

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثر پیش تیمار ضد عفونی و اتمسفر نسبی دی اکسید کربن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی زرشک تازه در طول دوره انبارداری

راضیه نیازمند^{۱*}، سمیرا یگانه زاد^۲

۱. دانشیار، گروه شیمی مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد
 ۲. استادیار، گروه فرآوری مواد غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۰۳، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۴)

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی اثر اتمسفر نسبی دی اکسید کربن و پیش تیمار ضد عفونی کردن بر برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی زرشک تازه در طول دوره انبارداری بود. بدین منظور پس از حذف شاخ و برگ، بخشی از میوه‌های زرشک در بسته‌هایی از جنس پلی اتیلن/پلی استر به ضخامت $45 \mu\text{m}$ و تحت اتمسفر دی اکسید کربن (نمونه CD) بسته‌بندی شدند. بخشی دیگر از میوه‌ها ابتدا با محلول تجاری ضد عفونی شده و سپس تحت اتمسفر طبیعی (نمونه D) و یا تحت اتمسفر نسبی دی اکسید کربن (نمونه CDD) بسته‌بندی شدند. میوه‌های زرشک بسته‌بندی شده بدون ضد عفونی کردن و تحت اتمسفر طبیعی به عنوان شاهد (نمونه C) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در روز ۲۸، میزان اکسیژن و دی اکسید کربن در داخل بسته‌های شاهد به ترتیب به $2/8$ و $19/3\%$ در دمای 4°C و به ترتیب به $5/2$ و $18/4$ در دمای 25°C رسید در حالیکه در بسته‌های CD و CDD مقدار دی اکسید کربن داخل بسته در پایان دوره انبارداری در دمای 4°C به ترتیب به 30 و 35% و در دمای 25°C به 38 و 41% کاهش یافت. در پایان ۲۸ روز نگهداری افت رطوبت و افت وزنی در نمونه‌های CD و CDD بیش از سایر نمونه‌ها به ویژه در دمای 25°C (افت وزنی بیش از 21%) بود در حالیکه اسیدیته در این نمونه‌ها افزایش یافت. در پایان ۲۸ روز نگهداری در دمای 4°C کمترین محتوای آنتوسیانین، ترکیبات فنلی، اسید اسکوربیک، درصد مهار رادیکال DPPH و قدرت احیاء کنندگی آهن به ترتیب به نمونه‌های CDD، D، CDD، D و D مربوط بود که به ترتیب $40/6$ ، $46/6$ ، $58/4$ ، $51/6$ و 60% افت را نسبت به زمان برداشت نشان دادند. کمترین مقدار ترکیبات فوق در دمای 25°C به ترتیب به نمونه‌های CDD، CD، CDD، CD و D مربوط بود که به ترتیب $48/2$ ، $34/8$ ، $73/8$ ، $55/7$ و $63/6\%$ افت را نسبت به زمان برداشت به نمایش گذاشتند. در پایان دوره نگهداری، کمترین سفتی (در دماهای 4°C و 25°C به ترتیب $0/66$ و $0/49$ نیوتن) و بیشترین آسیب دیدگی قارچی (در دماهای 4°C و 25°C به ترتیب $95/7$ و $96/7\%$) به نمونه CDD مربوط بود. به نظر می‌رسد که اتمسفر دی اکسید کربن از توانایی مناسبی برای حفظ کیفیت زرشک تازه برخوردار نبوده و پیش تیمار ضد عفونی کردن شرایط نامساعد را تشدید کرد.

کلید واژه‌ها: اتمسفر تغییر یافته، آنتوسیانین، ماندگاری، فعالیت آنتی اکسیدانی، بسته‌بندی

۱. مقدمه

زرشک‌ها، گروه بزرگی از درختچه‌های خاردار همیشه‌سبز یا خزان پذیرند که به دلیل مصارف و کاربردهای متعدد از قبیل مصارف خوراکی میوه نوع بی‌دانه، تولید فراورده‌های مختلف مانند شربت، مربا، کنستانتیره و رنگ خوراکی از زرشک و همچنین مصارف دارویی استفاده وسیع و روزافزون یافته‌اند [۱]. انواع زرشک در بیشتر کشورهای جهان به طور عمده به عنوان گیاه دارویی و زینتی شناخته می‌شود، اما نوع بی‌دانه آن در ایران به صورت یک میوه خشک و بیشتر به عنوان چاشنی غذایی به مصرف می‌رسد. میوه زرشک^۱ و فراورده‌های آن غنی از ترکیبات زیست فعال از جمله ترکیبات فنولی است که این ترکیبات فراسودمند بر ویژگی‌های ظاهری و طعمی میوه زرشک و فراورده‌های آن اثرگذارند. مقدار ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره زرشک در یک مطالعه بررسی و مشخص شد عصاره زرشک از خاصیت آنتی‌اکسیدانی قوی برخوردار است [۲]. مطالعه‌ای نیز روی خواص دارویی عصاره زرشک انجام گرفت و نتایج نشان داد که عصاره زرشک از خواص درمانی بسیار زیادی برای بیماری‌های قلبی، فشارخون بالا و عصبی برخوردار است [۳].

میوه تازه زرشک بسیار حساس بوده و عمر ماندگاری چندانی ندارد و طی دوره نگهداری در دمای یخچال ممکن است در کمتر از ۱۰ روز کیفیت اولیه خود را از دست بدهد و به تدریج دچار فساد میکروبی شود. از این رو پس از برداشت باید هر چه سریع‌تر مصرف شده یا فرآوری گردد [۴]. این میوه یکی از مهم‌ترین میوه‌های تجاری ایران است به طوری که در سال ۱۳۹۶ صادرات ۳۵۶۸۷۴ کیلوگرم زرشک تازه به کشورهای مختلف شامل آمریکا، کانادا، آلمان، اتریش، سوئیس، گرجستان، امارات متحده عربی، قزاقستان، فرانسه، اسپانیا، نیوزیلند و غیره، حدود ۱۶۵۰۱۵۳ دلار، ارزآوری برای ایران به همراه داشته است [۵]؛ اما به دلیل عدم امکان نگهداری طولانی مدت زرشک تازه، این محصول عمدتاً به صورت خشک مصرف می‌شود و حتی برخی شهرهای دورتر از خاستگاه زرشک در ایران نیز با میوه تازه آن آشنایی

نداشته و یا امکان مصرف آن را ندارند.

بر اساس دانش ما تلاش‌های اندکی برای افزایش ماندگاری زرشک تازه انجام شده است. ولی پور مطلق و همکاران [۶] از بسته‌های پلی‌اتیلنی حاوی نانو ذرات نقره برای افزایش ماندگاری زرشک تازه استفاده کردند. خسروشاهی و همکاران [۷] اثر اتمسفر نیتروژن را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی زرشک تازه مورد مطالعه قرار دادند. اخوان و همکاران [۴] اثر تابش‌دهی گاما را بر ماندگاری زرشک تازه بررسی کردند.

با توجه به اهمیت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی میوه زرشک و همچنین کاربردهای فراوان این محصول در زمینه‌های مختلف از مصارف و فراورده‌های مختلف غذایی تا دارویی، افزایش زمان ماندگاری آن از اهمیت بسزایی برخوردار است؛ بنابراین پژوهش در مورد روش‌های مختلف و دستیابی به فناوری مناسب برای نیل به این هدف امری ضروری است.

امروزه یکی از راهکارهای مورد استفاده در سطح دنیا برای افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزی‌های تازه استفاده از اتمسفر کنترل شده یا تغییر یافته^۲ است. گزارشات متعددی وجود دارند که بیان می‌کنند با استفاده از فناوری اتمسفر تغییر یافته و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و کاهش غلظت اکسیژن داخل بسته، می‌توان از میزان تنفس و رسیدن میوه‌های تازه کاست و امکان نگهداری طولانی مدت آن‌ها را فراهم کرد. گزارش شده است که بسته‌بندی تحت اتمسفر تغییر یافته منجر به کاهش میزان تنفس، کاهش تولید اتیلن، کاهش سرعت رسیدگی، کاهش فساد میکروبی، کاهش تجزیه ترکیبات مغذی و همچنین حفظ دیواره سلولی و ظاهر محصول می‌شود که به افزایش ماندگاری محصول منتهی می‌شود [۸-۱۰].

با توجه به اهمیت میوه زرشک در ایران از یک سو و محدود بودن فصل برداشت و ماندگاری آن از سوی دیگر، هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر پیش تیمار ضدعفونی کردن و همچنین بسته‌بندی تحت اتمسفر نسبی دی‌اکسید کربن در مقایسه با اتمسفر طبیعی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و

گازهای دی اکسید کربن و اکسیژن در داخل بسته بلافاصله پس از درزبندی به ترتیب ۶۶-۶۲ و ۱۲-۱۰٪ بود. نمونه CDD: زرشک‌ها ابتدا به روش نمونه D ضدعفونی شده و سپس به روش نمونه CD بسته‌بندی شدند.

بسته‌های زرشک آماده شده به مدت ۲۸ روز در دمای °C ۴±۲ (یخچال) و °C ۲۵±۳ (محیط) قرار داده شدند. به منظور نمونه‌برداری سه بسته از هر اتمسفر و از هر دما به طور تصادفی انتخاب می‌شد. همه آزمون‌های فیزیکوشیمیایی در ۵ نقطه زمانی شامل زمان برداشت و پس از ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز انجام شدند.

۳.۲. آزمون‌ها

۱.۳.۲. افت وزنی بسته‌ها

وزن اولیه هر بسته توسط ترازو با دقت ± 0.1 g اندازه‌گیری شده و طی زمان نگهداری، در هر مرحله نمونه‌برداری، قبل از باز کردن بسته توزین شده و افت وزنی آن از فرمول (۱) محاسبه شد [۱۱].

$$W_L = ((W_i - W_f) / W_i) \times 100 \quad (1)$$

که W_i ، W_f و W_L به ترتیب افت وزنی (%، وزن اولیه و وزن نهایی (g) می‌باشند.

۲.۳.۲. رطوبت

میزان رطوبت نمونه‌های زرشک بر اساس استاندارد AOAC (۲۰۰۵) با خشک کردن نمونه‌ها در آون (Memmert، آلمان) در دمای °C ۱۰۵ تا رسیدن به وزن ثابت انجام شد. نمونه‌ها پس از خروج از آون در دسیکاتور خنک و میزان رطوبت بر مبنای افت وزن محاسبه و به صورت درصد گزارش گردید [۱۲].

۳.۳.۲. بافت

سختی^۴ بافت زرشک توسط دستگاه بافت‌سنج^۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. زرشک‌ها در داخل کاپ به ارتفاع ۴/۹۴ cm و قطر داخلی ۲/۷۶ cm قرار گرفته و توسط پروب صاف^۶ به

شیمیایی زرشک تازه و ماندگاری آن در دو دمای °C ۴ و °C ۲۵ است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. مواد اولیه

زرشک تازه واریته بربریس ولگاریس از باغ تحقیقاتی موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی (خراسان رضوی، ایران) تهیه شد. فیلم بسته‌بندی (دولایه به ضخامت کلی ۴۵ μm؛ لایه خارجی پلی‌اتیلن و لایه داخلی پلی‌استر (پلی‌اتیلن ترفتالات) به ضخامت ۱۲ μm) از شرکت آپادن پلاست مشهد تهیه شد. معرف فولین سیو کالتیو، اورتو دی کلرو ایندو فنل، دی‌فنل، ۶،۴،۲ تری‌پریدیدل استریازین^۱، ۲،۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل^۲، اسید اسکوربیک و سایر حلال‌ها و مواد شیمیایی از شرکت‌های سیگما و مرک خریداری شد. محلول ضدعفونی کننده نانوسیل D7 از شرکت کیمیا فام (ایران) خریداری شد.

۲.۲. بسته‌بندی زرشک

زرشک‌ها (رقم بی‌دانه) در ابتدای ماه آبان چیده شده و شاخ و برگ آنها جدا شد. سپس از لحاظ اندازه یکسان‌سازی (ابعاد به طور متوسط ۵/۴×۹/۵ mm و ضخامت ۶/۳ mm) شده و زرشک‌های آسیب دیده جدا شدند و بلافاصله تا زمان بسته‌بندی (روز بعد) در دمای یخچال نگهداری شدند. مقدار زرشک داخل ظروف پلی‌اتیلنی توزین شده و در داخل بسته‌های تهیه شده از فیلم مورد نظر قرار داده شدند. تیمارهای تحت بررسی در این پژوهش به شرح ذیل بودند. نمونه C (شاهد): زرشک تازه بدون هیچ پیش‌فرایندی تحت اتمسفر طبیعی بسته‌بندی شد.

نمونه D: زرشک تازه ابتدا به مدت ۳۰ min در محلول ۰/۵٪ ضدعفونی کننده (نانوسیل D7)، غوطه‌ور شده و پس از آبکشی تحت اتمسفر طبیعی بسته‌بندی شد.

نمونه CD: زرشک تازه تحت اتمسفر نسبی گاز دی اکسید کربن با استفاده از دستگاه MAP^۳ بسته‌بندی شد. سطوح

4. Firmness

5. TA-XT Plus Texture Analyser, UK

6. Flat probe

1. 2, 4,6 tripridyl-Striazin (TPTZ)

2. 2,2- diphenyl- 1- pykryl hydrazyl

3. Henkelman, A200Gerhardt model

سپس لوله در دستگاه گریز از مرکز قرار داده شد تا لایه جدا شود. لایه زایلین به یک سلول منتقل شده و جذب آن در طول موج ۵۰۰ nm خوانده شد. مقدار اسید اسکوربیک (AA) به mg/100g از رابطه (۲) به دست آمد.

$$AA = ((V_0 - V_1) \times m_1 \times 100) / m_0 \quad (2)$$

که m_0 وزن نمونه به g، m_1 وزن اسید اسکوربیک به mg که معادل 1 ml از محلول رنگی می‌باشد، V_0 حجم مصرفی محلول رنگی به ml و V_1 حجم اضافی محلول رنگی به ml به دست آمده از منحنی استاندارد با توجه به جذب خوانده شده است.

۷.۳.۲. آنتوسیانین‌ها

میزان آنتوسیانین زرشک با استفاده از روش pH افتراقی تعیین گردید [۱۵]. بدین منظور به ۵۰۰ mg از زرشک خرد شده، ۱۰ ml متانول افزوده، بعد از مدت ۱۰ min صاف و دوباره ۱۰ ml متانول به آن افزوده و صاف شد. محلول‌های صاف شده را روی هم ریخته و در بن‌ماری 80°C تا تبخیر کامل مایع خشک شد و در انتها، ۵ ml متانول به مواد چسبیده به ته ظرف افزوده و کاملاً تکان داده تا حل شود. 1 ml از عصاره در دو لوله آزمایش جداگانه ریخته و لوله اول با بافر پتاسیم کلراید (۰/۰۲۵ M) و لوله دوم با بافر سدیم استات (۰/۴ M) و pH برابر ۴/۵ به حجم ۱۰ ml رسانده شد و جذب آنها در دو طول موج متفاوت ۵۱۰ nm و ۷۰۰ nm نانومتر اندازه‌گیری شد. مقدار جذب عصاره (A) طبق رابطه (۳) و میزان آنتوسیانین مونومری طبق رابطه (۴) محاسبه گردید:

$$A = (A_{510} - A_{700}) \text{ pH}_{1.1} - (A_{510} - A_{700}) \text{ pH}_{4.5} \quad (3)$$

$$\text{TAC} = (A \times \text{MW} \times \text{DF} \times 100) / (\varepsilon \times L) \quad (4)$$

در رابطه‌های بالا A مقدار جذب نمونه، TAC محتوای کل آنتوسیانین بر حسب mg/100g، MW وزن مولکولی سیانیدین‌تری‌گلیکوزید (g/mol)، DF فاکتور رقت (۵۰)، ε برابر ۲۶۹۰۰ معادل جذب مولی سیانیدین‌تری‌گلیکوزید و L قطر سل اسپکتروفتومتر بر حسب cm می‌باشد.

قطر ۲۰ mm با سرعت ۵ mm/s و میزان نفوذ ۵۰٪ تحت فشار قرار گرفتند. بیشترین میزان نیرو طی آزمون ثبت شد. تمام آزمایش‌ها در دمای اتاق (25°C) انجام شد [۱۱].

۴.۳.۲. رنگ

ابتدا تصاویر نمونه‌های زرشک توسط اسکنر (HP، مدل Scanjet-3770) اسکن شدند. سپس از نرم‌افزار ImageJ (نسخه ۱.۴۸a، آمریکا) برای اندازه‌گیری فاکتورهای رنگ استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا قسمت‌های مورد نظر توسط نرم‌افزار انتخاب شد. سپس تغییرات رنگ نمونه‌ها در فضای رنگی Lab مورد بررسی قرار گرفت. L^* درخشندگی و روشنایی جزء است که دامنه آن بین صفر تا ۱۰۰ می‌باشد. پارامتر a^* از سبز به قرمز است که این مؤلفه رنگی که از ۱۲۰ تا ۱۲۰ متغیر است [۱۳].

۵.۳.۲. ترکیبات فنلی کل

ترکیبات فنلی کل بر اساس روش فولین سیو کالچو اندازه‌گیری شد [۱۴]. ۲۰۰ μl از محلول ۱:۱ رقیق شده فولین سیو کالچو به ۱/۵ mm از افشره زرشک افزوده شد. پس از ۳ دقیقه، ۵۰ μl از محلول حاوی ۲۰٪ کربنات سدیم افزوده شد و مخلوط به مدت ۲ h در دمای اتاق جهت تکمیل واکنش ماند. سپس جذب آن در ۷۶۰ nm با استفاده از طیف‌سنج^۱ خوانده شد. میزان ترکیبات فنولی موجود در نمونه از روی منحنی استاندارد (اسیدگالیک در غلظت‌های mg/1 تا ۹۵۰) تعیین شد. نتایج بر اساس mg/GAL/100g گزارش گردید.

۶.۳.۲. اسید اسکوربیک (ویتامین ث)

مقدار اسید اسکوربیک بر اساس استاندارد AOAC (۲۰۰۵) اندازه‌گیری شد [۱۲]. ۱ تا ۵ ml از محلول عصاره زرشک را در یک لوله گریز از مرکز ریخته و به آن یک حجم معادل از بافر افزوده و بلافاصله یک مقدار اضافی از محلول رنگی به آن افزوده و به طور کامل مخلوط شد. ۱۰ ml زایلین به آن افزوده، در لوله گذاشته و به مدت ۶ تا ۱۰ s به شدت تکان داده شد.

۱۲.۳.۲. اندازه‌گیری غلظت گازهای موجود در بسته

غلظت گاز درون بسته با استفاده از دستگاه گاز آنالایزر پرتابل^۳ ارزیابی شد. برای این کار سرنگ دستگاه را درون فضای بسته فرو کرده و سپس دستگاه ۵ ml از گاز داخل بسته را به داخل سیستم مکش می‌کند. آنگاه به صورت اتوماتیک غلظت گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن داخل بسته را گزارش می‌کند.

۴.۲. تجزیه و تحلیل آماری

تمام آزمون‌ها در سه تکرار انجام شدند. داده‌های به دست آمده از طریق طرح کاملاً تصادفی ساده و با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۶ تجزیه و تحلیل شدند. نتایج به دست آمده تجزیه واریانس یک طرفه^۴ و اختلاف بین میانگین‌ها به روش آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ مورد مقایسه قرار گرفت. برای رسم منحنی‌ها از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد. اعداد به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شده‌اند.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تغییرات غلظت گازها داخل بسته‌ها

تغییرات غلظت گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن در فضای داخل بسته‌ها در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C به ترتیب در شکل‌های (۱) و (۲) آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس نشانگر اثر معنی‌دار نوع اتمسفر بسته‌بندی بر غلظت گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن داخل بسته‌ها در طول دوره ماندگاری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C بود ($P < 0.05$). به طور کلی با افزایش زمان نگهداری غلظت گاز اکسیژن در داخل بسته‌ها کاهش یافت که البته این کاهش در اکثر موارد معنی‌دار نبود. با توجه به مصرف گاز اکسیژن در واکنش‌های شیمیایی و میکروبی کاهش غلظت گاز اکسیژن امری طبیعی به نظر می‌رسید. همچنین نتایج گویای افزایش معنی‌دار سطح دی‌اکسید کربن در بسته‌های C و D در روز ۲۸ نگهداری نسبت به روز ۷ بود. این تغییرات در طول هفته اول با شدت بیشتری رخ داد.

۸.۳.۲. اسیدیته

اسیدیته بر اساس روش AOAC (۲۰۰۵) انجام گرفت [۱۲]. مقدار ۱۰ نمونه خرد شده زرشک به ۱۰۰ ml آب افزوده و سپس صاف شد. عصاره صاف شده با سود ۰/۱ N در مجاورت معرف فنل فتالئین تا رسیدن به رنگ صورتی ماندگار به مدت ۳۰ s تیترا شد.

۹.۳.۲. قدرت مهارکنندگی رادیکال DPPH

ابتدا ۲ mg DPPH در ۵۰ ml متانولی حل شد به طوری که جذب محلول بین ۰/۹ تا ۱ باشد. ۰/۱ ml از عصاره زرشک با ۳/۹ ml میلی‌لیتر از محلول DPPH مخلوط و پس از ۳۰ min ماندن در تاریکی، جذب آن در طول موج ۵۱۷nm خوانده شد. متانول برای تنظیم صفر دستگاه و محلول DPPH-متانول به عنوان کنترل استفاده شد. درصد رادیکال آزاد مهار شده^۱ با استفاده از رابطه (۵) محاسبه گردید:

$$RSA (\%) = \frac{(A_{Control} - A_{sample}) \times 100}{A_{Control}} \quad (5)$$

$A_{Control}$ مقدار جذب نمونه کنترل و A_{sample} مقدار جذب عصاره می‌باشد [۱۶].

۱۰.۳.۲. قدرت احیاء کنندگی آهن

۳ ml از محلول تازه تهیه شده FRAP با ۱۵۰ μl از عصاره زرشک مخلوط و پس از ۳۰ min ماندن در تاریکی، جذب آن در مقابل شاهد در طول موج ۵۹۳ nm اندازه‌گیری شد. از محلول استاندارد سولفات آهن^۲ (II) در غلظت‌های ۴۰۰ تا ۵۲۰ μmol/l جهت تهیه نمودار استاندارد استفاده گردید [۱۴].

۱۱.۳.۲. آسیب‌دیدگی قارچی

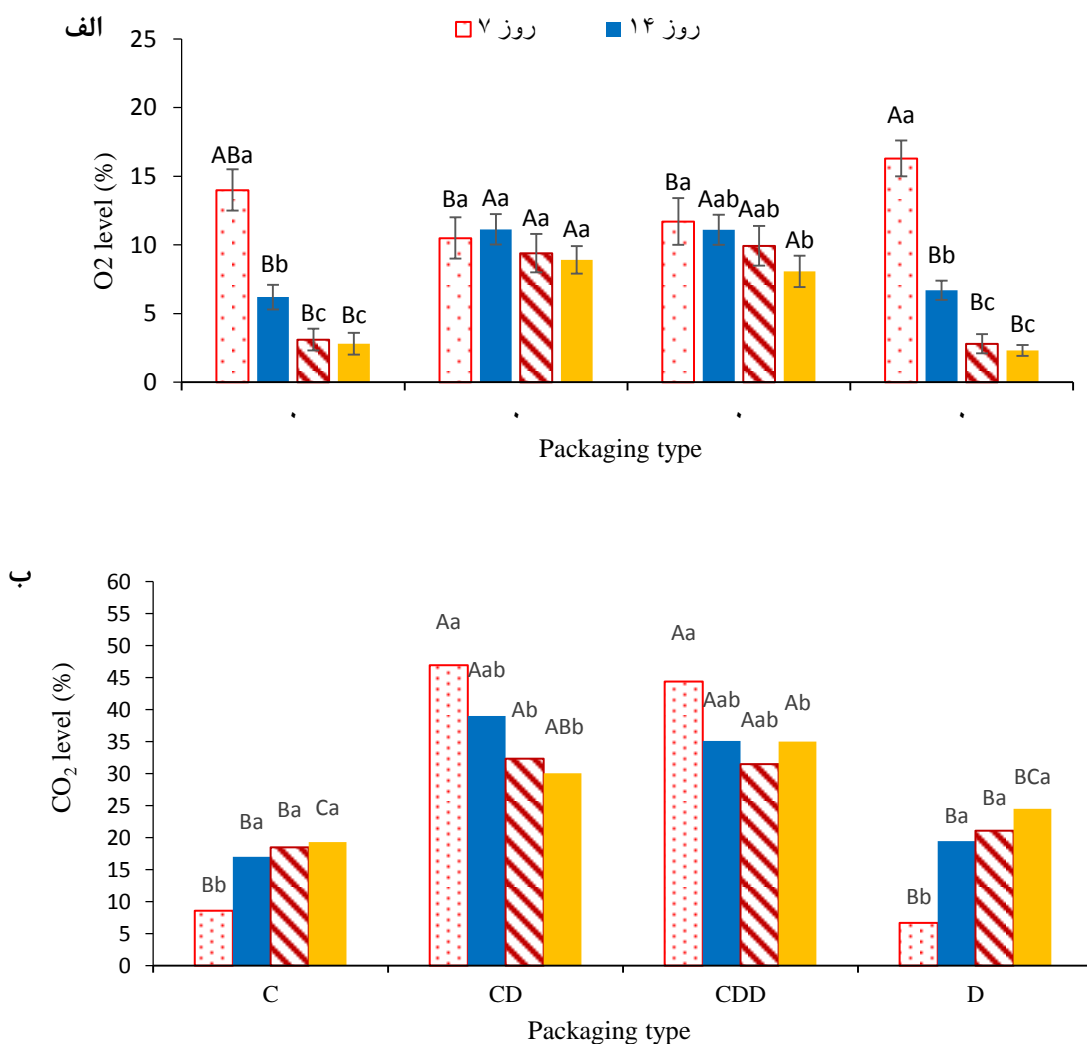
میزان آسیب‌دیدگی قارچی بر اساس مشاهده بصری تعیین شد. بدین ترتیب که تعداد زرشک‌های آلوده به کپک در هر بسته شمارش شده و بر اساس تعداد کل زرشک‌های موجود در هر بسته درصد آلودگی به کپک تعیین شد [۱۷].

3. AGC Map-Pak Headspace Gas Analyser, Ireland
4. One-way ANOVA

1. Radical Scavenging Activity (RSA)
2. FeSO₄.7H₂O

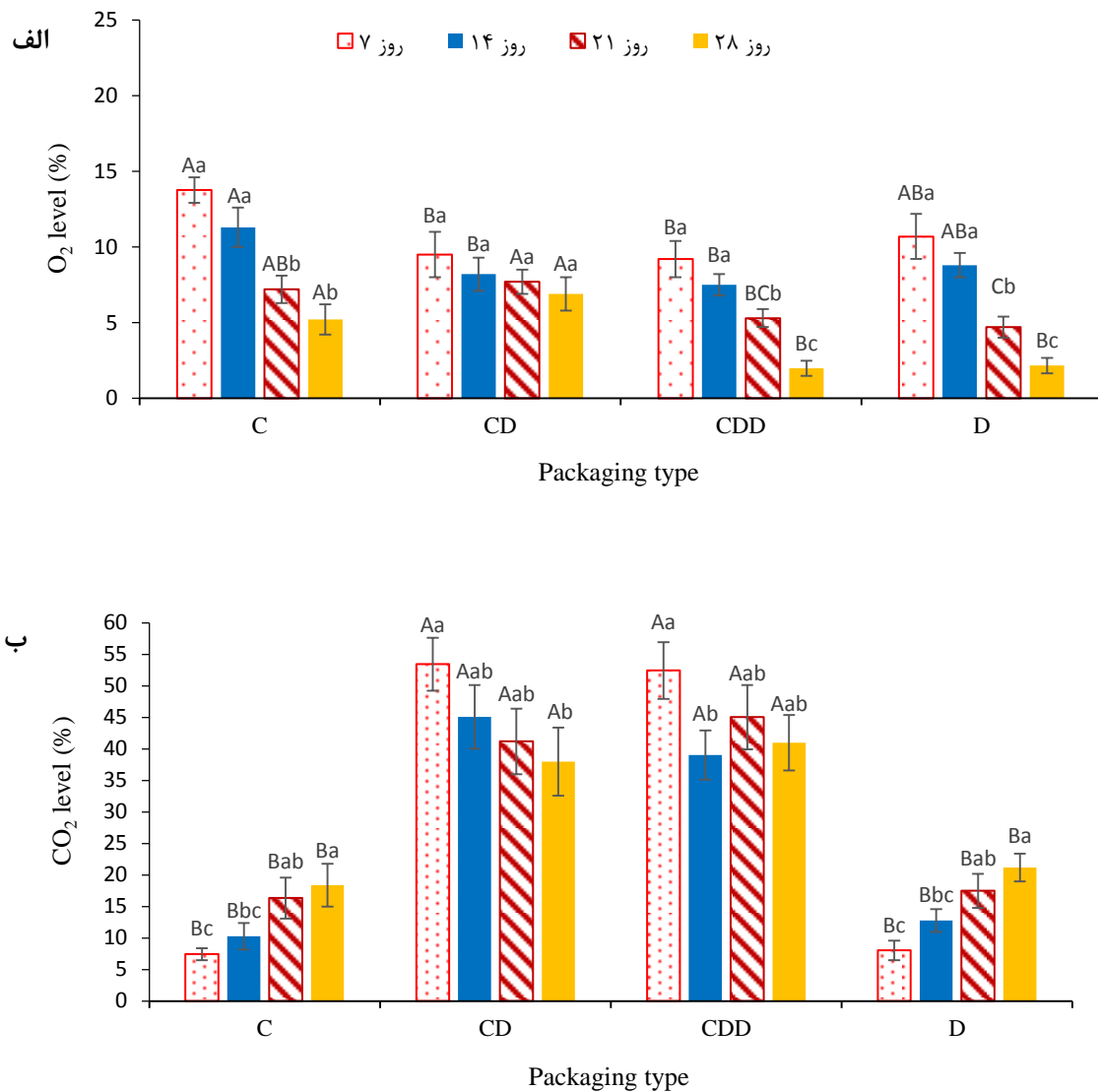
بسته به واکنش‌های شیمیایی و میکروبی محصول، ترکیب گازی داخل بسته تغییر می‌کند و سطح اکسیژن داخل بسته کاهش می‌یابد. برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که اتمسفر حاوی غلظت پایین اکسیژن (۱ تا ۵٪) و غلظت بالای دی اکسید کربن (۵ تا ۱۰٪) برای افزایش ماندگاری محصولات تازه استفاده می‌شود چراکه ۱-آمینو-سیکلوپران-۱-کربوکسیلیک اسید به اتیلن تبدیل می‌شود و بنابراین مقادیر پایین اکسیژن تشکیل اتیلن را محدود می‌کند [۱۹].

کندیدر و همکاران (۲۰۱۸) اثر بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته را بر کیفیت میوه انار طی ۶ ماه نگهداری در دمای ۶ °C و رطوبت نسبی ۹۰٪ و به دنبال آن ۷ روز نگهداری در دمای ۲۰ °C در فیلم‌های Xtend بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که مقدار اکسیژن تا ۲ ماه با شیب تند کاهش و سپس تا ماه ۴، افزایش جزئی و پس از آن تا ماه ۶ دوباره کاهش (به ترتیب ۱۲/۹۰، ۱۳/۹۹ و ۱۳/۶۳ kPa) یافت. این محققین همچنین بیان کردند که روند تغییرات دی اکسید کربن معکوس بود [۱۸]. همگام با افزایش دوره نگهداری



شکل (۱) تغییرات گاز اکسیژن (الف) و دی اکسید کربن (ب) در بسته‌های مختلف زرشک در طول دوره نگهداری در دمای ۴ °C. میله‌های رسم شده روی هر ستون نشانگر انحراف معیار داده‌هاست. حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد (P<۰/۰۵). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب بین نوع بسته‌ها و طول دوره نگهداری نشان می‌دهند.

Fig 1. Changes of (a) O₂ and (b) CO₂ levels inside the different barberry packages during storage at 4 °C. Error bars shows standard deviation (SD). Non-similar uppercase and lowercase letters in each column indicate a significant difference among atmosphere type and storage period, respectively, according to the Tukey test (P<0.05).



شکل (۲) تغییرات گاز اکسیژن (الف) و دی اکسید کربن (ب) در بسته‌های زرشک تحت اتمسفرهای مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۲۵ °C. میله‌های رسم شده روی هر ستون نشانگر انحراف معیار داده‌هاست. حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب بین نوع بسته‌ها و طول دوره نگهداری نشان می‌دهند.

Fig 2. Changes of (a) O₂ and (b) CO₂ levels inside the different barberry packages during storage at 25 °C. Error bars shows standard deviation (SD). Non-similar uppercase and lowercase letters in each column indicate a significant difference among atmosphere type and storage period, respectively, according to the Tukey test ($P < 0.05$).

مصرف اکسیژن داخل بسته در اثر تنفس یا فعل و انفعالات میکروبی به تولید دی اکسید کربن منجر می‌شود. از این‌رو، سطح گاز دی اکسید کربن در داخل بسته‌های CD در طول دوره نگهداری کاهش یافت اما این کاهش تا روز ۱۴ معنی‌دار بود ($P < 0.05$) اما پس از آن تا روز انتهایی دوره انبارداری

در بسته‌های زرشک تحت اتمسفر دی اکسید کربن (CD) و (CDD) با وجود مقدار زیاد دی اکسید کربن در داخل بسته‌ها در ابتدای دوره نگهداری به دلیل نفوذپذیری بالاتر پلیمر LDPE نسبت به دی اکسید کربن در مقایسه با اکسیژن، بخشی از این گاز از بسته خارج می‌شود و از سوی دیگر

میکروارگانیزم‌ها نسبت داد. گیجیولی و همکاران (۲۰۱۷) نیز بیان کردند که شدت تغییرات بلوبری‌های تازه بسته‌بندی شده در شرایط اتمسفر کنترل شده (اکسیژن ۲/۲ kPa و دی‌اکسید کربن ۰/۲ kPa) طی ۳ روز نگهداری در دمای ۲۰ °C، ۷۰٪ بیشتر از ۱۵ روز نگهداری در دمای ۱ °C بود [۲۱].

۲.۳. رطوبت

تغییرات رطوبت نمونه‌های زرشک در بسته‌های مختلف در طول ۲۸ روز نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که رطوبت در همه نمونه‌ها پس از ۷ روز نگهداری نسبت به زمان پس از برداشت کاهش یافت. مقایسه میانگین حاکی از این مطلب بود که در ابتدای دوره نگهداری رطوبت کاهش و سپس افزایش یافت که این تغییرات جزئی بوده و از لحاظ آماری به جز در نمونه‌های CDD و C اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد ($P > 0.05$). بیشترین و کمترین رطوبت در پایان ۲۸ روز نگهداری در دمای ۴ °C به ترتیب به نمونه‌های CDD و C مربوط بود که به ترتیب ۲/۷ و ۴/۱ واحد کاهش نسبت به زمان برداشت نشان دادند.

بررسی تغییرات رطوبت نمونه‌ها در دمای ۲۵ °C نشان داد که با افزایش زمان نگهداری رطوبت نمونه‌ها به تدریج کاهش یافت که البته این کاهش جزئی بوده و معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). در این دما شدت کاهش رطوبت در نمونه‌های CD و CDD بیش از سایر نمونه‌ها بود. در پایان دوره نگهداری بیشترین و کمترین رطوبت در نمونه‌های C و CD مشاهده شد که به ترتیب ۹/۴ و ۱۲/۷ واحد کاهش را نسبت به زمان برداشت به نمایش گذاشتند.

نگاه اجمالی به جدول (۱) نشان می‌دهد که رطوبت نمونه‌های نگهداری شده در دمای ۴ °C به ویژه با افزایش زمان بیش از دمای محیط (۲۵ °C) است؛ به عبارت دیگر در دمای یخچال رطوبت نمونه‌ها در تمامی تیمارها بهتر حفظ شد. تنش آبی از طریق افزایش سطح دی‌اکسید کربن و کاهش در دسترس قرارگیری اکسیژن، می‌تواند باعث تغییر در نفوذپذیری به گاز و به دنبال آن ترکیب گازی داخلی شود.

کاهش جزئی و غیرمعنی‌دار مشاهده شد. در حالی که تغییرات غلظت گاز دی‌اکسید کربن در بسته‌های CDD از روند مشخصی پیروی نمی‌کرد اما به طور کلی در انتهای دوره نگهداری نسبت به روز هفتم کاهش جزئی مشاهده شد. به طور کلی تغییرات غلظت گاز اکسیژن داخل بسته‌های CD و CDD جزئی بوده و در اکثر موارد معنی‌دار نبود و تنها تغییر قابل توجه در غلظت گاز اکسیژن داخل بسته‌های CDD در دمای ۲۵ °C بود که از ۹/۲٪ در روز هفتم به ۲٪ در روز ۲۸ نگهداری رسید. سطح نفوذپذیری پایین‌تر فیلم به گاز باعث تخلیه سریع‌تر اکسیژن و هم‌زمان تشکیل دی‌اکسید کربن بیشتر می‌شود که متابولیسم تنفس را از حالت بسته تاثیرگذار است. نتایج سیکوپرا مندرس و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که غلظت گاز اکسیژن و دی‌اکسید کربن طی ماندگاری در بسته‌های هلوی تحت اتمسفر کنترل شده در فیلم‌هایی از جنس LDPE در طول ۳۰ روز ماندگاری در دمای ۰ °C و به دنبال آن ۳ روز در دمای ۲۵ °C به ترتیب کاهش و افزایش یافت به طوری که پس از پایان دوره نگهداری در فیلم‌های LDPE به ضخامت ۶۰ μm غلظت اکسیژن و دی‌اکسید کربن به ترتیب به ۵ و ۶٪ و در فیلم‌های LDPE با ضخامت ۸۰ μm به ترتیب ۱ و ۱۶٪ بود [۲۰].

فشار نسبی اکسیژن داخل بسته‌های LDPE با افزایش دما کاهش می‌یابد و برعکس که بیانگر این مطلب می‌باشد که انرژی فعال‌سازی نفوذپذیری فیلم به اکسیژن کمتر از انرژی فعال‌سازی میوه است. سطوح پایدار اکسیژن و دی‌اکسید کربن به نفوذپذیری فیلم و نوع محصول بستگی دارد که میزان وابستگی به دما هم بر اساس آنها تعیین می‌شود. محصولات مختلف و واریته‌های مختلف آنها ممکن است سرعت‌های تنفس متفاوت داشته باشند. برخی گزارشات متناقض مبنی بر عدم تأثیرگذاری سطوح کمتر از ۲۰ kPa دی‌اکسید کربن بر سرعت تنفس نیز وجود دارد [۱۷].

به نظر می‌رسد شدت تغییرات گاز اکسیژن و دی‌اکسید کربن داخل بسته‌ها در دمای ۲۵ °C بالاتر از ۴ °C بود که علت آن را می‌توان به افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی در دماهای بالاتر و همچنین مساعدتر بودن دما برای رشد

جدول (۱) تغییرات رطوبت (درصد) زرشک‌ها در بسته‌بندی‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C

Table 1. Moisture content changes (%) of barberries inside different packages during storage at 4 and 25 °C

Temperature دما	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری			
		7	14	21	28
Harvesting day = 81.6 ± 2.5					
4 °C	C	76.1 ± 3.0 Bab	73.9 ± 2.9 Ab	74.3 ± 3.5 Aab	77.5 ± 3.5 Aa
	CD	77.5 ± 3.5 ABa	74.6 ± 3.4 Aa	75.1 ± 2.9 Aa	78.1 ± 4.0 Aa
	CDD	76.2 ± 3.1 ABab	74.0 ± 3.0 Ab	78.1 ± 3.1 Aa	78.9 ± 3.5 Aa
	D	79.1 ± 2.7 Aa	75.7 ± 3.4 Aa	77.0 ± 4.0 Aa	78.4 ± 3.4 Aa
25 °C	C	76.8 ± 2.8 Aa	75.6 ± 3.0 Aa	73.6 ± 2.6 Aa	72.2 ± 1.2 Aa
	CD	74.9 ± 1.9 Aa	73.3 ± 2.3 Aa	70.7 ± 2.7 Aa	68.9 ± 3.5 Aa
	CDD	75.1 ± 1.9 Aa	74.1 ± 3.1 Aa	72.6 ± 2.6 Aa	69.2 ± 2.6 Aa
	D	74.9 ± 1.8 Aa	73.8 ± 1.8 Aa	73.1 ± 3.3 Aa	71.4 ± 2.3 Aa

حروف غیرمشابه بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر برای هر دما در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی نشان می‌دهد (P < ۰/۰۵).

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test (P < 0.05).

۳.۳. افت وزنی

در نمونه‌های مختلف بسته‌های زرشک طی ۲۸ روز نگهداری در جدول ۲ آورده شده است. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر دو دمای مورد مطالعه با افزایش زمان نگهداری افت وزنی به طور معنی‌دار در روز ۱۴ و ۲۸ نگهداری افزایش یافت (P < ۰/۰۵). در تمامی نمونه‌ها افت وزنی در دمای ۴ °C به طور قابل توجهی بالاتر از دمای ۲۵ °C بود. این امر با توجه به افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی مانند تنفس و تعریق و همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌ها در دمای بالاتر بدیهی بود.

حفظ وزن خالص میوه‌ها تا زمان تحویل برای بازاریابی ضروری است. افت وزنی علاوه بر اثر مستقیم بر کمیت، بر ظاهر، بافت و کیفیت تغذیه‌ای نیز تاثیرگذار است. بر اساس منابع افت وزنی بیشتر از ۵٪ منجر به پلاسیدگی و بافت ضعیف و همچنین رسیدن طعم به مرز بحرانی بودن برای بازاریابی بری‌ها می‌شود [۲۲].

نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار نوع اتمسفر بسته‌بندی بر افت وزنی بسته‌ها در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C بود (P < ۰/۰۵). تغییرات افت وزنی

جدول (۲) تغییرات افت وزنی (درصد) در بسته‌های مختلف زرشک در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C

Table 2. Weight loss changes (%) in different barberries packages during storage at 4 and 25 °C

Temperature دما	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری			
		7	14	21	28
4 °C	C	0.75 ± 0.25 ABc	1.99 ± 0.09 Bb	2.41 ± 0.12 Ca	2.41 ± 0.02 Ba
	CD	0.44 ± 0.08 ABc	2.76 ± 0.12 Ab	2.99 ± 0.16 Bb	3.46 ± 0.26 Aa
	CDD	0.84 ± 0.21 Ac	2.96 ± 0.09 Ab	3.05 ± 0.13 Aa	3.86 ± 0.29 Aa
	D	0.37 ± 0.08 Bc	2.09 ± 0.10 Bb	2.76 ± 0.08 Ba	2.24 ± 0.35 Aa
25 °C	C	1.40 ± 0.29 Cc	4.10 ± 0.62 Bb	6.24 ± 0.78 Bab	7.64 ± 1.66 Ba
	CD	4.27 ± 0.16 Ac	10.4 ± 1.44 Ab	14.15 ± 2.09 Ab	21.29 ± 3.15 Aa
	CDD	4.34 ± 0.35 Ac	10.95 ± 2.06 Ab	15.31 ± 2.15 Ab	22.16 ± 2.15 Aa
	D	2.98 ± 0.23 Bc	5.71 ± 1.00 Bb	7.35 ± 0.85 Bb	11.12 ± 1.30 Ba

حروف غیرمشابه بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر برای هر دما در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی نشان می‌دهد (P < ۰/۰۵).

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test (P < 0.05).

در دماهای پایین به دلیل به تأخیر افتادن فرایندهای فیزیولوژیکی مثل تنفس و تعرق است [۱۹].

۴.۳. اسیدیت قابل تیتراژ

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار نوع بسته‌بندی بر مقدار اسیدیت زرشک‌ها طی نگهداری بود ($P < 0.05$). جدول‌های (۳) و (۴) تغییرات اسیدیت زرشک‌ها را در بسته‌های مختلف در طول ۲۸ روز نگهداری به ترتیب در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در نمونه شاهد تغییرات اسیدیت از روند مشخصی پیروی نکرده و تنها در روز ۲۸ به طور معنی‌دار کاهش یافت. در نمونه‌های CD و CDD با افزایش زمان ماندگاری اسیدیت افزایش یافت. حضور دی اکسید کربن در فضای بسته‌بندی و حل شدن آن در ماتریس محصول می‌تواند با تشکیل اسید کربنیک، آمینو اسیدها و اسیدهای چرب آزاد طی واکنش‌های پروتئولیز و لیپولیز همراه باشد که به افزایش اسیدیت منجر می‌شود [۲۳].

نتایج نشان داد که در دمای ۴ °C پس از ۷ روز افت وزنی در نمونه‌های CD و D به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۳۸ واحد کمتر از نمونه C بود و با افزایش زمان روند کاهش وزن در نمونه‌های CD و D افزایش یافت. در پایان ۲۸ روز نگهداری در دمای ۴ °C در نمونه‌های CD و CDD افت وزنی مشاهده شده به ترتیب ۱/۱ و ۱/۵ واحد بالاتر از نمونه شاهد بود. این روند در بسته‌های نگهداری شده در دمای ۲۵ °C نیز مشاهده شد به طوری که افت وزنی در بسته‌های CD، D و CDD به طور چشمگیر و معنی‌داری بیش از نمونه شاهد بود ($P < 0.05$). در پایان روز ۲۸، افت وزنی در نمونه‌های D ۱/۴ و در نمونه‌های CD و CDD بیش از ۲/۷ برابر نمونه شاهد بود. به دلیل نفوذپذیری پایین فیلم LDPE به بخار، هوا از بخار آب اشباع و فوق اشباع شده و در نتیجه کندانس می‌شود که بر ماندگاری تأثیر بسزایی دارد به همین دلیل امروزه گاهی از فیلم‌های دارای سوراخ‌های میکرو استفاده می‌شود. افزایش افت وزنی همچنین می‌تواند به دلیل اثر تبخیر و تنفس پس از برداشت (تولید آب و گرما) رخ دهد. تنفس نیز به دلیل صرف اتم‌های کربن باعث افت وزنی می‌شود. افت وزنی کم

جدول (۳) تغییرات اسیدیت، آنتوسیانین‌ها و اسید اسکوربیک زرشک‌ها در بسته‌بندی‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۴ °C

Table 3. Titratable acidity, anthocyanins, and ascorbic acid changes of barberries inside different packages during storage at 4 °C

Characteristics پارامتر کیفی	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری (روز)			
		7	14	21	28
Harvesting day=4.7±0.13					
Acidity (%) اسیدیت (%)	C	4.08±0.42Aa	3.51±0.17Bab	3.89±0.12Ba	3.24±0.10Cb
	CD	4.19±0.15Aa	4.33±0.43Aa	4.55±0.13Aa	4.45±0.21Aa
	CDD	4.32±0.09Ab	4.35±0.13Ab	4.71±0.04Aab	4.91±0.29Aa
	D	4.39±0.08Aa	3.93±0.10ABb	3.49±0.17Cc	3.82±0.19Bbc
Harvesting day=659.3±6.3					
Anthocyanin (mg/100g)	C	688.4±1.3Aa	622.6±11.5Ab	611.0±3.6Ab	548.4±3.6Ac
	CD	608.6±4.9Bb	637.7±4.7Aa	571.4±10.5Bc	542.5±3.6Ad
	CDD	555.1±2.1Ca	581.0±8.8Ba	475.1±20.2Cb	389.5±12.0Bc
	D	607.6±3.6Ba	515.1±30.1Cb	473.4±17.0Cb	492.5±19.5Cb
Harvesting day=7.28±0.389.7					
Ascorbic acid (mg/100g)	C	5.87±1.20ABa	4.94±0.31Cab	4.09±0.17Bb	3.74±0.26Bb
	CD	7.73±0.99Aa	7.14±0.24Aa	6.34±0.21Aab	5.38±0.31Ab
	CDD	6.09±0.53ABa	6.15±0.27Ba	4.11±0.31Bb	3.03±0.25Bc
	D	5.53±0.30Ba	4.66±0.20Cb	3.81±0.40Bc	3.23±0.20Cc

حروف غیرمشابه بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر برای هر دما در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test ($P < 0.05$).

جدول (۴) تغییرات اسیدیته، آنتوسیانین‌ها و اسید اسکوربیک زرشک‌ها در بسته‌بندی‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۲۵ °C

Table 4. Titratable acidity, anthocyanins, and ascorbic acid changes of barberries inside different packages during storage at 25 °C

Characteristics پارامتر کیفی	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری (روز)			
		7	14	21	28
Harvesting day=4.7±0.13					
Acidity (%)	C	3.48±0.20Aa	3.86±0.14Aa	3.51±0.17Aab	3.15±0.13Ab
(اسیدیته %)	CD	3.75±0.18Aa	3.84±0.34Aa	3.75±0.28Aa	3.72±0.63Aa
	CDD	4.02±0.34Aa	4.27±0.52Aa	4.32±0.78Aa	4.43±0.61Aa
	D	3.55±0.37Aa	3.77±0.08Aa	3.33±0.04Aa	3.25±0.75Aa
Harvesting day=659.3±6.3					
Anthocyanin	C	593.8±25.9Ba	535.7±23.1ABab	591.7±22.4Aa	515.9±34.7Ab
(mg/100g)	CD	667.1±9.5Aa	592.6±19.7Ab	472.5±22.1Bc	401.1±36.8Ba
(mg/100g آنتوسیانین)	CDD	631.2±28.8ABa	509.5±19.2Bb	412.5±32.3Bc	341.2±20.8Bd
	D	663.0±25.5Aa	515.6±32.2Bb	418.1±19.5Bc	384.4±39.1Bc
Harvesting day=7.28±0.389.7					
Ascorbic acid	C	5.67±0.62Aa	3.35±0.66Bb	2.43±0.58ABb	2.32±0.42Ab
(mg/100g)	CD	6.63±0.64Aa	5.52±0.63Aab	3.98±0.99Abc	3.04±0.84Ac
اسید اسکوربیک	CDD	6.09±0.80Aa	3.81±0.51Bb	2.13±0.33Bc	1.91±0.49Ac
	D	5.27±0.72Aa	3.20±0.50Bb	2.37±0.51ABb	2.13±0.69Ab

حروف غیرمشابه بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر برای هر دما در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی نشان می‌دهد ($P < 0.05$).

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test ($P < 0.05$).

مربوط باشد. طی انبارداری پس از برداشت، اسید به نشاسته یا قند تبدیل می‌شود و بنابراین به کاهش محتوای اسیدیته قابل تیترا منجر می‌شود [۲۵].

۵.۳. آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع بسته‌بندی بر محتوای آنتوسیانین زرشک‌ها در طول دوره ماندگاری در دمای ۴ °C و ۲۵ °C معنی‌دار بود ($P < 0.05$). محتوای آنتوسیانین‌ها در زرشک‌ها در بسته‌های مختلف طی ۲۸ روز نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است. در دمای ۴ °C در هفته اول نگهداری محتوای آنتوسیانین زرشک‌ها در نمونه شاهد نسبت به زمان برداشت اندکی افزایش یافت.

به طور کلی همگام با افزایش طول دوره نگهداری، روند تغییر آنتوسیانین‌ها در زرشک‌ها در بسته‌های مختلف در هر دو دمای مورد مطالعه کاهش بود که با نتایج داینش کومار و همکاران [۲۶] هم‌راستا بود. البته محتوای آنتوسیانین‌ها در نمونه‌های CD و CDD ۱۴ روز پس از نگهداری در دمای ۴ °C به طور معنی‌دار افزایش یافت اما پس از آن روند کاهشی دوباره مشاهده شد. کندیر و همکاران (۲۰۱۸) نیز

همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌ها می‌تواند باعث تخمیر و ترشیدگی و در نتیجه افزایش اسیدیته شود.

کندیدر و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیان کردند که انارهای بسته‌بندی شده در اتمسفر تغییر یافته در دمای ۶ °C اسیدیته بالاتری نسبت به شاهد داشتند در حالی که در ۷ روز بعدی نگهداری در دمای ۲۰ °C اسیدیته در هر دو مشابه بود [۱۸].

گزارش شده است که تنفس مهم‌ترین فاکتور است که می‌تواند قندها را در حضور اکسیژن به انرژی تبدیل کند؛ بنابراین کاهش اسیدیته پس از افزایش ابتدایی می‌تواند به افزایش غلظت اکسیژن مربوط باشد [۲۴].

اسیدیته در نمونه‌های C، CD و D در دمای ۲۵ °C تا ۷ روز پس از نگهداری کاهش و سپس افزایش جزئی تا روز ۱۴ و دوباره تا انتهای دوره نگهداری به تدریج کاهش یافت. البته ذکر این نکته ضروری است که این تغییرات در اغلب موارد معنی‌دار نبود ($P > 0.05$). به طور کلی در پایان ۲۸ روز نگهداری بیشترین اسیدیته در نمونه CDD و کمترین آن در نمونه C مشاهده شد. با توجه به فساد و کپک‌زدگی بالای نمونه CDD در طول دوره نگهداری، اسیدیته بالای آن می‌تواند به فعالیت میکروارگانیسم‌ها و متابولیت‌های آن‌ها

مورد مطالعه کاهش یافت (جدول‌های (۳) و (۴)) و تنها در نمونه CD در هفته اول اندکی افزایش و پس از آن روند کاهشی مشاهده شد. کاهش اسید اسکوربیک در انتهای دوره نگهداری نسبت به روز هفتم در همه نمونه‌ها و در هر دو دمای مورد مطالعه معنی‌دار بود. کاهش مقدار اسید اسکوربیک می‌تواند به دلیل نقصان در بیوسنتز یا تجزیه سریع آن در شرایط اتمسفر تغییر یافته باشد. روند کاهشی اسید اسکوربیک به از دست رفتن آب، آسیب دیواره سلولی، دما، رطوبت و محیط بسته‌بندی نسبت داده می‌شود. اسید اسکوربیک به آنزیم فنلاز، دما، نور، اکسیژن و pH بسیار حساس است [۲۶] و بنابراین کاهش آن طی انبارداری قابل انتظار بود. نتایج وانی و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که مقدار اسید اسکوربیک در گیل‌اس‌های بسته‌بندی شده تحت اتمسفر تغییر یافته از حدود ۵ به ۱/۲۱ mg/100 g پس از ۹ روز نگهداری در دمای محیط و ۱/۸۵ mg/100 g پس از ۲۸ روز نگهداری در دمای یخچال رسید [۲۷].

بیشترین محتوای اسید اسکوربیک در دمای ۴ °C در پایان ۲۸ روز نگهداری در نمونه CD (۵/۴ mg/100 g) وجود داشت که ۴۵/۹٪ بیش از نمونه شاهد بود. بیشترین تخریب اسید اسکوربیک در هر دو دمای مورد مطالعه به نمونه CDD مربوط بود. اتمسفر تغییر یافته می‌تواند اکسایش اسید اسکوربیک به دهیدرواسکوربیک را کاهش داده و در نتیجه به حفظ آن کمک می‌کند. مقدار اسید اسکوربیک تحت تأثیر تفاوت‌های ژنوتیپی، شرایط آب و هوایی قبل از برداشت و روش‌های مدیریت در زمان رسیدگی و پس از برداشت نیز قرار می‌گیرد [۱۹].

۷.۳. ترکیبات فنلی کل

محتوای ترکیبات فنلی نمونه‌های زرشک در بسته‌های مختلف در طول ۲۸ روز نگهداری در دمای ۴ °C و ۲۵ °C به ترتیب در جدول‌های (۵) و (۶) آورده شده است. نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار اتمسفر بسته‌بندی بر مقدار ترکیبات فنلی در طول دوره ماندگاری بود ($P < 0.05$). بررسی تغییرات نمونه شاهد (C) در هر دو دمای مورد مطالعه بیانگر کاهش غیرمعنی‌دار ترکیبات فنلی همگام با افزایش دوره نگهداری بود ($P > 0.05$) که مقدار کاهش در

گزارش کردند که محتوای آنتوسیانین‌ها طی ۲ ماه ابتدایی نگهداری در دمای ۶ °C افزایش و پس از آن تا ماه ششم کاهش یافت [۱۸].

پایداری آنتوسیانین‌ها تحت تأثیر دمای فرایند، شرایط انبارداری، عملیات پس از برداشت، طبیعت شیمیایی آنتوسیانین‌ها، مجاورت با نور و فلزات و pH قرار می‌گیرد. کاهش مقدار آنتوسیانین‌ها طی دوره انبارداری می‌تواند به فعالیت آنزیم‌های اکسایشی مربوط باشد. البته سنتز آنها نیز در دمای پایین گزارش شده است. علاوه بر این سنتز یا تجزیه آنتوسیانین‌ها تحت تأثیر مقدار اکسیژن و دی‌اکسید کربن نیز قرار می‌گیرد [۲۶].

در پایان ۲۸ روز نگهداری کمترین مقدار آنتوسیانین در زرشک‌های ضد عفونی شده و بسته‌بندی شده تحت اتمسفر دی‌اکسید کربن (CDD) مشاهده شد که ۲۹ و ۳۳/۹٪ کمتر از محتوای زرشک در نمونه C به ترتیب در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C بود. کاهش در دسترس قرارگیری اکسیژن و در نتیجه افزایش دی‌اکسید کربن بیوسنتز آنتوسیانین‌ها را کاهش می‌دهد [۲۴]. کورت و همکاران (۲۰۱۸) اظهار داشتند که اتمسفر تغییر یافته از بیوسنتز آنتوسیانین جلوگیری می‌کند چراکه آنها مشاهده کردند که محتوای آنتوسیانین در زغال اخته‌های واریته لاوباش^۱ نگهداری شده در اتمسفر محیط نسبت به اتمسفر تغییر یافته بالاتر بود در حالی که در محتوای آنتوسیانین زغال اخته واریته نورث بلو^۲ نگهداری شده در بسته‌های LDPE و اتمسفر محیط طی انبارداری تغییر معنی‌داری مشاهده نشد [۱۷]. به طور کلی نتایج این پژوهش موید این مطلب می‌باشد که با افزایش دما شدت تخریب آنتوسیانین‌ها افزایش می‌یابد.

۶.۳. اسید اسکوربیک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر نوع بسته‌بندی بر محتوای اسید اسکوربیک نمونه‌های زرشک در دمای ۴ °C و ۲۵ °C در طول دوره ۲۸ روزه نگهداری معنی‌دار بود ($P < 0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش زمان نگهداری محتوای اسید اسکوربیک نمونه‌ها در هر دو دمای

1. Lowbush
2. Northblue

مواد فیتو شیمیایی) طی حداقل عملیات فرآیندی، پدیده شناخته شده‌ای است. به طور کلی تنظیم اکسایشی فرایندی است که تعادل دینامیکی را در سامانه تقویت کرده و گونه‌های اکسیژن فعال را تولید یا مهار می‌کند. بافت ابتدا به تنش پاسخ می‌دهد که به تولید گونه فعال اکسیژن منجر می‌شود و در نتیجه سامانه مسئول برای تولید ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فعال می‌شود. در صورتی که میزان تنش بالا باشد ممکن است بافت قادر به حفظ تعادل لازم نبوده و باعث آسیب به سلول شود [۲۰]. در پایان روز ۲۸، محتوای ترکیبات فنلی در نمونه‌های D و CDD در دمای °C ۴ به ترتیب ۲۲/۹ و ۱۱/۲٪ کمتر از نمونه شاهد در همان روز بود. در پایان ۲۸ روز نگهداری در دمای °C ۲۵ زرشک‌های بسته‌بندی شده در اتمسفرهای مختلف از لحاظ محتوای ترکیبات فنلی اختلاف معنی‌دار با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$).

روزهای ابتدایی در دمای °C ۲۵ کمتر از دمای °C ۴ بود اما پس از آن شدت یافته به طوری که در پایان دوره نگهداری محتوای ترکیبات فنلی در نمونه C نگهداری شده در دمای °C ۴ اندکی بالاتر از دمای °C ۲۵ بود. این روند تقریباً در مورد سایر بسته‌ها نیز صادق بود. نتایج داینش کومار و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که مقدار ترکیبات فنلی در دانه‌های انار ضد عفونی شده با آب کلردار ($100 \mu\text{l/l}$) و بسته‌بندی شده در شرایط اتمسفر کنترل شده و در دمای °C ۵ طی ۱۸ روز انبارداری روند افزایشی نشان داد و پس از آن به تدریج کاهش یافت [۲۶]. مقدار ترکیبات فنلی تحت تأثیر ژنتیک و محیط قرار دارد؛ اما به هر حال واکنش‌های اکسایشی که طی فرایند یا انبارداری رخ می‌دهند نیز می‌توانند مقدار این ترکیبات را تغییر دهند چراکه افزایش در محتوای آنها به پاسخ به شرایط تنش مربوط است. پاسخ به تنش زخمی شدن (تولید تنش کاهنده

جدول (۵) تغییرات ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی زرشک‌ها در بسته‌بندی‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دمای °C ۴

Table 5. Total phenolic compounds and antioxidant activity changes of barberries inside different packages during storage at 4 °C

Characteristics پارامتر کیفی	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری (روز)			
		7	14	21	28
Harvesting day=197.1±4.4					
Phenolic compounds (mg/100g) ترکیبات فنلی کل (mg/100 g)	C	162.8±2.1Ba	156.1±1.4Ba	143.9±1.9Aa	136.5±11.0ABa
	CD	190.3±3.9Aa	173.5±6.0Aa	163.4±9.5Aa	159.7±20.1Aa
	CDD	139.6±2.5Ca	157.3±4.4Ba	147.1±4.9Aa	121.2±11.2Ba
	D	135.6±8.7Ca	119.5±2.1Ca	110.7±10.4Ba	105.3±15.2ABa
Harvesting day=72.9±2.3					
RSC _{DPPH} (%) قدرت مهار رادیکال DPPH (%)	C	63.6±6.7Aa	59.0±3.7Bab	54.9±3.6Abc	50.3±3.0Ac
	CD	61.2±4.7Ab	66.3±3.0Aa	54.5±2.8Ac	39.2±4.2Cd
	CDD	53.4±2.3Ba	52.1±4.5Ca	54.4±3.6Aa	45.2±4.1Bb
	D	58.1±2.3ABa	49.1±5.4Cb	38.9±3.2Bc	35.3±3.2Cc
Harvesting day=99.4±4.1					
FRAP (mmol/l) قدرت احیاء‌کنندگی (mmol/l)	C	71.4±4.6Ba	68.8±5.1Cab	62.2±3.8Bb	65.2±8.3Aab
	CD	84.2±6.3Aa	83.5±3.4Aa	73.5±5.8Ab	59.3±5.0ABc
	CDD	68.0±3.9Bb	78.4±3.3Ba	62.7±3.6Bc	55.3±6.1Bd
	D	57.2±6.5Ca	48.7±3.5Db	42.3±6.0Cc	39.8±5.8Cc

حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر نشان می‌دهند.

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test ($P < 0.05$).

جدول (۶) تغییرات ترکیبات فنلی کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی زرشک‌ها در بسته‌بندی‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دمای ۲۵ °C
 Table 6. Total phenolic compounds and antioxidant activity changes of barberries inside different packages during storage at 25 °C

Characteristics پارامتر کیفی	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری (روز)			
		7	14	21	28
Harvesting day=197.1±4.4					
Phenolic compounds (mg/100g)	C	175.1±2.7Aa	176.3±2.6Aa	148.6±3.1Ab	132.5±6.1Ac
	CD	170.7±6.0Aa	158.2±11.0Aab	139.8±19.9Aab	128.5±18.5Ab
ترکیبات فنلی کل (mg/100 g)	CDD	156.1±5.7Ba	162.4±12.4Aa	155.1±15.1Aa	148.1±20.1Aa
	D	173.8±5.7Aa	156.8±1.7Ab	164.1±6.7Aab	150.2±8.0Ab
Harvesting day=72.9±2.3					
	C	61.0±5.5Aa	53.5±6.0ABab	47.3±4.5Aab	43.3±7.5Ab
RSC _{DPPH} (%)	CD	60.9±5.9Aa	57.2±5.2Aa	42.2±4.0Ab	32.2±3.8Ab
قدرت مهار رادیکال DPPH (%)	CDD	59.7±5.0Aa	53.1±8.9ABab	44.5±6.3Aab	36.4±5.8Ab
	D	56.5±6.6Aa	40.3±2.1Bb	40.9±4.9Ab	33.4±2.4Ab
Harvesting day=99.4±4.1					
FRAP (mmol/l)	C	68.8±2.0Aab	78.8±10.1Aa	66.2±7.8Aab	55.4±9.9Ab
قدرت احیاء‌کنندگی آهن (mmol/l)	CD	75.3±10.1Aa	65.9±15.0Aa	60.2±10.0Aa	49.4±5.8ABa
	CDD	66.0±8.8Aa	60.2±10.2Aa	51.7±11.1Aa	45.2±5.2ABa
	D	75.8±8.7Aa	51.9±9.4Ab	43.8±9.9Ab	36.2±6.2Bb

حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر نشان می‌دهند.

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test ($P < 0.05$).

کاهش قابل توجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های زرشک همراه بود و پس از آن در ادامه دوره نگهداری نیز روند کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در همه نمونه‌های زرشک بسته‌بندی شده در اتمسفرهای مختلف مشهود بود. قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH در زرشک‌های بسته‌بندی شده در اتمسفر طبیعی (نمونه C) در دمای ۴ °C و در روزهای ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ به ترتیب ۹/۳، ۱۳/۹، ۱۸ و ۲۲/۶٪ کاهش یافت در حالی که در دمای ۲۵ °C مقدار کاهش به ترتیب ۱۱/۹، ۱۹/۴، ۲۵/۶ و ۲۹/۶٪ بود. توانایی مهار رادیکال آزاد DPPH در نمونه‌های زرشک ضد عفونی شده یا تحت اتمسفر دی اکسید کربن به طور معنی‌دار کاهش یافت ($P < 0.05$).

قدرت احیاء‌کنندگی آهن نمونه‌های زرشک بسته‌بندی شده در اتمسفر طبیعی (نمونه C) در طول روزهای ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ نگهداری در دمای ۴ °C به ترتیب ۲۸/۲، ۳۰/۸، ۳۷/۴ و ۳۴/۴٪ و در دمای ۲۵ °C به ترتیب ۳۰/۸، ۲۰/۷، ۳۳/۴ و ۴۴/۳٪ کاهش یافت. قدرت احیاء‌کنندگی آهن در نمونه CD

به هر حال مقدار بالای دی اکسید کربن می‌تواند اثر قابل توجهی بر ترکیبات فنلی داشته باشد همان‌طور که مقدار آنتوسیانین‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین گزارش شده که کاهش ترکیبات فنلی طی انبارداری می‌تواند به دلیل تجزیه این ترکیبات در اثر فعالیت آنزیم‌ها، از دست رفتگی آب و تغییر در اسیدیته و مواد جامد محلول کل باشد [۲۶].

۸.۳. فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی با دو روش DPPH و FRAP اندازه‌گیری شد. نتایج تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار نوع اتمسفر بسته‌بندی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌های زرشک در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C بود ($P < 0.05$). جدول‌های ۵ و ۶ قدرت مهار رادیکال آزاد DPPH و قدرت احیاء‌کنندگی آهن را در نمونه‌های مختلف زرشک طی دوره ماندگاری به ترتیب در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C نشان می‌دهند. شوک ابتدایی پس از برداشت محصول با

پیوند بتا ۱ به ۴ بین اسید گالاکتورونیک در زنجیره پکتین شده و در نتیجه سفتی میوه را کاهش می‌دهد [۲۰].

در پایان ۲۸ روز نگهداری کمترین سفتی بافت در دماهای 4°C و 25°C به نمونه CDD مربوط بود که به ترتیب $60/7$ و $70/8$ ٪ نسبت به زمان برداشت و به ترتیب $21/4$ و $35/5$ ٪ نسبت به نمونه شاهد در همان شرایط کمتر بود. نمونه‌های CD، CDD و D با پیشرفت دوره نگهداری ظاهری به هم چسبیده و نرم و خیس به دلیل کندانس شدن آب را به نمایش گذاشتند. این مطلب در مورد دمای 25°C نیز صادق بود. گزارش شده که انعطاف‌پذیری یا تورم به فشار داخلی تورگور^۱ بستگی دارد که به طور عمده از طریق ویژگی‌های موم کوتیکولار تنظیم می‌شود چراکه موم مانع بسیار خوبی برای از دست دادن بیش از حد آب است. تغییرات سفتی بافت طی دوره انبارداری به میزان آب کندانس شده روی سطح محصول یا از دست دادن آب آنها بستگی دارد. تغییر در ویژگی‌های بافتی به دلیل از دست دادن آب به طور مستقیم به کاهش در فشار تورگور مربوط است یا می‌تواند با مقاومت پریدرم بیرونی یا حذف پریدرم برای انتقال بخار آب همراه باشد [۲۴].

۱.۰.۳. رنگ

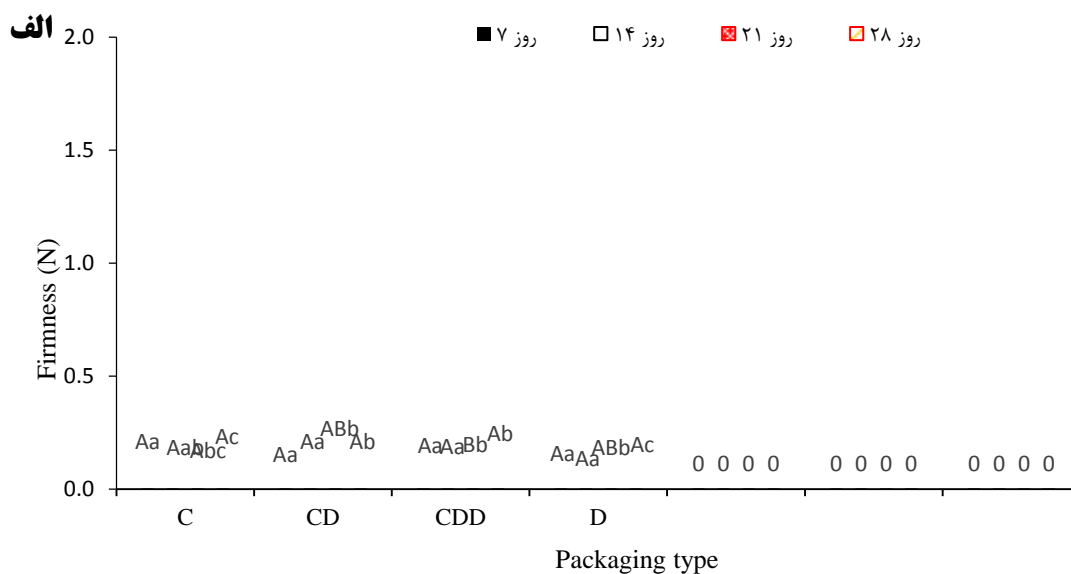
رنگ محصول فاکتور بسیار مهمی است که بر بازارپسندی و مقبولیت آن توسط مشتری تأثیر می‌گذارد. به منظور سنجش رنگ نمونه‌های زرشک پارامترهای L^* و a^* مورد بررسی قرار گرفتند. این شاخص‌ها به ترتیب بیانگر روشنی و قرمزی رنگ نمونه‌های زرشک می‌باشند. رنگ بری‌ها می‌تواند تحت تأثیر موم سطحی و محتوای آنتوسیانین آنها قرار گیرد. موم سطحی بر شاخص روشنی مؤثر است به طوری که مقدار بیشتر موم سطحی ممکن است روشنی بیشتری را به همراه داشته باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع اتمسفر بسته‌بندی بر پارامترهای رنگی بسته‌های زرشک در هر دو دمای مورد مطالعه طی دوره نگهداری معنی‌دار نبود ($P > 0/05$).

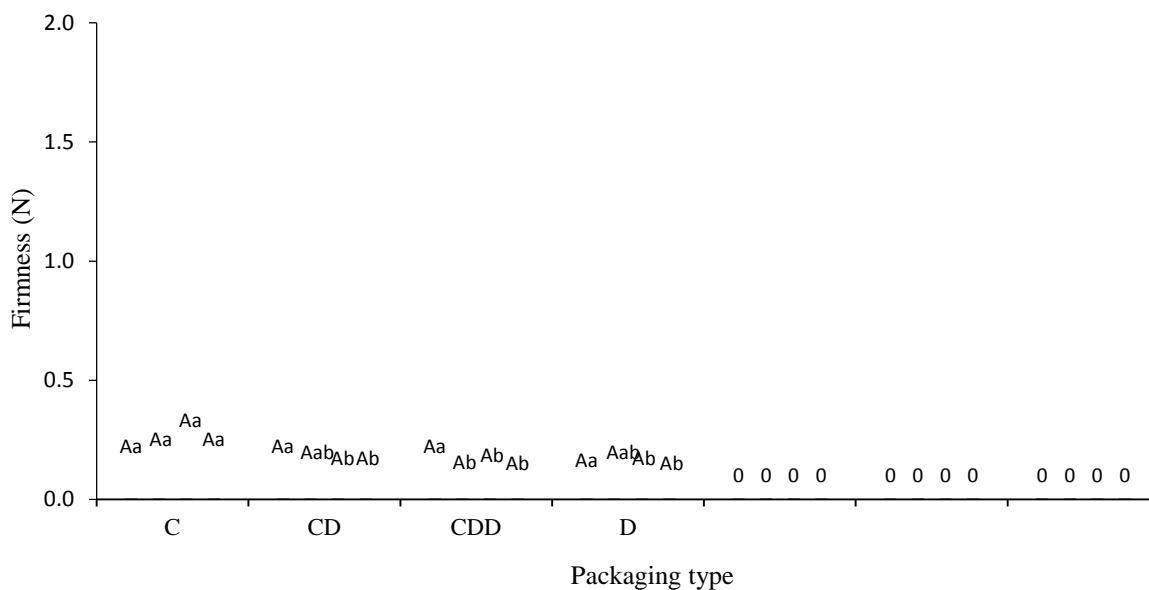
در دمای 4°C در روز ۷ نگهداری به طور معنی‌داری بالاتر از سایر نمونه‌ها بود اما با افزایش زمان نگهداری با شدت بیشتری کاهش یافت. کمترین قدرت احیاء‌کنندگی آهن در دماهای 4°C و 25°C در پایان ۲۸ روز نگهداری به نمونه D مربوط بود که به ترتیب 60 و $63/6$ ٪ کاهش نسبت به زمان برداشت در آن مشاهده شد.

۹.۳. بافت

نتایج تجزیه واریانس حاکی از اثر معنی‌دار اتمسفر بسته‌بندی بر بافت نمونه‌های زرشک در طول دوره نگهداری در دماهای 4°C و 25°C بود ($P < 0/05$). سفتی بافت زرشک‌های بسته‌بندی شده در اتمسفرهای مختلف در دماهای 4°C و 25°C در شکل (۳) نشان داده شده است. به طور کلی نتایج بیانگر این مطلب بود که با افزایش زمان ماندگاری در هر دو دمای مورد مطالعه، سفتی زرشک‌های بسته‌بندی شده در اتمسفرهای مختلف کاهش یافت و بافت آنها نرم‌تر شد که این کاهش سفتی در روز ۲۸ نگهداری در همه نمونه‌ها معنی‌دار بود. به طور کلی سفتی نمونه‌های CD، CDD و D در روز ۲۸ نگهداری نسبت به زمان برداشت، بیش از $0/90$ و $0/97$ واحد (N) به ترتیب در دماهای 4°C و 25°C کاهش یافت. رادیکال‌های تشکیل شده توسط تنفس هوازی (مانند سوپراکسید و اکسید نیتریک) دیواره سلولی را ضعیف کرده و پکتین دیواره را برای پکتیناز قابل دسترس می‌کند و باعث افت سفتی طی دوره پس از برداشت می‌شود. تحت اتمسفر تغییر یافته سرعت تنفس آهسته شده و بنابراین تولید رادیکال کمتری وجود دارد. غلظت‌های پایین اکسیژن و بالای دی اکسید کربن فعال‌سازی آنزیم‌های نرم‌کننده بافت را کاهش داده و امکان حفظ سفتی را طی انبارداری فراهم می‌کند. انبارداری در دمای پایین نیز نرم شدن بافت را کاهش می‌دهد که می‌تواند به دلیل کاهش سرعت تنفس و تعریق، اثر بازدارندگی بر آنزیم‌های هیدرولیتیکی دیواره سلولی (پلی‌گالاکتوروناز، پکتین متیل استراز) و همچنین کاهش تولید اتیلن باشد [۱۹]. نتایج سیکوپیرا مندس و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که سفتی بافت در همه هلوهای بسته‌بندی شده تحت اتمسفر تغییر یافته کاهش یافت. آنزیم پلی‌گالاکتوروناز موجب هیدرولیز



ج



شکل (۳) تغییرات سفتی بافت زرشک‌ها در بسته‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C (الف) و ۲۵ °C (ب). میله‌های رسم شده روی هر ستون نشانگر انحراف معیار داده‌هاست. حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب بین نوع بسته‌ها و طول دوره نگهداری نشان می‌دهند.

Fig 3. Changes of barberry firmness inside different packages during storage at (a) 4 °C and (b) 25 °C. Error bars shows standard deviation (SD). Non-similar uppercase and lowercase letters in each column indicate a significant difference among atmosphere type and storage period, respectively, according to the Tukey test ($P < 0.05$).

دماهای 4°C و 25°C در جدول (۷) آورده شده است. با افزایش دوره نگهداری درصد آسیب‌دیدگی در همه بسته‌ها افزایش یافت و شدت گسترش کپک‌زدگی در دمای 25°C بیش از دمای 4°C بود به طوری که میزان کپک‌زدگی در نمونه‌های C، CD، CDD و D در دمای 4°C در روز هفتم به ترتیب $6/3$ ، $10/1$ ، 24 و $14/3$ ٪ و در روز ۲۸ به ترتیب ۸، ۲۴، ۱ و $11/7$ ٪ بیش از دمای 25°C بود. در دمای 25°C در روز ۲۱ ماندگاری بیش از نیمی از زرشک‌ها در بسته‌های CD و CDD کپک زده و در پایان دوره ۲۸ روز تقریباً به طور کامل دچار فساد قارچی شدند. یافته‌های وانی و همکاران (۲۰۱۸) با نتایج پژوهش حاضر در تطابق بود. این محققین گزارش کردند که با افزایش زمان انبارداری گیلاس‌ها در شرایط اتمسفر تغییر یافته در دمای محیط (شروع فساد از روز سوم) و یخچال (شروع فساد از روز چهاردهم) فساد افزایش یافت به طوری که پس از پایان ۲۸ روز ماندگاری در دمای یخچال و ۹ روز نگهداری در دمای محیط، درصد فساد گیلاس‌ها به ترتیب به $43/23$ و $31/04$ ٪ رسید [۲۷].

تغییر اتمسفر انبارداری موجب بروز پاسخ‌های تدافعی گیاه شده و مقاومت به بیماری را در محصولات پس از برداشت افزایش می‌دهد. زمانی که تنفس همگام با محدودیت اکسیژن کاهش می‌یابد، ممکن است پاسخ منفی به تغییر اتمسفر بسته‌بندی مشاهده شود. سطوح پایین‌تر اکسیژن اغلب سطحی در نظر گرفته می‌شود که باعث تخمیر می‌شود. به طور کلی درصد گسترش کپک‌زدگی در هر دو دمای مورد مطالعه در نمونه CDD و به دنبال آن نمونه D بسیار بالا بود. افزایش دمای نگهداری سرعت کپک‌زدگی را افزایش داد. میزان کپک‌زدگی در این نمونه‌ها حتی بسیار بیشتر از نمونه شاهد (C) در شرایط مشابه بود. به نظر می‌رسد عمل ضدعفونی کردن به دلیل اینکه آب سطحی روی محصول بجا می‌گذارد، شرایط را برای رشد کپک‌ها مساعد نموده است. نتایج بیلابی و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که بار میکروبی دانه‌های انار شامل جمعیت باکتری‌ها، مخمرها و کپک‌ها با افزایش زمان انبارداری تا ۹ روز افزایش یافت. همچنین این محققین کندانس شدن بخار آب داخل بسته را عامل رشد بیشتر کپک‌ها در دانه‌های انار بسته‌بندی شده دانستند [۲۴].

نتایج (داده‌ها آورده نشده‌اند) نشان داد که به طور کلی با افزایش زمان نگهداری در هر دو دمای مورد مطالعه میزان پارامترهای L^* و a^* در نمونه‌ها در بسته‌های مختلف کاهش یافت اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود ($P > 0/05$). این امر بیانگر کاهش جزئی روشنی و قرمزی نمونه‌های زرشک در طول دوره نگهداری بود. در پایان ۲۸ روز شاخص‌های L^* و a^* نمونه‌های زرشک نگهداری شده در دمای 4°C نسبت به دمای 25°C اندکی بالاتر بود که نشانگر رنگ مطلوب‌تر آنها می‌باشد. شایان ذکر است که شاخص a^* نمونه‌های زرشک در طول دوره نگهداری نسبت به زمان برداشت کاهش قابل توجهی داشتند در حالی که شاخص L^* آن‌ها بیشتر از زمان برداشت بود؛ به عبارت دیگر به نظر می‌رسد که کاهش شاخص a^* با افزایش شاخص L^* در نمونه‌های زرشک هم‌راستا بود. نتایج این پژوهش با یافته‌های دوان و همکاران (۲۰۱۱) هم‌راستا بود. آن‌ها نشان دادند که شاخص L^* و b^* در زغال اخته‌های نگهداری شده در اتمسفر محیط بالاتر از اتمسفر تغییر یافته بود در حالی که درجه قرمزی در آنها کمتر بود. گزارش شده که رنگ سطحی محصول می‌تواند متأثر از محتوای مواد جامد محلول، محتوای آنتوسیانین و اسیدیت باشد [۲۵].

در پایان ۲۸ روز نگهداری در دماهای 4°C و 25°C کمترین قرمزی به ترتیب به نمونه‌های CD و CDD مربوط بود. شاخص L^* و a^* در زرشک تازه برداشت شده به ترتیب $44/8 \pm 3/0$ و $36/1 \pm 2/3$ بود که پس از ۲۸ روز نگهداری به طور متوسط به ترتیب به $48/2$ و $24/0$ در دمای 4°C و $47/5$ و $20/9$ در دمای 25°C رسید.

۱۱.۳. آسیب‌دیدگی قارچی

آسیب‌دیدگی قارچی بر اساس تشخیص بصری کپک انجام گرفت. تعداد زرشک‌های کپک زده در هر بسته شمارش شده و به عنوان درصد آسیب‌دیدگی قارچی هر بسته در نظر گرفته شد.

نتایج نشان داد که اتمسفر بسته‌بندی تأثیر بسیار مشخص و چشمگیری بر فساد قارچی نمونه‌های زرشک در طول دوره نگهداری در دماهای 4°C و 25°C داشت. نتایج آسیب‌دیدگی قارچی در نمونه‌های مختلف زرشک طی ۲۸ روز نگهداری در

می‌تواند عامل تسریع رشد کپک‌ها باشد. محصول تازه برداشت شده می‌تواند در شرایط اتمسفر تغییر یافته تا رسیدن غلظت دی‌اکسید کربن به حد بحرانی (۱۰ تا ۵٪) به تنفس ادامه دهد. این حداقل غلظت برای جلوگیری از رشد بوتریتیس ضروری است [۱۷].

غلظت بالای دی‌اکسید کربن می‌تواند مانع آسیب‌دیدگی قارچی، نرم شدن و افت وزنی شود. فیلم‌های LDPE به دلیل نفوذپذیری بالاتر به گاز نمی‌توانند غلظت گاز داخل فضای بسته را در حد بحرانی حفظ کنند. از این رو، سطح گاز دی‌اکسید کربن موجود در داخل بسته در طول دوره نگهداری دستخوش کاهش و گاز ازت و اکسیژن جایگزین آن شد که

جدول (۷) درصد آسیب‌دیدگی قارچی نمونه‌های زرشک در بسته‌های مختلف در طول دوره نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C

Table 7. Decay incidence (%) in barberries packages during storage at 4 °C and 25 °C

Temperature دما	Packaging type نوع بسته‌بندی	Storage day زمان نگهداری (روز)			
		7	14	21	28
4 °C	C	2.0±1.0Bc	2.3±1.5Cc	20.7±4.0Cb	29.0±3.6Ca
	CD	8.3±1.5Ac	27.0±2.6Ab	39.7±4.5Bb	73.0±8.2Ba
	CDD	5.3±1.5Ac	12.7±2.1Bc	73.3±5.5Ab	95.7±4.-Aa
	D	0.0±0.0Bc	4.3±1.5Cc	25.3±4.2Cb	42.0±5.3Ca
25 °C	C	8.3±1.5Cc	27.3±2.5Cb	32.0±4.6Dab	37.0±3.0Ca
	CD	18.4±4.6Bd	39.3±4.2Bc	67.3±3.5Bb	97.0±2.0Aa
	CDD	29.3±4.5Ad	63.0±6.0Ac	84.0±4.6Ab	96.7±2.1Aa
	D	14.3±2.5BCc	43.3±4.5BCb	45.0±4.0Ca	53.7±4.0Ba

حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد بر اساس آزمون توکی می‌باشد ($P < 0.05$). حروف بزرگ و کوچک اختلاف معنی‌دار را به ترتیب در هر ستون و سطر نشان می‌دهند.

Non-similar uppercase and lowercase letters indicate a significant difference in columns and rows, respectively for each temperature according Tukey test ($P < 0.05$).

ماندگاری و کیفیت زرشک تازه همراه بود و ادغام این دو روش نیز نتایج مطلوبی را برای انبارداری و حفظ کیفیت زرشک به همراه نداشت. به نظر می‌رسد که در صورت بکارگیری پیش تیمار ضدعفونی کردن نیاز است در مرحله دیگری با استفاده از دمش هوا رطوبت سطحی میوه‌های زرشک گرفته شود به طوری که رطوبت اولیه زرشک‌ها تحت تأثیر قرار نگیرد. همچنین با وجود اینکه بسیار گزارش شده که اتمسفر دی‌اکسید کربن و عدم حضور اکسیژن برای نگهداری طولانی مدت بسیاری از محصولات مناسب است اما این نتیجه در مورد میوه‌های زرشک صادق نبود و انجام پژوهش‌های بیشتری در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر اتمسفر دی‌اکسید کربن و پیش تیمار ضدعفونی کردن بر ماندگاری زرشک تازه در طول ۲۸ روز نگهداری در دماهای ۴ °C و ۲۵ °C بررسی شد. نتایج به دست از این مرحله تأیید کرد که دما عامل مهمی در نگهداری زرشک تازه است و با افزایش دما سرعت واکنش‌های اکسایشی، شیمیایی و میکروبی افزایش و طول دوره ماندگاری کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که بسته‌بندی تحت اتمسفر دی‌اکسید کربن منجر به تسریع رشد کپک‌ها و ایجاد آرومای نامطلوب در آن شد. ضدعفونی اولیه زرشک تازه نیز به دلیل رطوبت سطحی با کاهش

منابع

[1] Kafi, M, Balandari, A. (2002) Barberry: Production and processing technology 3. Ferdowsi University of Mashhad Publications, Iran.

[2] Motalleb, G, Hanachi, P, Kua, S, Fauziah, O, Asmah, R. (2005) Evaluation of phenolic content and

- total antioxidant activity in *Berberis vulgaris* fruit extract. *J. Biol. Sci.*, 5 (5), 648-653.
- [3] Fatehi, M, Saleh, TM, Fatehi-Hassanabad, Z, Farrokhfal, K, Jafarzadeh, M, Davodi, S. (2005). A pharmacological study on *Berberis vulgaris* fruit extract. *J. Ethnopharmacol.*, 102 (1), 46-52.
- [4] Akhavan, HR, Berenji, Ardestani, S, Fazel, M. (2017). The effect of gamma Irradiation on the shelf-life and quality characteristics of fresh barberry fruit. *Iranian J. Nucl. Sci. Tech.*, 81,73-86.
- [5] TCCIMA. (2017). Tehran Chamber of Commerce, Industries, Mines, and Agriculture. Tehran, Iran.
- [6] Valipoor, Motlagh, N, Hamed Mousavian, MT, Mortazavi, SA. (2009) The effect of packages containing silver nanoparticles on microbial and appearance characteristics of barberry compared to conventional polyethylene packages. *Iranian Food Sci. Tech. Res. J.*, 5 (2), 75-87.
- [7] Khosroshahi, S, Tabatabaee Yazdi, F, Sedaghat, N. (2014). Investigation of the effect of modified atmospheric packaging (MAP) on physicochemical and microbial characteristics of fresh barberry. Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- [8] Ahmad, S, Thompson, AK, Asi, AA, Khan, M, Chatha, GA, Shahid, MA. (2001) Effect of reduced O₂ and increased CO₂ (controlled atmosphere storage) on the ripening and quality of ethylene treated banana fruit. *Int. J. Agric. Biol.*, 3 (4),486-490.
- [9] Choi, HJ, Bae, YS, Lee, JS, Park, MH, Kim, JG. (2016) Effects of carbon dioxide treatment and modified atmosphere packaging on the quality of long distance transporting "maehyang" strawberry. *Agric. Sci.*, 7 (12),813-821. doi:10.4236/as.2016.712074.
- [10] Ramin, A, Sheikhoie, H, Yousefi, AR. (2016). Evaluation of the effect of modified atmosphere packaging (map) and propolis on some properties of spinach cultivar of "varamin 88" during preservation. *Iranian J. Food Sci. Tech.*, 13 (61),1-15.
- [11] Rodoni, LM, Feuring, V, Zaro, MJ, Sozzi, GO, Vicente, AR, Arena, ME. (2014). Ethylene responses and quality of antioxidant-rich stored barberry fruit (*Berberis microphylla*). *Sci. Hort.*, 179,233-238.
- [12] AOAC (2005) Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists International. AOAC Gaithersburg, MD.
- [13] Mousavian, DS, Niazmand, R, Sharayei, P. (2015). Decreasing acrylamide formation in fried potato slices using hydrocolloid coatings and bene kernel oil. *J. Agric. Sci. Tech.*, 1725-1734.
- [14] Ahmadian-Kouchaksaraie, Z, Niazmand, R. (2017) Supercritical carbon dioxide extraction of antioxidants from *Crocus sativus* petals of saffron industry residues: Optimization using response surface methodology. *J. Supercrit. Fluids*, 121, 19-31.
- [15] Ahmadian-Kouchaksaraie, Z, Niazmand, R, Najaf Najafi, M. (2016). Optimization of the subcritical water extraction of phenolic antioxidants from *Crocus sativus* petals of saffron industry residues: Box-Behnken design and principal component analysis. *Int. J. Agric. Biol.*, 36, 234-244. doi:https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.07.005.
- [16] Jalali Mousavi, SR, Niazmand, R, Shahidi Noghahi, M. (2015). Antioxidant activity of purslane (*portulaca oleracea* L.) seed hydro-alcoholic extract on the stability of soybean oil. *J. Agric. Sci. Technol.*, 17 (6), 1473-1480.
- [17] Koort, A, Moor, U, Pöldma, P, Kaiser, C, Starast, M. (2018). Comparison of regular atmospheric storage versus modified atmospheric packaging on postharvest quality of organically grown lowbush and half-highbush blueberries. *Sustainability*, 10 (11), 3916.
- [18] Candir, E, Ozdemir, AE, Aksoy, MC. (2018). Effects of chitosan coating and modified atmosphere packaging on postharvest quality and bioactive compounds of pomegranate fruit cv. 'Hicaznar'. *Sci. Hort.*, 235, 235-243.
- [19] Chitravathi, K, Chauhan, O, Raju, P. (2015). Influence of modified atmosphere packaging on shelf-life of green chillies (*Capsicum annum* L.). *Food Packag. Shelf Life*, 4, 1-9.
- [20] Mendes, LdS, Aguayo, E, Pessoa, CdO, Nastaro, BT, Kluge, RA. (2019). Enhancement of the antioxidant capacity and reduction of chilling injury in 'Douradão' peaches refrigerated under pre-storage and modified atmosphere. *Acta Sci., Agron.*, 41.
- [21] Giuggioli, NR, Girgenti, V, Peano, C. (2017). Qualitative performance and consumer acceptability of starch films for the blueberry modified atmosphere packaging storage. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, 67 (2), 129-136.
- [22] Lee, L, Arul, J, Lencki, R, Castaigne, F. (1995). A review on modified atmosphere packaging and preservation of fresh fruits and vegetables: Physiological basis and practical aspects—Part I. *Packag. Technol. Sci.*, 8 (6), 315-331.
- [23] Khoshgozaran, S, Azizi, MH, Bagheripoor-Fallah, N. (2012). Evaluating the effect of modified atmosphere packaging on cheese characteristics: a review. *Dairy Sci. Technol.*, 92 (1), 1-24.
- [24] Belay, ZA, Caleb, OJ, Mahajan, PV, Opara, UL. (2018). Design of active modified atmosphere and humidity packaging (MAHP) for 'wonderful' pomegranate arils. *Food Bioprocess Technol.*, 11 (8), 1478-1494.
- [25] Duan, J, Wu, R, Strik, BC, Zhao, Y. (2011). Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial

storage conditions. *Postharvest Biol. Technol.*, 59 (1), 71-79.

[26] Dhinesh Kumar, V, Ramasamy, D, Jerish Joyner, J. (2018). Effect of active modified atmosphere packaging material on biochemical and microbial characteristics of pomegranate arils during storage. *Int. J. Chem. Stud.*, 6 (2), 95-99.

[27] Wani, S, Hameed, OB, Mir, M, Hussain, P, Majeed, D. (2018). Effect of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on the quality and storage stability of sweet cherry (cv. Misri and Double) under ambient and refrigerated storage conditions. *J. Postharvest Technol.*, 6 (3), 44-59.

*Research Article***Evaluation of the effect of disinfection pre-treatment and carbon dioxide relative atmosphere on the physicochemical and microbial characteristics of fresh barberry during storage****Razieh Niazmand^{1*}, Samira Yeganehzad²****1. Associate professor, Department of Food Chemistry, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad****2. Assistant Professor, Department of Food Processing, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad****Abstract**

The aim of this study was to investigate the effect of relative atmosphere of CO₂ and pre-treatment of disinfection on the physicochemical and microbial properties of fresh barberry during storage. For this purpose, after removing the foliage, part of the barberry fruit was packed in LDPE/PET packages with a thickness of 45 μm and under the CO₂ relative atmosphere (CD). Some of the fruits were first disinfected with commercial solution and then packaged under the natural atmosphere (D) or under a CO₂ relative atmosphere (CDD). The barberry fruits without disinfection and packaged under the natural atmosphere were considered as control (C). Results showed at 28th day, the levels of O₂ and CO₂ in C packages at 4 °C reached to 2.8% and 19.3%, respectively and at 25 °C reached to 5.2% and 18.4%, respectively, while in CD and CDD packages, the amount of CO₂ inside the package, at the end of storage period at 4 °C decreased to 30% and 35% and at 25 °C decreased to 38% and 41%. At the end of 28 days, the moisture loss and weight loss in CD and CDD samples were higher than other samples, especially at 25°C (weight loss more than 21%), while the acidity increased in these samples. At the end of 28 days of storage at 4°C, the lowest content of anthocyanins, phenolic compounds, ascorbic acid, the DPPH scavenging capacity and the ferric reducing antioxidant power were related to the CDD, D, CDD, D, and D samples, respectively which they exhibited 40.6, 46.6, 58.4, 51.6, and 60% decline compared to harvest time. The lowest values of the above compounds at 25 °C were related to CDD, CD, CDD, CD, and D samples, which lost by 48.2, 34.8, 73.8, 55.7, and 63.6%, respectively in comparison to harvest time. At the end of the storage period, the lowest firmness (at 4 and 25 °C, 0.66 N and 0.49 N) and the highest decay (at 4 and 25 °C, 95.7% and 96.7%) were related to the CDD. It seems that the CO₂ atmosphere does not have the ability to maintain the quality of fresh barberry and the pre-treatment of disinfection intensified unfavorable conditions.

Key words: Modified atmosphere; Anthocyanins; Shelf life; Antioxidant Activity; Packaging

* Corresponding author: r.niazmand@rifst.ac.ir