار \pm انحراف معیار می باشد. حروف کوچک بیانگر تفاوت آماری بین میانگین های تیمارهای مختلف و حروف بزرگ نشان دهنده تفاوت میانگین نمونه ها در روزهای مختلف آزمایش می باشد).

Fig. 3. Changes in color parameters of black fig fruits under the influence of different gas treatments at different storage times: a) L^* value, b) chroma value, c) hue angle value, and d) Total color difference (ΔE) (Values represent the mean \pm standard deviation; $n = 3$. Columns with different small letters and capital letters differ statistically in means of different treatments and means of samples in different days; respectively)

مدل های مرتبه صفر و یک برای کلیه پارامترهای رنگ آزموده شد. مشخص گردید که مدل مرتبه صفر برای مقدار ΔE و مدل مرتبه یک برای کروما و زاویه فام مناسب بوده و برازش خوبی با داده های بدست آمده دارد. جدول ۳ پارامترهای سینتیک مربوط به تغییرات رنگ انجیر را برای هر دو نمونه شاهد و تیمار گازی G3 نشان می دهد. مدل سینتیک درجه یک برای مقادیر L^* ، کروما و زاویه فام و مدل مرتبه صفر برای داده های ΔE در محصولات مختلف تایید شده است (Pereira *et al.*, 2015; Demiray & Tulek, 2015; Mirmajidi *et al.*, 2016; ; Kahramanoğlu *et al.*, 2018; Chikpah *et al.*, 2022)

جدول ۳- پارامترهای سینتیک تغییرات رنگ برای نمونه‌های شاهد و تیمارگازی G3 انجیر رقم سیاه در دماهای مختلف.

Table 3. Kinetic parameters of color changes for control and G3 gas treatment of black fig fruits at different temperatures.

L*			
R ²	مقدار k (۱/روز) K value (1/day)	تیمار treatment	دمای نگهداری (°C) Storage temperature (°C)
0.970	-0.0232	شاهد (control)	4
0.989	-0.0139	تیمار گازی G3	4
0.885	-0.0387	شاهد (control)	10
0.919	-0.0204	تیمار گازی G3	10
0.898	-0.072	شاهد (control)	15
0.792	-0.0417	تیمار گازی G3	15
تیمار گازی G3: 65.26		شاهد: 73.28	انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول) Activation Energy (kJ/mole)
G3		control	
کروما (Chroma)			
R ²	مقدار k (۱/روز) K value (1/day)	تیمار treatment	دمای نگهداری (°C) Storage temperature (°C)
0.927	0.0392	شاهد (control)	4
0.887	0.0152	تیمار گازی G3	4
0.979	0.0472	شاهد (control)	10
0.994	0.0227	تیمار گازی G3	10
0.986	0.0729	شاهد (control)	15
0.937	0.0323	تیمار گازی G3	15
تیمار گازی G3: 1.02		شاهد: 1.98	انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول) Activation Energy (kJ/mole)
G3		control	
زاویه فام (hue angle)			
R ²	مقدار k (۱/روز) K value (1/day)	تیمار treatment	دمای نگهداری (°C) Storage temperature (°C)
0.997	0.0746	شاهد (control)	4
0.977	0.0430	تیمار گازی G3	4
0.980	0.110	شاهد (control)	10
0.957	0.0537	تیمار گازی G3	10
0.973	0.145	شاهد (control)	15
0.970	0.0667	تیمار گازی G3	15
تیمار گازی G3: 0.0388		شاهد: 0.0521	انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول) Activation Energy (kJ/mole)
G3		control	
ΔE			
R ²	مقدار k (۱/روز) K value (1/day)	تیمار treatment	دمای نگهداری (°C) Storage temperature (°C)
0.979	2.11	شاهد (control)	4
0.980	1.34	تیمار گازی G3	4
0.980	2.74	شاهد (control)	10
		تیمار گازی G3	10
		شاهد (control)	15
		تیمار گازی G3	15
تیمار گازی G3: 50.8		شاهد: 76.8	انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول) Activation Energy (kJ/mole)

G3	control	Activation Energy (kJ/mole)
----	---------	--------------------------------

تغییرات سفتی بافت

سفتی بافت میوه یک ویژگی مهم برای تعیین کیفیت بسیاری از میوه‌هاست. پس از برداشت تیمارهای اعمال شده بر روی میوه می‌تواند به شدت بر استحکام و بافت میوه تاثیر گذارد (Kahramanoğlu, 2019).

سفتی بافت کلیه تیمارها با گذشت زمان کاهش یافت (شکل ۴)، ولی کاربرد اتمسفر تغییر یافته در حفظ سفتی بافت موثر بود. روند تغییرات بافت نشان داد که موثرترین تیمار در ممانعت از کاهش سفتی بافت ارقام انجیر تیمار گازی G3 بوده است و این تیمار علیرغم وجود بعضی نوسانات در داده‌های مربوط به سفتی تفاوت معنی‌دار ($P < 0.05$) و بسیار معنی‌داری ($P < 0.01$) در روزهای مختلف آزمایش با سایر تیمارها نشان داد. کمترین تاثیر در حفظ بافت مربوط به تیمار گازی G2 بود ($P < 0.01$).

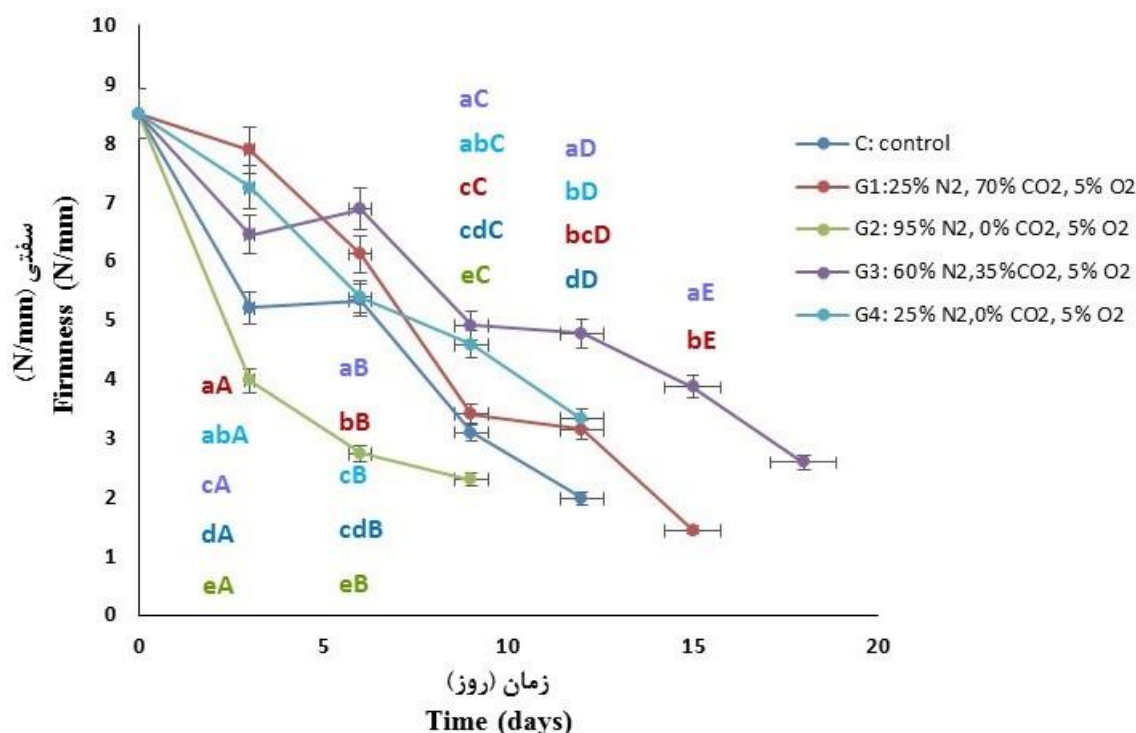
حفظ بافت میوه در نتیجه به تعویق افتادن تجزیه پروتوپکتین‌های نامحلول به اسید پکتیک و پکتین محلول می‌باشد. در حین رسیدن میوه به واسطه افزایش فعالیت پکتین استراز و پلی‌گالاکتوروناز، دی‌پلیمریزه شدن یا کوتاه شدن زنجیره‌های پکتین اتفاق می‌افتد. غلظت کم اکسیژن و غلظت بالای دی‌اکسیدکربن فعالیت این آنزیم‌ها را کاهش داده و باعث حفظ سفتی بافت میوه در حین نگهداری می‌شود (Salunkhe *et al.*, 1991). مشابه با نتایج به دست آمده، تغییرات بافت محصولات مختلف در حین نگهداری با اتمسفر تغییر یافته در مطالعات دیگری نیز گزارش شده است (Pereira *et al.*, 2015 & Maftoonazad & Ramaswamy, 2019).

نرم شدن بافت نمونه‌های مختلف انجیر در حین نگهداری از مدل لگاریتمی و طبق رابطه‌های ۳۳ تا ۳۷ تغییر کرد:

$y=10.308e^{-0.128x}$	$R^2 = 0.964$	رابطه (۳۳) - نمونه شاهد
$y=8.6882e^{-0.094x}$	$R^2 = 0.937$	رابطه (۳۴) - ترکیب گازی G1
$y=10.049e^{-0.123x}$	$R^2 = 0.894$	رابطه (۳۵) - ترکیب گازی G2
$y=9.2332e^{-0.081x}$	$R^2 = 0.873$	رابطه (۳۶) - ترکیب گازی G3
$y=9.9499e^{-0.1x}$	$R^2 = 0.990$	رابطه (۳۷) - ترکیب گازی G4

در همه دماها تیمار گازی G3 سبب حفظ بیشتر بافت محصول نسبت به نمونه کنترل شد ($P < 0.01$). نگهداری محصول در دماهای پایین تر تغییرات بافت را به تعویق انداخت.

مقادیر k محاسبه شده از رگرسیون لگاریتم سفتی بافت در برابر زمان نگهداری و نیز مقادیر انرژی فعال سازی در جدول ۴ خلاصه شده است. با افزایش دمای نگهداری مقادیر k در همه نمونه‌ها افزایش یافت. مقدار R^2 برای نمونه شاهد و تیمار گازی به ترتیب ۰/۹۹۹ و ۰/۹۷۵ برای نمونه‌های شاهد و تیمار گازی رقم انجیر سیاه بوده است.



شکل ۴- تغییرات سفتی بافت در نمونه‌های انجیر سیاه تحت تاثیر تیمارهای مختلف گازی در زمان‌های مختلف نگهداری (مقادیر میانگین حاصل سه تکرار \pm انحراف معیار می‌باشد. حروف کوچک بیانگر تفاوت آماری بین میانگین‌های تیمارهای مختلف و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت میانگین نمونه‌ها در روزهای مختلف آزمایش می‌باشد).

Fig. 4. Changes in firmness of black fig samples under the influence of different gas treatments at different storage times (Values represent the mean \pm standard deviation; n = 3. Columns with different small letters and capital letters differ statistically in means of different treatments and means of samples in different days; respectively)

جدول ۴- پارامترهای سینتیک تغییرات بافت برای نمونه‌های شاهد و تیمارگازی G3 رقم انجیر سیاه در دماهای مختلف.

Table 4. Kinetic parameters of firmness changes for control and G3 gas treatment of black fig fruits at different temperatures.

R ²	مقدار k (1/روز)	تیمار	دمای نگهداری (°C)
	K value (1/day)	Treatment	Storage temperature (°C)
0.965	-0.0555	شاهد (Control)	4
0.993	-0.0397	تیمار گازی G3	4
0.968	-0.0777	شاهد (Control)	10
0.984	-0.0470	تیمار گازی G3	10
0.896	-0.100	شاهد (Control)	15
0.938	-0.0595	تیمار گازی G3	15
24.11: G3	شاهد: 35.58		انرژی فعال سازی (کیلوژول/مول)
G3	Control		Activation Energy (kJ/mole)

بررسی میزان آلودگی نمونه‌ها

جدول ۴ تعداد و درصد میوه‌های آلوده به قارچ را برای نمونه‌های مختلف انجیر سیاه در طول مدت نگهداری نشان می‌دهد. آلودگی میکروبی نمونه‌های انجیر با گذشت زمان افزایش یافت. تا روز سوم نگهداری تفاوت معنی‌داری بین تیمارها و نمونه شاهد مشاهده نشد، ولی پس از آن در نمونه شاهد و تیمار G2 افزایش یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کمترین درصد آلودگی

در طول زمان مربوط به تیمار گازی G3 بود و نمونه‌های بسته‌بندی شده با این ترکیب گازی تا روز پانزدهم نگهداری وضعیت قابل پذیرشی داشتند. نتایج مربوط به کارایی بالاتر بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته در کاهش آلودگی میکروبی محصولات در مطالعات قبلی نیز تایید شده است (Garcia *et al.*, 2012; Ibrahim *et al.*, 2017 & Kahramanoğlu, 2019).

جدول ۵- درصد آلودگی به قارچ میوه‌ها در طول دوره آزمایش

Table 5. Percentage of fruits infected with fungus during the test period.

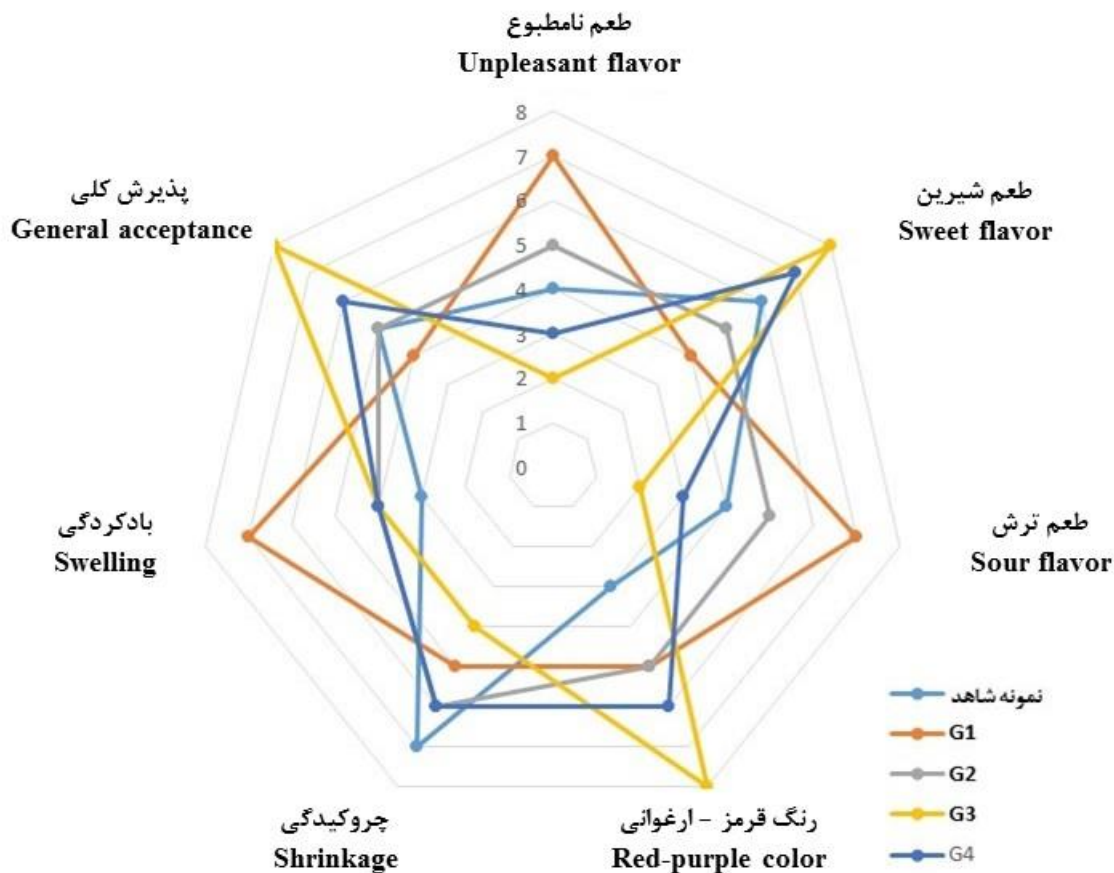
تیمار Treatment					روز Day
تیمار گازی G4	تیمار گازی G3	تیمار گازی G2	تیمار گازی G1	نمونه شاهد	
0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	0 ^{aA}	صفر (۰)
20 ± 2.5 ^{bc}	6 ± 0 ^{bd}	20 ± 3.5 ^{bc}	13 ± 2.0 ^{bb}	13 ± 5.5 ^{bb}	سوم (۳)
23 ± 4.9 ^{bcBE}	7 ± 1.5 ^{bcD}	38 ± 8 ^{cAC}	23 ± 5.7 ^{cB}	38 ± 4.6 ^{cA}	ششم (۶)
44 ± 7.5 ^{dbF}	15 ± 3.3 ^{dD}	75 ± 7.5 ^{dAC}	40 ± 8.8 ^{dB}	75 ± 9.2 ^{dA}	نهم (۹)
28 ± 3.6 ^{beE}	18 ± 5.2 ^{deD}		50 ± 6.1 ^{defB}		دوازدهم (۱۲)
	22 ± 3.5 ^{efD}		60 ± 4.0 ^{fB}		پانزدهم (۱۵)

مقادیر میانگین حاصل سه تکرار ± انحراف معیار به صورت تجمعی می‌باشد. حروف کوچک بیانگر تفاوت آماری بین میانگین‌های هر تیمار در روزهای مختلف (ستون‌های مختلف) و حروف بزرگ نشان‌دهنده تفاوت میانگین نمونه‌ها در روزهای مختلف آزمایش (سطر جدول) می‌باشد.

Values represent the mean ± standard deviation; n = 3. Columns with different small letters and capital letters differ statistically in means of different treatments and means of samples in different days; respectively

ارزیابی حسی

نتایج ارزیابی حسی نشان داد که تفاوت‌های معنی‌داری بین تیمارهای مختلف وجود دارد (شکل ۵). بعد از روز چهارم نگهداری نمونه G1 که در معرض غلظت بالای دی‌اکسید کربن بودند به دلیل بوی نامطبوع و طعم ترش از لحاظ حسی مردود اعلام شدند. بوی نامطبوع در نمونه‌های G2 و G4 چندان قابل تشخیص نبود؛ ولی طعم ترش در نمونه G2 در روز ششم تشخیص داده شد. نمونه G3 از لحاظ بوی نامطبوع و طعم ترش پایین‌ترین نمره را به خود اختصاص داد. بررسی پذیرش کلی نمونه‌ها نشان داد که میانگین امتیازات داده شده در همه تیمارها در طول زمان نگهداری کاهش یافت. بیشترین تغییر رنگ و جروکیدگی مربوط به نمونه شاهد بود. از لحاظ میزان شیرینی نمونه شاهد در رتبه سوم پس از تیمارهای G3 و G4 قرار داشت.



شکل ۵- امتیازات داده شده به نمونه‌های مختلف بر اساس مقیاس هدونیک میانگین امتیازات (۱ تا ۹) برای بوی نامطبوع (محور ۱)، طعم شیرین (محور ۲)، طعم ترش (محور ۳)، رنگ قرمز - ارغوانی (محور ۴)، چروکیدگی (محور ۵)، بادکردگی (محور ۶) و پذیرش کلی (محور ۷) می‌باشد.

Fig. 5. Sensory scores for the attributes on the hedonic scale. Average scores (scale 1-9) for off-flavor (axis 1), sweetness (axis 2), sourness (axis 3), red-purple color (axis 4), shrinkage (axis 5), swelling (axis 6) and overall acceptability (axis 7).

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که تغییر خصوصیات کیفی میوه‌های انجیر نگهداری شده در اتمسفر تغییر یافته بستگی به ترکیب گازی دارد. ترکیب گازی G3 (۵ درصد اکسیژن، ۳۵ درصد دی اکسید کربن و ۶۰ درصد نیتروژن) به خوبی توانست فساد میوه‌ها و همه پارامترهای مربوطه یعنی کاهش وزن، کاهش سفتی و تغییرات رنگ را به تعویق اندازد. ترکیب گازی G3 شرایط بهتری را نسبت به هوای معمولی در هنگام نگهداری در بسته ایجاد نمود. دماهای بالاتر به ویژه در زمان‌های طولانی اثر معکوسی بر خصوصیات کیفی میوه داشتند. کلیه تغییرات در دماهای بالاتر با سرعت بیشتری انجام شد و در این میان ترکیب گازی G3 شرایط بهتری را نسبت به هوای معمولی در هر کدام از دماها در هنگام نگهداری در بسته ایجاد نمود. بعضی تغییرات کیفی در طول زمان با مدل مرتبه اول (لگاریتمی) و بعضی دیگر با مدل مرتبه صفر (خطی) به خوبی برازش یافتند. ارتباط ثابت سرعت واکنش با استفاده از رابطه آرنیوس با دما به دست آمد و مقادیر ثابت سرعت و انرژی فعال سازی برای تسهیل استفاده از مدل‌های بدست آمده گزارش شدند.

References

Adiletta, G., Petriccione, M., & Di Matteo, M. (2022). Effects of Passive Modified Atmosphere Packaging on Physico-Chemical Traits and Antioxidant Systems of 'Dottato' Fresh Fig. *Horticulturae*, 8(8), 709.

منابع

- Agricultural statistics, 3th volume: Horticultural products. 2021. Ministry of Jihad and Agriculture, Planning and Economic Deputy, Information and Communication Technology Center (In Persian).
- Amal, S. A., El-Mogy, M., Aboul-Anean, H., & Alsanius, B. (2010). Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants*, 2(3), 88-97.
- Bahar, A., & Lichter, A. (2018). Effect of controlled atmosphere on the storage potential of Ottomanit fig fruit. *Scientia Horticulturae*, 227, 196-201.
- Chikpah, S. K., Korese, J. K., Sturm, B., & Hensel, O. (2022). Colour change kinetics of pumpkin (*Cucurbita moschata*) slices during convective air drying and bioactive compounds of the dried products. *Journal of Agriculture and Food Research*, 10, 100409.
- Colelli, G., Mitchell, F. G., & Kader, A. A. (1991). Extension of Postharvest Life of Mission Figs by CO₂-enriched Atmospheres. *HortScience*, 26(9), 1193-1195.
- Conesa, A., Verlinden, B. E., Artés-Hernández, F., Nicolai, B., & Artés, F. (2007). Respiration rates of fresh-cut bell peppers under supertatmospheric and low oxygen with or without high carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology*, 45(1), 81-88.
- Crisosto, H., Ferguson, L., Bremer, V., Stover, E., & Colelli, G. (2011). Fig (*Ficus carica* L.). In *Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits* (pp. 134-160e): Elsevier.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Catalá, R., & Gavara, R. (2009). Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments. *Journal of Food Engineering*, 91(3), 474-481.
- del Carmen Villalobos, M., Serradilla, M. J., Martin, A., Ruiz-Moyano, S., Pereira, C., & de Guía Córdoba, M. (2014). Use of equilibrium modified atmosphere packaging for preservation of 'San Antonio' and 'Banane' breba crops (*Ficus carica* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 98, 14-22.
- Demiray, E., & Tulek, Y. (2015). Color degradation kinetics of carrot (*Daucus carota* L.) slices during hot air drying. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 800-805.
- Fakharian, N., M. Hasanpour Asil, and M. Askari. 2010. The influence of modified atmosphere packaging and cold storage on quality and quantity characteristics of two varieties of lettuce. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 5: 37-50 (In Persian).
- Garcia, L. C., Pereira, L. M., de Luca Sarantópoulos, C. I., & Hubinger, M. D. (2012). Effect of antimicrobial starch edible coating on shelf-life of fresh strawberries. *Packaging Technology and Science*, 25(7), 413-425.
- Giannakourou, M. C., Lazou, A. E., & Dermesonlouoglou, E. K. (2020). Optimization of osmotic dehydration of tomatoes in solutions of non-conventional sweeteners by response surface methodology and desirability approach. *Foods*, 9(10), 1393.
- Hernández Méndez, T., Gervasini Rodriguez, C., & Bernalte García, J. (2001). *Sensory quality of cv. Tiberio breba*. Paper presented at the II International Symposium on Fig 605.
- Ibrahim, M., Sharoba, A., El Waseif, K., El Mansy, H., & El Tanahy, H. (2017). Effect of edible coating by chitosan with lemongrass and thyme oils on strawberry quality and shelf life during storage. *Journal of Food Technology and Nutrition Sciences*, 3(1), 1-11.

- Islam, M. K., Khan, M., Sarkar, M., Absar, N., & Sarkar, S. (2013). Changes in acidity, TSS, and sugar content at different storage periods of the postharvest mango (*Mangifera indica* L.) influenced by Bavistin DF. *International Journal of Food Science*, 8p . <https://doi.org/10.1155/2013/939385>
- Kahramanoğlu, İ. (2019). Effects of lemongrass oil application and modified atmosphere packaging on the postharvest life and quality of strawberry fruits. *Scientia Horticulturae*, 256, 108527.
- Kahramanoğlu, İ., Aktaş, M., & Gündüz, Ş. (2018). Effects of fludioxonil, propolis and black seed oil application on the postharvest quality of “Wonderful” pomegranate. *Plos One*, 13(5), e0198411.
- Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2019). Application and evaluation of a pectin-based edible coating process for quality change kinetics and shelf-life extension of lime fruit (*Citrus aurantifolium*). *Coatings*, 9(5), 285.
- Mangaraj, S., & Goswami, T. K. (2009). Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables for extending shelf-life-A review. *Fresh Produce*, 3(1), 1-31.
- McGuire, R. G., & Hallman, G. J. (1995). Coating guavas with cellulose-or carnauba-based emulsions interferes with postharvest ripening. *HortScience*, 30(2), 294-295.
- Mirmajidi, A., R. Famil momen, and F. Goudarzi. 2016. Reducing agricultural products loss and waste, the main strategy in improving food security. No. 50875, Agricultural Engineering Institute, Karaj, Iran (In Persian).
- Mishra, R., & Kar, A. (2014). Effect of storage on the physicochemical and flavour attributes of two cultivars of strawberry cultivated in Northern India. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Palmeira, L., Pereira, C., Dias, M. I., Abreu, R. M., Corrêa, R. C., Pires, T. C., . . . Ferreira, I. C. (2019). Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (*Ficus carica* L.) variety. *Food Research International*, 126, 108572.
- Pereira, C., Serradilla, M. J., Martín, A., del Carmen Villalobos, M., Pérez-Gragera, F., & López-Corrales, M. (2015). Agronomic behaviour and quality of six fig cultivars for fresh consumption. *Scientia Horticulturae*, 185, 121-128.
- Saleh, A. (2013). Utilization of modified atmosphere packaging to extend the shelf-life of fresh figs. *Biotechnology*, 12(2), 81-86.
- Salunkhe, D. K., Bolin, H. R., & Reddy, N. R. (1991). *Storage, processing, and nutritional quality of fruits and vegetables. Volume I. Fresh fruits and vegetables*: CRC press.
- Sandhya. (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT-Food Science and Technology*, 43(3), 381-392.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., . . . Flaishman, M. A. (2006). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717-7723.
- Song, C., Li, A., Chai, Y., Li, Q., Lin, Q., & Duan, Y. (2019). Effects of 1-Methylcyclopropene combined with modified atmosphere on quality of fig (*Ficus carica* L.) during postharvest storage. *Journal of Food Quality*, 2019, 1-9.
- Song, J., Wang, X., Li, D., & Liu, C. (2017). Degradation kinetics of carotenoids and visual colour in pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) slices during microwave-vacuum drying. *International Journal of Food Properties*, 20(sup1), S632-S643.

- Tsantili, E., & Rodov, V. (2022). Harvest and Postharvest Physiology and Technology of Fresh Fig Fruit. In *Advances in Fig Research and Sustainable Production* (pp. 193-232): CABI GB.
- Villalobos, M. d. C., Serradilla, M. J., Martín, A., Lopez Corrales, M., Pereira, C., & Córdoba, M. d. G. (2016). Preservation of different fig cultivars (*Ficus carica* L.) under modified atmosphere packaging during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 2103-2115.

The Effect of Modified Atmosphere Packaging on the Shelf Life of Estahban Black Fig

Neda Maftoonazad ^{1*}, Hamid Zare ² and Maryam Shahamirian¹

1. Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Fars Province, Iran

2. Estahban Fig Research Station, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Fars, Shiraz, Iran.

*Corresponding Author, Email: (n.maftoon@areeo.ac.ir)

The objective of this study was to examine the influence of different gaseous composition inside the packaging atmosphere of black fig variety of Estahban region. Different percentages of oxygen, carbon dioxide and nitrogen (N₂) were used as treatments G1 (5% oxygen, 70% carbon dioxide and 25% nitrogen), G2 (5% oxygen, 0% carbon dioxide and 95% nitrogen), G3 (5 percent oxygen, 35% carbon dioxide and 60% nitrogen), G4 (5% oxygen, 0% carbon dioxide and 25% nitrogen, partial vacuum) and control (normal air). Fig fruits were packed and samples were stored at 4°C until the fruit quality and marketability were lost. At the beginning of the experiment and at the end, the amount of acidity, soluble solids, bioactive compounds and antioxidant capacity were determined. Respiration rate, color, firmness and weight changes were measured every three days. Results revealed that the physicochemical characteristics of all treatments decreased with time and fruits became softer and color changed by passage of time. During storage, fruits depending on the package atmosphere and storage time, lost their initial weight as 9-38%. The G3 (60% N₂, 35% CO₂ and 5% O₂) gaseous composition was effective in delaying the occurrence of the respiratory climacteric peak and extending fruits shelf life. After determining the best treatment, the fruits packed in modified atmosphere with G3 treatment and control samples were stored at 4, 10 and 15°C until losing marketability and their weight loss, color and firmness were simultaneously evaluated. This was done to study the kinetics of quality changes during storage. All changes were accelerated at higher temperatures. This trend was observed at higher rates in control samples compared to G3 treatment. Examining the overall acceptance of the samples showed that the average scores given in all treatments decreased during the storage time.

Keywords: Fig (*Ficus carica* L.), modified atmosphere packaging, weight loss, respiratory peak, texture, color