بررسی کیفیت گوجه‌فرنگی زیتونی (رقم سانتلا) بسته‌بندی شده در فیلم‌های پلی‌اتیلنی و نانو پلیمر سیلیکونی به روش اتمسفر تغییریافته

بهاره احمدی[۱]، بهجت تاج الدین[۲*]، حسین احمدی چناربن[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی (تکنولوژی مواد غذایی)، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
۲- عضو هیأت علمی، بخش تحقیقات صنایع غذایی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد ورامین- پیشوا، دانشگاه آزاد اسلامی، ورامین، ایران.
(تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۹)

چکیده

میوه‌ها و سبزی‌ها از جمله مهم‌ترین محصولات باغی هستند که نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی و سلامت انسان بر عهده دارند. بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته فناوری است که به کمک کنترل دما، به منظور نگهداری و حفظ کیفیت مواد غذایی فاسدشدنی پایه‌گذاری شده است. امروزه فناوری‌های جدید مانند نانو فناوری و امکان استفاده از نانوکامپوزیت‌ها در بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته، فرصت‌های جدیدی برای بهره‌مندی بیشتر از مزایای این روش را فراهم ساخته است. در پژوهش حاضر، تأثیر کاربرد بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته با دو نوع فیلم پلی‌اتیلن و نانوپلیمرسیلیکونی و سه نوع ترکیب مختلف گازی ($٪۸۸N_2+٪۸CO_2+٪٤O_2$)، ($٪۹۲N_2+٪۳CO_2+٪۵O_2$)، ($٪۸۰O_2+٪۲۰N_2$) و اتمسفر تغییر یافته غیرفعال، در دمای ۵ درجه سلسیوس، بر برخی از شاخص‌های فیزیکوشیمیایی گوجه‌فرنگی نظیر کاهش وزن، مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتر، میزان تنفس، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر طی ۲۸ روز نگهداری، بر اساس آزمایش فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار مورد آزمون قرار گرفت. با توجه به نتایج، نگهداری گوجه‌فرنگی در بسته‌بندی با اتمسفرتغییر یافته سبب حفظ کیفیت و افزایش عمرماندگاری این محصول گردید. به گونه‌ای که فیلم نانوپلیمرسیلیکونی به همراه ترکیب گازی ($٪۸۸N_2+٪۸CO_2+٪٤O_2$) سبب ایجاد و حفظ اتمسفر مطلوب برای گوجه‌فرنگی و باعث کند نمودن فرآیندهای متابولیکی از جمله تنفس گردید. در نتیجه در کاهش روند تغییرات وزن، مواد جامد محلول، pH و اسیدیته قابل تیتر نسبت به سایر تیمارها مؤثرتر بود. ضمن آنکه، کمترین میزان آلودگی از نظر بار میکروبی کل و کپک و مخمر نیز در این تیمار مشاهده گردید.

کلید واژگان: گوجه‌فرنگی، بسته‌بندی، اتمسفر تغییر یافته، فیلم پلی اتیلن، فیلم نانوپلیمر سیلیکونی

* مسئول مکاتبات: behjat.tajeddin@yahoo.com

۱- مقدمه

گوجه‌فرنگی با نام علمی (*Lycopersicun esculentum* L.) گیاهی از خانواده بادمجانیان (*Solanaceae*) است که به دلیل پاره‌ای از خواص دارویی و نیز مغذی بودن، از شهرت زیادی برخوردار است و در علم گیاه‌شناسی در شاخهٔ میوه‌های توت طبقه‌بندی شده است. گوجه‌فرنگی دارای مقادیر زیادی ویتامین‌های A، C و لیکوپن بوده اما میزان چربی و کالری آن پایین می‌باشد به‌گونه‌ای که هر ۱۰۰ گرم گوجه‌فرنگی خام، حاوی ۲۰ کالری انرژی می‌باشد که این خواص موجب افزایش مصرف خانگی آن شده است [۱].

با توجه به اینکه میوه‌ها و سبزی‌ها پس از برداشت به سرعت خراب شده و دچار افت کیفیت می‌شوند، پیدا کردن راه-کارهایی برای افزایش دورهٔ ماندگاری و حفظ کیفیت این محصولات بسیار مهم است. متداول‌ترین روش برای طولانی کردن عمر نگهداری محصولات تازه برداشت شده، نگهداری در شرایط سرد با رطوبت نسبی بالا می‌باشد. از مهم‌ترین روش‌های دیگر می‌توان به انبارداری در اتمسفر کنترل شده، انبارداری در اتمسفر فشار پایین و بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته[1] (MAP) اشاره کرد. بسته‌بندی در اتمسفر تغییر یافته، فرآیند دینامیکی فعال[2] و یا غیر فعال[3] تغییر ترکیب گازی در داخل یک بسته است که بر تعامل بین سرعت تنفس محصول و انتقال گازها از طریق مواد بسته‌بندی متکی است [۲]. حدود ۹۰ درصد از مواد مورد استفاده در بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته را فیلم‌های انعطاف‌پذیر پلاستیکی تشکل می‌دهند. این مواد، دامنه وسیعی از نفوذپذیری نسبت به CO_2، O_2 و بخار آب را برای پاسخ به نیازهای مورد نظر در MAP فراهم می‌کنند [۳]. امروزه فناوری‌های جدید مانند متالوسن، منفذدار کردن و به‌کارگیری نانوکامپوزیت‌ها در روش بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته امکان تولیدفیلم‌هایی با ویژگی‌های مورد نیاز برای دامنه وسیعی از مواد غذایی را ایجاد کرده‌است. ظهور نانو در صنعت بسته‌بندی مواد غذایی، راه حل‌هایی کاربردی در ارتباط با افزایش طول عمر ماندگاری مواد غذایی پیش روی بشر قرار داده است.

نانوچندسازه، به دسته خاصی از چندسازه گفته می‌شود که حداقل یکی از اجراء آن در مقیاس نانو باشد. نانو ذرات باعث افزایش خواص بازدارندگی، بهبود خواص مکانیکی و مقاومت در برابر گرما، توسعه فعالیت ضد میکروبی و غیره می‌شوند. نانوچندسازه‌ها را می‌توان با پلی‌مرهای گرماسخت و یا گرمانرم تولید کرد. استفاده از نانو ذرات در پلاستیک‌ها می‌تواند سبب بهبود خاصیت ممانعت کنندگی آن‌ها گردد. بنابراین نکته کلیدی برای بهره‌مندی از فواید ارزشمند بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته، پس از شناخت دقیق نیازهای ماده غذایی مورد نظر، انتخاب فیلمی مناسب بسته‌بندی است [٤].

بررسی شاخص‌های کیفی گوجه‌فرنگی بسته‌بندی شده در فیلم‌های پلی اتیلن با ضخامت ۵۰ میکرومتر و پلی‌پروپیلن با ضخامت ۲۵ میکرومتر نشان داد که بعد از ٦۰ روز ماندگاری شاخص‌های کیفی نمونه‌های بسته‌بندی شده در سردخانه در مقایسه با تیمار شاهد بهتر حفظ می‌گردد [۵]. در تحقیقی کیفیت گوجه‌فرنگی در شرایط اتمسفر کنترل شده، اتمسفر تغییر یافته (استفاده از فیلم‌های پلی اتیلینی با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر) و نگهداری شده در سرما بررسی شد. برای هر دو شرایط، اتمسفر تغییر یافته و کنترل شده، ترکیب گازی (٪۵O_2+٪۳CO_2+٪۹۲N_2) به کار برده شد. با توجه به نتایج، شاخص‌های کیفی گوجه‌فرنگی شامل رنگ، بافت، اسیدیته و مواد جامد محلول، طی نگهداری در شرایط اتمسفر کنترل شده نسبت به اتمسفر تغییر یافته بهتر حفظ شد [٦]. همچنین نگهداری گوجه‌فرنگی در اتمسفر تغییر یافته و استفاده همزمان از اشعه یو وی نشان داد که کاربرد اشعه یو وی به تنهایی و همراه با اتمسفر تغییر یافته غیر فعال، سفتی بافت را نسبت به تیمار شاهد بهتر حفظ می‌نماید [۷]. در پژوهشی تأثیر استفاده از بسته‌بندی نانو سیلیکا بر ماندگاری و خواص کیفی میوه هلو طی سه دوره نگهداری (۱۵، ۳۰ و ٤۵ روز) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج، استفاده از این بسته‌بندی تأثیر معنی-داری در مقایسه با بسته‌بندی معمولی بر حفظ خواص کیفی و افزایش عمر ماندگاری میوه هلو داشت [۸]. نتایج پژوهش دیگر محققان نشان داد که نگهداری گوجه‌فرنگی در بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته با ترکیب گازی (٪٤O_2+٪۸CO_2+٪۸۸N_2) و در پوشش پلی‌پروپیلن، افت وزن گوجه‌فرنگی را طی دوره نگهداری کاهش می‌دهد [۹]. در

1. Modified Atmosphere Packaging (MAP)
2. Active Modified Atmosphere Packaging
3. Passive Modified Atmosphere Packaging

تحقیقی دیگر بسته‌بندی میوه تازه بریده شده شلیل در ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا، سبب کاهش وزن کمتر محصول نسبت به نمونه شاهد گردید [۱۰].

با توجه به موارد مطرح شده، در پژوهش حاضر ترکیبی از روش نسبتاً جدید بسته‌بندی با MAP و فناوری نوین تولید فیلم‌های نانو پلیمری، به همراه پلی‌اتیلن سبک (یکی از فیلم-های پلیمری متداول در بسته‌بندی محصولات تازه) استفاده و تأثیر هر یک از این تیمارها بر برخی شاخص‌های کیفی گوجه-فرنگی تازه طی دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹٤ در موسسه تحقیقات فنی مهندسی کشاورزی کرج انجام شد. گوجه‌فرنگی قرمز رقم سانتلای مورد استفاده در این تحقیق، از گلخانه تهیه گردید. گوجه‌های سالم (بدون لک، فاقد آلودگی و بدون هرگونه خراشیدگی) انتخاب و تمام آنها با آب شستشو و در دمای محیط آزمایشگاه خشک شدند.

فیلم‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل فیلم پلی‌اتیلن با دانسیته پائین به ضخامت ٤۲ میکرون و فیلم نانو پلیمرسیلیکونی به ضخامت ۳۱ میکرون از شرکت نانو بسپار آیتک (تهران، ایران) تهیه گردید (شکل ۱). نمونه‌ها پس از توزین و قرارگرفتن درون کیسه‌های تهیه شده از دو نوع فیلم پلیمری و نانوپلیمری، به دو روش اتمسفر تغییر یافته فعال و غیر فعال بسته‌بندی شدند. در روش فعال، سه ترکیب گازی متفاوت با اتمسفر شامل ($٤٪O_2+٨٪CO_2+٨٨٪N_2$)، ($٥٪O_2+٣٪CO_2+٩٢٪N_2$) و ($٨٠٪O_2+٢٠٪N_2$) مورد استفاده قرار گرفتند. ترکیب‌های گازی ذکر شده به صورت پیش ترکیب با درصدهای مورد نظر در سیلندرهای ۵ لیتری با فشار ۱۲۰ بار و خلوص ۹۹/۹۹۹ از شرکت تولز (تهران، ایران) تهران تهیه شدند. در ادامه پس از اتصال سیلندرها به دستگاه تزریق گاز هنکلمن[1] (مدل بوکسر ٤ زد[2]، ساخت هلند) ترکیبات گازی مورد نظر به شرح جدول ۱ به صورت آنی وارد کیسه‌ها گردیدند و در نهایت عمل دوخت انجام شد. در روش غیر فعال، کیسه‌ها بدون تزریق گاز، توسط دستگاه بسته-بندی شدند. برای تیمار شاهد، همان بسته‌بندی متداول این کالادر بازار یعنی ظروف پلی‌اتیلن ترفتالات سوراخ دار مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت تمامی نمونه‌های تهیه شده به منظور اعمال تیمار دمایی مورد نظر به سردخانه‌ای با دمای ۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد منتقل شدند. در ادامه آزمون‌های مورد نظر شامل تنفس، درصد کاهش وزن نمونه، کل مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتر، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و شمارش کپک و مخمر در روز صفر (قبل از بسته‌بندی)، همچنین طی دورهٔ نگهداری در روزهای هفتم (D7)، چهاردهم (D14)، بیست و یکم (D21) و بیست و هشتم (D28) روی نمونه‌های تیمار شده انجام شد.

۲-۱- اندازه‌گیری میزان تنفس[3]

میزان تنفس گوجه‌فرنگی با دستگاه تنفس‌سنج (مدل تستو[4]، ساخت آلمان) اندازه‌گیری شد. برای انجام این آزمون، وزن مشخصی از میوه گوجه‌فرنگی در داخل یک محفظه پلاستیکی غیرقابل نفوذ به هوا قرار گرفت. سپس سنسور CO_2 که مجهز به یک کارت حافظه بود، درون محفظه قرار داده شد تا مقادیر غلظت CO_2 را اندازه‌گیری کند. میزان تنفس براساس شیب رگرسیون غلظت CO_2 در برابر زمان محاسبه گردید و بر حسب میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت ($mLCO_2/Kg.h$) گزارش شد [۱۱].

۲-۲- اندازه‌گیری درصد کاهش وزن نمونه[5]

برای انجام آزمون درصد کاهش وزن نمونه‌ها، وزن تمامی بسته‌ها در روز شروع آزمایش و در پایان دوره‌های انبارمانی مورد نظر، توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و ثبت شد. آن‌گاه درصد کاهش وزن از رابطهٔ (۱) محاسبه گردید [۱۲].

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

1. HENKELMAN
2. Boxer 4Z
3. Rate of Respiration
4. Testo
5. Weight Loss

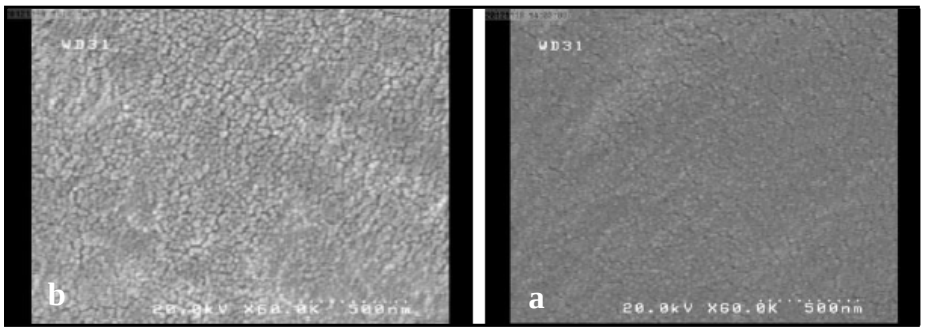


Fig 1 Image of Electron microscopic of (a): Polyethylene polymer and (b): Silicone nano-polymer

Table 1 Treatments of research

Row	Treatment	Explanation
1	T1=Nano-4%O_2-8%CO_2	Silicone nano-polymer with 1st GasMix (4%O_2+ 8%CO_2+88% N_2)
2	T2=Nano -5%O_2-3%CO_2	Silicone nano-polymer with 2nd GasMix (5%O_2+3%CO_2+92%N_2)
3	T3=Nano-HOA	Silicone nano-polymer with 3rd GasMix (80%O_2+20%N_2)
4	T4=Nano-PMAP	Silicone nano-polymer with 4th GasMix (PMAP)
5	T5=LDPE-4%O_2-8%CO_2	Polyethylene polymer with 1st GasMix (4%O_2+ 8%CO_2+88% N_2)
6	T6=LDPE-5%O_2-3%CO_2	Polyethylene polymer with 2nd GasMix (5%O_2+3%CO_2+92%N_2)
7	T7=LDPE-HOA	Polyethylene polymer with 3rd GasMix (80%O_2+20%N_2)
8	T8=LDPE-PMAP	Polyethylene polymer with 4th GasMix (PMAP)
9	T9=PET	Observation: Perforated Polyethylene Terphethalate

۲-۳- اندازه‌گیری کل مواد جامد محلول[1] (TSS)

اندازه‌گیری میزان کل مواد جامد محلول، با دستگاه رفراکتومتر دستی (مدل آتاگو[2] ، ساخت ژاپن)، انجام گرفت. در این آزمون، ابتدا دستگاه با استفاده از آب مقطر کالیبره شد (روی عدد صفر تنظیم شد). سپس چند قطره از آب گوجه‌فرنگی با دمای ۲۰ درجه سلسیوس روی منشور رفرکتومتر قرار داده شد آنگاه با تنظیم پیچ مربوطه و ایجاد دو بخش روشن و تاریک در صفحه مدرج دستگاه، عدد متناظر با خط جدا کننده این دو بخش خوانده و میزان مواد جامد محلول در آن برحسب بریکس[3] اندازه‌گیری و گزارش گردید [۱۳].

۲-٤- اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری مقدار pH گوجه‌فرنگی از دستگاه pH متر (مدل متراهم[4] - ٦٩١ ، ساخت سوئیس) در دمای ۲۰ درجه سلسیوس استفاده شد. در این آزمون، ابتدا pH متر با محلول-های بافر ٤ و ۷ کالیبره گردید سپس الکترود دستگاه درون عصاره میوه که در بشر ریخته شده بود، قرار داده شد و پس از رسیدن به مقدار ثابت، pH نمایش داده شده روی نمایشگر دستگاه قرائت و گزارش شد [١٤].

۲-۵- اندازه گیری اسید قابل تیتر[5] (TA)

اسید قابل تیتراسیون گوجه‌فرنگی، با تیتر کردن آن با سود ۰/۱ نرمال و بر حسب درصد اسید سیتریک طبق رابطهٔ (۲) محاسبه گردید. در این آزمون، ابتدا ۲۵ میلی‌لیتر آب میوه صاف شده، با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و سپس در

1. Total Soluble Solid (TSS)
2. Atago
3. Brix
4. Metrohm
5. Titrable Acidity (TA)

حضور معرف فنل فتالئین، با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به رنگ صورتی کم‌رنگ پایدار (به مدت ۳۰ ثانیه) تیتر گردید. قابل توجه این‌که هر میلی لیتر سود ۰/۱ نرمال معادل ۰/۰۰٦۷ گرم اسید سیتریک در نظر گرفته شد [۱۵].

درصد اسیدیته = ۱۰۰×۰/۰۰٦٤ × v/۵×۱۰۰

V: حجم سود مصرفی (میلی‌لیتر)

۲-٦- شمارش کلی میکرو ارگانیسم‌ها در دمای ۳۰ درجه سلسیوس[1] (TVC)

به منظور بررسی میزان کل آلودگی میکروبی محصول، آزمون شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در دمای ۳۰ درجه سلسیوس انجام شد. برای انجام این آزمون، ابتدا رقت مناسب از نمونه تهیه و سپس تلقیح در محیط کشت پلیت کانت آگار[2] (PCA) به روش کشت آمیخته در پلیت انجام شد. پلیت‌ها به مدت ۳ روز در دمای ۳۰ درجه سلسیوس گرمخانه گذاری شدند و پس از آن تمام کلنی‌های موجود در پلیت، شمارش و برحسب (cfu/g) گزارش شدند [۱٦].

۲-۷- شمارش کپک و مخمر[3] (YMC)

برای انجام این آزمون، ابتدا رقت مناسب از نمونه تهیه و سپس تلقیح در محیط کشت دی‌کلران رز بنگال کلرتتراسایکلین آگار[4] (DRBC) به روش کشت آمیخته در پلیت انجام شد. پلیت‌ها به مدت ۵ روز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس گرمخانه‌گذاری شدند. پس از آن، تمام کلنی‌های موجود در پلیت شمارش و برحسب (cfu/g) گزارش گردیدند [۱۷].

۲-۸- تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از تحقیق، از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (با ۲ عامل شامل زمان (٤ سطح) و فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی (۹ سطح)) و در سه تکرار استفاده شد. همچنین مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال یک درصد، توسط نرم افزار SPSS Ver.19 انجام پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از تأثیر نوع فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی و زمان نگهداری و اثرات متقابل آنها نشان داده شده است. با توجه به نتایج، تأثیر زمان نگهداری، فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی و همچنین اثر متقابل زمان در نوع فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی بر شاخص‌های تنفس، درصد کاهش وزن، مواد جامد محلول، pH، اسیدیته قابل تیتر، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و تعداد کپک و مخمر معنی‌دار بودند. از سوی دیگر نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل زمان نگهداری و فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی بر شاخص‌های اندازه‌گیری شده در بالا نیز، در جدول ۳ ارائه شده است.

۳-۱- تنفس

در شکل ۲(a) تأثیر زمان بر میزان تنفس نمونه‌های گوجه-فرنگی نشان داده شده است. با توجه به شکل، در روز چهاردهم، میزان تنفس به حداکثر مقدار خود (۷۸/۰٤) رسید و بعد از آن تا انتهای دوره کاهش یافت به گونه‌ای که کمترین مقدار آن در روز هفتم برابر با ٥٤/٤٤ میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت بود. در شکل ۲(b) تأثیر فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی بر میزان تنفس نمونه‌های گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. باتوجه به شکل مذکور، بیشترین افزایش مقدار تنفس در تیمار شاهد (PET) و کمترین مقدار این شاخص در تیمار فیلم نانویی و ترکیب گازی ($٤\%O_2+\Lambda\%CO_2+\Lambda\Lambda\%N_2$) به ترتیب برابر با ۷٦/٦۳ و ۵۷/۱۲ میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت محاسبه شد($P\leq ۰/۰۱$). همچنین با توجه به جدول ۳، بیشترین افزایش در میزان تنفس در تیمار شاهد (PET) برابر با ۸۹/۵۱ (میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت) و در روز چهاردهم (۱۸/۷ درصد افزایش نسبت به روز صفر) اما کمترین کاهش در میزان تنفس در تیمار فیلم نانویی با ترکیب گازی ($۸۰\%O_2+۲۰\%N_2$) با مقدار ٤۸/٤۱ (میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت) و در روز هفتم (۳۵/۸ درصد کاهش نسبت به روز صفر) مشاهده شد($P\leq ۰/۰۱$). قابل توجه این‌که میزان تنفس در روز صفر ۷۵/٤۳ (میلی‌لیتر دی‌اکسیدکربن بر کیلوگرم ساعت) بود.

1.Total Variable Count (TVC)
2. Plate Count Agar (PCA)
3 .Yeast and Mould Count (YMC)
4. Dichloran Rose Bengal Chlortetracycline (DRBC) Agar

Table 2 ANOVA indicating the effect of modified-atmosphere packaging using polyethylene and silicone nano-polymer films and storage life on different properties of tomato

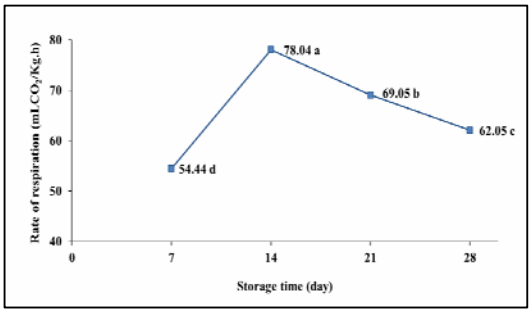
Source	df	Mean Square						
		Rate of respiration ($mLCO_2/Kg.h$)	Weight loss (%)	pH	TSS (Brix)	Titratable acidity (%)	TVC (cfu/g)	YMC (cfu/g)
Time	3	2730.239**	82.141**	0.832**	1.616**	0.105**	80119776.543**	547.565**
(Film+GasMix)	8	510.514**	40.813**	0.0116*	0.326**	0.00636**	39565352.315**	547.938**
Time×(Film+GasMix)	24	58.619**	4.466**	0.00499*	0.0602**	0.00235**	4509075.154**	42.947**
Error	48	0.287	0.012	0.002	0.004	0.0001	230.594	0.457

** singnificant at 1% (P<1%) , * significant at 5% (P<5%)

Table 3 Mean effect of storage life and MAP using polyethylene and silicone nano-polymer films on changes in quality of tomato. Values with different letters on each column differ significantly (P<1%)

Effected mean of Day*Treatment	N	Index						
		Rate of respiration	Weight loss (%)	pH	TSS (Brix)	Titratable acidity (%)	TVC (cfu/g)	YMC (cfu/g)
D7*T1	3	51.73 u	0.22 tu	4.25 opq	6.57 s	.730 b	800 z	0 n
D7*T2	3	53.34 t	0.33 t	4.26 opq	7.07 qr	.674 d	840 z	0 n
D7*T3	3	48.41 v	0.29 tu	4.19 q	7.27 op	.751 a	997 x	0 n
D7*T4	3	54.81 r	0.98 r	4.26 opq	7.17 pq	.649 ef	1153 w	0 n
D7*T5	3	52.84 t	0.12 u	4.34 mn	6.97 r	.738 ab	880 y	0 n
D7*T6	3	59.93 n	0.34 t	4.28 nop	7.13 q	.730 b	900 y	0 n
D7*T7	3	54.95 qr	0.60 s	4.21 pq	7.33 no	.734 b	1260 v	2 l
D7*T8	3	56.18 p	0.38 t	4.31 no	7.47 jklm	.649 ef	1970 q	2 l
D7*T9	3	57.80 o	2.04 o	4.26 opq	7.43 klmn	.695 c	2897 n	10 e
D14*T1	3	67.64 kl	1.14 qr	4.45 kl	7.13 q	.657 e	897 y	0 n
D14*T2	3	76.12 f	2.11 mno	4.40 lm	7.13 q	.644 efg	1127 w	0 n
D14*T3	3	74.38 g	2.26 lmn	4.53 hij	7.50 ijkl	.602 hi	1200 w	0 n
D14*T4	3	85.46 c	3.12 ij	4.55 ghij	7.43 klmn	.636 fg	1597 s	6 i
D14*T5	3	67.38 l	2.22 lmno	4.52 ijk	7.13 q	.606 h	1203 w	0
D14*T6	3	77.86 e	2.05 no	4.48 jk	7.43 klmn	.593 hijk	1347 u	2 l
D14*T7	3	75.44 f	3.27 i	4.55 ghij	7.37 mno	.598 hij	1800 r	8 g
D14*T8	3	88.56 b	2.43 l	4.56 fghij	7.57 ghij	.593 hijk	3207 l	8 g
D14*T9	3	89.51 a	6.13 d	4.60 efghi	7.80 bc	.585 jkl	4100 e	14 d
D21*T1	3	55.32 pqr	1.21 q	4.54 hij	7.47 jklm	.653 e	1443 t	1 m
D21*T2	3	55.95 p	1.47 p	4.60 cdefghi	7.40 lmn	.631 g	1600 s	1 m
D21*T3	3	68.74 j	2.94 j	4.60 defghi	7.53 hijk	.585 jkl	3597 g	8 g
D21*T4	3	78.41 e	3.64 gh	4.65 bcde	7.77 bcd	.589 ijk	3973 f	9 f
D21*T5	3	66.25 m	2.64 k	4.60 defghi	7.53 hijk	.572 lm	2157 p	3 k
D21*T6	3	69.80 i	3.56 h	4.61 cdefgh	7.73 bcde	.572 lm	2200 p	5 j
D21*T7	3	71.52 h	2.72 k	4.61 cdefgh	7.60 fghi	.593 hijk	3843 g	10 e
D21*T8	3	73.73 g	5.55 e	4.62 cdefg	7.57 ghij	.585 jkl	4800 d	10 e
D21*T9	3	81.69 d	9.60 b	4.62 cdefg	7.83 ab	.580 kl	8997 b	29 b
D28*T1	3	53.80 s	2.26 lmn	4.58 efghi	7.77 bcd	.649 ef	2800 o	2 l
D28*T2	3	55.87 pq	2.28 lm	4.63 bcdef	7.43 klmn	.554 no	2997 m	3 k
D28*T3	3	55.69 pqr	3.51 h	4.65 bcde	7.63 efgh	.546 no	3300 k	9 f
D28*T4	3	68.47 jk	3.83 g	4.68 bc	7.83 ab	.546 no	4800 d	10 e
D28*T5	3	58.07 o	3.26 i	4.63 bcdef	7.67 defg	.542 o	3697 i	6 i
D28*T6	3	57.61 o	4.84 f	4.74 a	7.77 bcd	.559 mn	3797 h	7 h
D28*T7	3	60.13 n	3.48 f	4.66 bcd	7.70 cdef	.555 no	3997 f	14 d
D28*T8	3	71.24 h	6.64 c	4.64 bcde	7.63 efgh	.572 lm	7197 c	16 c
D28*T9	3	77.53 e	11.93 a	4.70 ab	7.93 a	.508 p	13000 a	38 a

D7, D14, D21, D28 are storage life respectively and T1 to T9 are type of packaging films + different gas mixture respectively.



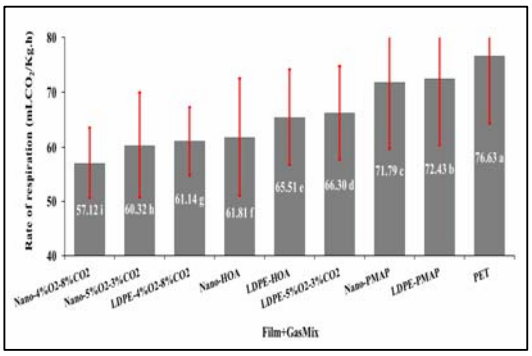


Fig 2 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on respiration rates of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

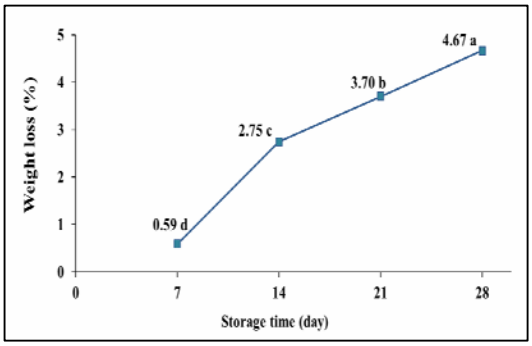
تنفس فرآیندی متابولیکی است که پس از برداشت میوه نیز ادامه دارد. در واقع، تنفس عمل اکسیداسیونی است که موجب شکسته شدن مواد پیچیده یعنی ترکیبات نشاسته، قندها و اسیدهای آلی به مولکول‌های ساده‌تر مانند دی‌اکسید کربن، آب، انرژی و غیره می‌شود. میزان تنفس هر میوه شاخص بسیار خوبی از فعالیت‌های متابولیکی بافت‌ها و در نتیجه شاخص مناسبی برای تعیین قدرت انبارمانی آن است. از فاکتروهای تعیین کننده میزان تنفس یک محصول می‌توان به واریته، درجه رسیدگی، دمای نگهداری و ترکیب گازی اطراف محصول اشاره کرد. میزان تنفس از فاکتورهای مهم و تعیین کننده برای محصول گوجه‌فرنگی است زیرا سایر پارامترهای کیفی آن از جمله کاهش وزن، رنگ، بافت و تولید اتیلن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از طرفی گوجه فرنگی یک میوه فرازگراست، میوه‌های فرازگرا همزمان با رسیدن، یک افزایش در میزان تنفس از خود نشان می‌دهند [۱۸]. نتایج تحقیق حاضر نیز نشان داد که فیلم نانوپلیمری به دلیل ویژگی‌های مکانیکی و خصوصیات نفوذپذیری اصلاح شده نسبت به گازها و بخار آب در مقایسه با پوشش پلیمری و ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) به دلیل غلظت بیشتر دی‌اکسیدکربن، با کند کردن کلیه فرآیندهای متابولیکی میوه، بر کاهش و کنترل تنفس تأثیر مثبتی داشته است. معادله رگرسیونی (۳) تغییرات میزان تنفس نمونه-های گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

$y = 0.0019x^4 - 0.119x^3 + 2.288x^2 - 13.85x + 75.434;$
$R^2 = 0.65$

در پژوهشی دیگر تأثیر بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته به همراه اشعه فرابنفش بر ویژگی‌های مختلف گوجه‌فرنگی مطالعه شد. با توجه به نتایج، نمونه‌های تیمار شده با اشعه یو وی به تنهایی و همچنین کاربرد همزمان اشعه فرابنفش و اتمسفر تغییر یافته عملکرد بهتری نسبت به تیمارهای شاهد در کاهش میزان تنفس داشتند[۷]. میزان تنفس دانه‌های انار بسته‌بندی شده به روش اتمسفر تغییر یافته با اکسیژن بالا (٪۸۰O2+٪۲۰N2) در مقایسه با روش بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته غیر فعال (PMAP) مطالعه شد. نتایج این مطالعه نشان داد که اتمسفر تغییر یافته با اکسیژن بالا باعث افزایش میزان تنفس محصول نسبت به اتمسفر تغییر یافته غیر فعال می‌گردد [۱۹].

۳-۲- درصد کاهش وزن

مطابق شکل ۳(a)، مقدار وزن میوه گوجه‌فرنگی در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (P≤۰/۰۱). بیشترین کاهش وزن در روز بیست و هشتم به میزان ٤/٦٧ درصد و کمترین کاهش در روز هفتم و به میزان ۰/۵۹ درصد مشاهده شد. از سوی دیگر با توجه به شکل ۳(b)، در بین تیمارهای مختلف، بیشترین کاهش وزن در تیمار شاهد (۷/٤۳) و کمترین آن در تیمار مربوط به فیلم نانویی با ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) برابر با ۱/۲۱ درصد مشاهده شد (P≤۰/۰۱). همچنین با توجه به جدول ۳، در روز بیست و هشتم کاهش وزن میوه در تیمارهای فیلم نانویی با ترکیبات گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) و (٪۵O2+٪۳CO2+٪۸۲N2) حدود ۵ برابر کمتر از تیمار شاهد (PET) بود. بیشترین مقدار کاهش وزن میوه در روز بیست و هشتم در تیمار شاهد به مقدار ۱۱/۹۳ درصد و کمترین مقدار کاهش در روز هفتم و در تیمار فیلم پلی‌اتیلین با ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) به مقدار ۰/۱۲ درصد مشاهده شد.



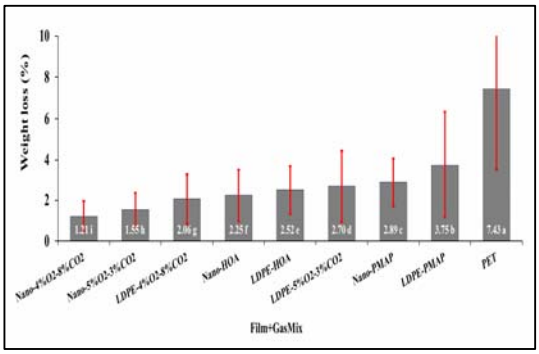


Fig 3 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on weight loss of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

میزان آب در میوه گوجه‌فرنگی در هنگام برداشت ۹۴ الی ۹۵ درصد است. اما بعد از برداشت مقدار آب آن به تدریج کاهش می‌یابد. مکانیسم اولیه اتلاف رطوبت از میوه‌های تازه از طریق انتشار بخار به سبب شیب فشار بخار آب بین داخل و خارج میوه صورت می‌گیرد. دما و رطوبت نسبی محیط نیز ویژگی-های مهمی هستند زیرا نیروهای لازم را برای اتلاف رطوبت به صورت اختلاف فشار بخار آب بین میوه و اتمسفر ایجاد می-کنند. تنفس میوه نیز سبب اتلاف وزن می‌شود زیرا قندها را تجزیه می‌کند. تغییر ترکیب گازی با تغییر میزان تنفس بر میزان افت وزن نمونه‌ها تأثیر می‌گذارد [۲۰]. از سوی دیگر فیلم‌های بسته‌بندی با افزایش رطوبت نسبی محیط اطراف محصول و همچنین کاهش سرعت جریان هوا در سطح محصول و تشکیل یک لایه ساکن در اطراف آن سبب کاهش اختلاف فشار بخار موجود بین محیط اطراف آن و بافت محصول و به دنبال آن کاهش تبخیر و از دست رفتن آب و کاهش وزن می‌شوند [۲۱]. در تحقیق حاضر ترکیب گازی ($٪۴O_2+٪۸CO_2+٪۸۸N_2$) در کنار فیلم نانوپلیمر سیلیکونی سبب کنترل مطلوب روند کاهش وزن میوه گوجه فرنگی طی دورهٔ نگهداری آن گردید. دلیل آن می‌تواند کارایی بیشتر این تیمار در کند کردن سرعت تنفس و تعرق در میوه بسته‌بندی شده باشد. قابل توجه این‌که فیلم نانویی مذکور به دلیل ایجاد و حفظ اتمسفری با دی‌اکسید کربن بالاتر و رطوبت نسبی بیشتر، نقشی مؤثر در کنترل روند کاهش وزن میوه طی دورهٔ نگهداری داشت. قابل توجه این‌که فیلم نانوپلیمری در مقایسه با فیلم پلیمری به دلیل بهبود ویژگی‌های نفوذناپذیری آن در برابر گازهای تنفسی و بخار آب و همچنین بهبود ویژگی‌های فیزیکی آن از جمله استحکام مکانیکی، در ایجاد و حفظ اتمسفری با دی‌اکسیدکربن بالاتر و رطوبت نسبی بیشتر، موفق-تر عمل نمود لذا نقش مؤثری در کنترل روند کاهش وزن میوه طی دورهٔ نگهداری داشت. معادله رگرسیونی (٤) تغییرات وزن نمونه‌های گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

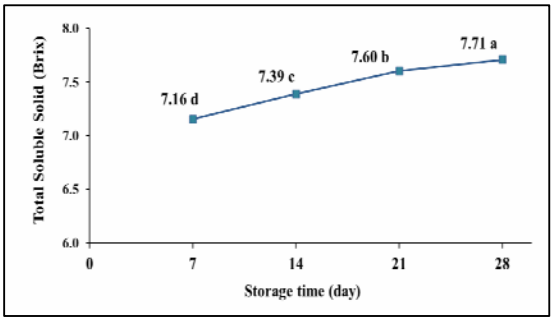
$$y=-0.0004x^3+0.015x^2+0.037x-0.056;\ R^2=0.50$$

نتایج تحقیقات دیگر نشان داده است که بسته‌بندی به روش اتمسفر تغییر یافته با ترکیب گازی ($٪۴O_2+٪۸CO_2$) و در فیلم پلی‌پروپیلن، سبب کاهش افت وزن گوجه‌فرنگی طی دوره نگهداری می‌گردد [۹]. همچنین نتایج بسته‌بندی میوه تازه بریده شده شلیل در ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا نشان از کاهش وزن کمتر میوه در مقایسه با نمونه شاهد داشت [۱۰].

۳-۳- مواد جامد محلول (TSS)

با توجه به شکل (a)٤، مقدار مواد جامد محلول نمونه‌های گوجه‌فرنگی طی دورهٔ نگهداری به طور معنی‌داری افزایش یافت ($P\leq$۰/۰۱). بیشترین مقدار مواد جامد محلول با مقدار ۷/۷۱ (Brix) در روز بیست و هشتم و کمترین آن در روز هفتم با مقدار ۷/۱۶ (Brix) مشاهده شد. همچنین بین تیمارهای مختلف فیلم و ترکیبات مختلف گازی از نظر تأثیر بر مقدار مواد جامد محلول اختلاف معنی‌دار مشاهده گردید ($P\leq$۰/۰۱)؛ به گونه‌ای که بیشترین مقدار مواد جامد محلول با مقدار ۷/۷۵ (Brix) در تیمار شاهد (PET) و کمترین مقدار آن ۷/۲۳ (Brix)) در فیلم نانویی با ترکیب گازی ($٪۴O_2+٪۸CO_2+٪۸۸N_2$) به دست آمد (شکل (b)٤).

همچنین طبق نتایج حاصل از جدول ۳، بیشترین میزان مواد جامد محلول، در روز بیست و هشتم، در تیمار شاهد به مقدار ۷/۹۳ (Brix) و کمترین مقدار آن در روز هفتم، در تیمار فیلم نانونی با ترکیب گازی ($٤\%O_2+٨\%CO_2+٨٨\%N_2$) و به مقدار ٦/٥٧ (Brix) مشاهده شد که در مقایسه با روز صفر (٦/٩٣ (Brix)) مقدار مواد جامد محلول در روزها و تیمارهای فوق به ترتیب ١٤/٥ درصد افزایش و ٥/٢ درصد کاهش نشان داد.



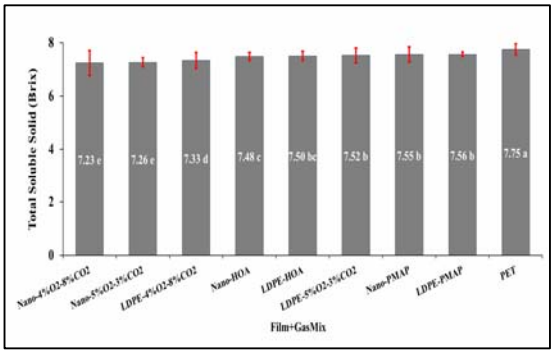


Fig 4 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on TSS of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

قسمت اعظم مواد جامد محلول در میوه شامل قندها و درصد کمی نیز شامل اسیدهای آمینه، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها و مواد معدنی است. رسیدن میوه و افت رطوبت در میوه گوجه‌فرنگی معمولاً باعث افزایش مقدار مواد جامد محلول در آن می‌شود [۱۱]. افزایش مواد جامد محلول موجود در گوجه‌فرنگی طی مدت زمان نگهداری را می‌توان به تبدیل درشت مولکول‌هایی مانند نشاسته به ریز مولکول‌هایی مانند گلوکز، مالتوز و دکسترین‌ها و کاهش رطوبت محصول نسبت داد. در این تحقیق، استفاده از ترکیب گازی با دی‌اکسیدکربن بالاتر و فیلم نانوپلیمر سیلیکونی مؤثرترین تیمار در کنترل روند افزایش مواد جامد محلول میوه گوجه‌فرنگی طی دوره نگهداری بودند. به‌نظر می‌رسد علت آن کند شدن سرعت تنفس و به تبع آن کاهش تغییرات فیزیولوژیکی در میوه بسته‌بندی شده به وسیله این تیمار باشد. همچنین افزایش شدید مواد جامد محلول در نمونه شاهد را نیز می‌توان به شکستن پلی ساکاریدهای دیواره سلولی و تبدیل آنها به قندهای محلول نسبت داد. معادلهٔ رگرسیونی (٥) تغییرات مواد جامد محلول (TSS) نمونه‌های گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

$$y=-3E\text{-}05x^3+0.001x^2+0.027x+6.930 \quad ; R^2=0.73$$

مطابق تحقیقات انجام شده، فیلم‌های بسته‌بندی پلیمری به همراه ترکیبات گازی از آنجاکه سوخت و ساز و تبدیل نشاسته به قند را در محصول گوجه‌فرنگی کند می‌کنند، باعث حفظ مواد جامد محلول و جلوگیری از افزایش آن طی دورهٔ نگهداری می‌شوند [٥، ٦ و ٢٢]. طی پژوهشی دیگر میزان مواد جامد محلول میوه گیلاس طی زمان نگهداری افزایش یافت ولی میزان این افزایش در نمونه شاهد (ظروف پلی‌اتیلن) بسیار شدیدتر از نمونه‌ها نگهداری شده در ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا بود [۲۳].

۳-٤- اسیدیته قابل تیتر (TA)

در شکل ٥(a) تأثیر زمان نگهداری بر درصد اسیدیته قابل تیتر نمونه‌های گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. با توجه به شکل فوق، درصد اسیدیته قابل تیتر در تمامی نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش یافت به گونه‌ای بیشترین میانگین اسیدیته قابل تیتر به مقدار ۰/۷۰۵ درصد در روز هفتم و کمترین میانگین آن به مقدار ۰/۵۵۹ درصد در روز بیست و هشتم مشاهده شد ($P\leq$۰/۰۱). همچنین نتایج مقایسه میانگین تأثیر تیمار فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی (شکل ٥(b))، نشان داد که بین فیلم‌های مختلف به همراه ترکیبات مختلف گازی از نظر تأثیر بر اسیدیته قابل تیتر اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($P\leq$۰/۰۱). به گونه‌ای که بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر در فیلم نانویی با ترکیب گازی ($٤\%O_2+٨\%CO_2+٨٨\%N_2$) با مقدار ۰/٦٧٢ درصد و کمترین آن در تیمار شاهد (PET) و با مقدار ۰/٥٩٢ درصد مشاهده شد. طبق نتایج حاصل از جدول ۳، بیشترین مقدار اسیدیته قابل تیتر، در تیمار فیلم نانو با ترکیب گازی

اکسیژن بالا (٪۸۰O_2+٪۲۰N_2) به مقدار ۰/۷۵۱ درصد و در روز هفتم (۲/۲ درصد افزایش نسبت به روز صفر) اما کمترین مقدار آن در روز بیست و هشتم، در تیمار شاهد و به مقدار ۰/۵۰۸ درصد (۳۰/۸ درصد کاهش نسبت به روز صفر) مشاهده شد. مقدار اسیدیته قابل تیتر در روز صفر برابر با ۰/۷۳٤ درصد بود.

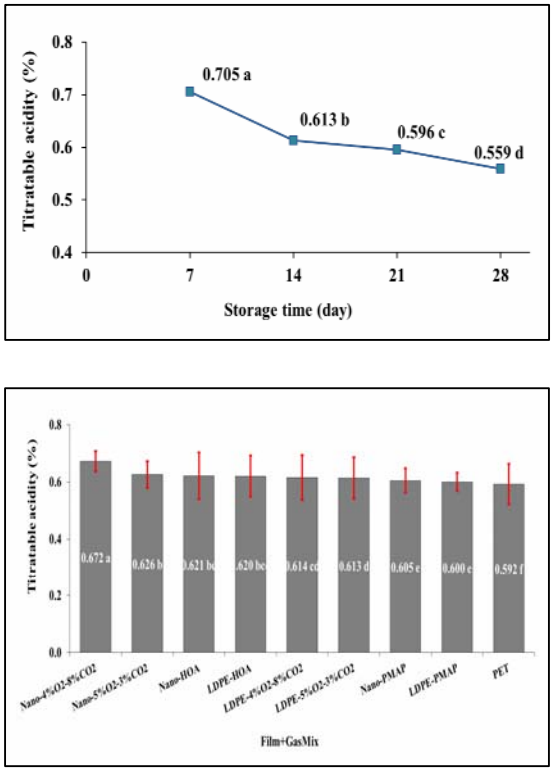


Fig 5 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on Titratable Acidity (%) of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

اسیدهای آلی گوجه‌فرنگی عمدتاً اسید سیتریک و اسید مالیک هستند. به طورکلی اسیدهای آلی ۱۰ درصد ماده خشک گوجه‌فرنگی را تشکیل می‌دهند. اسیدهای آلی را می‌توان به عنوان منبع اندوختهٔ انرژی میوه به شمار آورد. بنابراین می‌توان انتظار داشت طی مراحل رسیدگی میوه، افزایش فعالیت‌های سوخت و سازسلول‌ها، باعث کاهش اسیدیته سلولی شود [۲٤]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد، استفاده از ترکیب گازی با دی‌اکسیدکربن بالاتر در کنار فیلم نانوپلیمر سیلیکونی، مؤثرترین تیمار در کنترل روند کاهشی اسیدیته قابل تیتر میوه گوجه‌فرنگی طی دوره نگهداری می‌باشند. معمولاً اسیدهای آلی به هنگام رسیدن در اثر تنفس و یا تبدیل به قندها کاهش می‌یابند و این کاهش رابطه مستقیم با فعالیت‌های متابولیسمی محصول دارد و از طرفی از آنجا که تغییرات میزان اسیدیته قابل تیتراسیون طی مدت زمان نگهداری دربسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته به تأثیر نوع ترکیب گازی بر سرعت تنفس محصول مربوط است. علت موفقیت این تیمار را می‌توان به کنترل مؤثر سرعت تنفس و کند نمودن فرآیندهای متابولیکی که منجر به مصرف یا تغییر در محتوی اسیدهای آلی گوجه-فرنگی می‌شود نسبت داد. معادلهٔ رگرسیونی (٦) تغییرات اسیدیته قابل تیتر نمونه‌های گوجه‌فرنگی را تحت تاثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

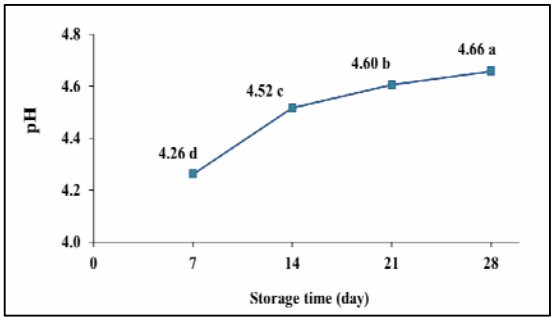
$$y=1E\text{-}05x^3-0.0004x^2-0.004x+0.737;\ R^2=0.82$$

در تحقیقی فیلم‌های نانو پلیمری نسبت به فیلم‌های پلیمر معمولی باعث حفظ مطلوب‌تر میزان اسیدهای آلی طی دورهٔ نگهداری میوه سیب تازه بریده شده رقم فوجی شدند [۲۵]. همچنین بسته‌بندی گوجه‌فرنگی با اتمسفر تغییر یافته (پوشش پلی پروپیلن و ترکیب گازی (٪٤O_2+٪۸CO_2+٪۸۸N_2) عملکرد مناسبی در جلوگیری از کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون داشت [۹]. از سوی دیگر میزان کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون میوه شلیل طی زمان نگهداری در ظروف حاوی نانو ذرات نقره و سیلیکا نسبت به نمونه شاهد (ظروف پلی‌پروپیلن) کمتر بود [۱۰].

pH -۵-۳

با توجه به شکل ٦(a)، مقدار pH نمونه‌ها طی دورهٔ نگهداری به طور معنی‌داری افزایش نشان داد (P≤۰/۰۱). با توجه به شکل فوق؛ بیشترین مقدار pH در روز بیست و هشتم، به مقدار ٤/٦٦ و کمترین آن در روز هفتم و به مقدار ٤/۲٦ مشاهده شد. همچنین مطابق با شکل ٦(b) بین تیمارهای مختلف از نظر تأثیر بر مقدار pH اختلاف معنی‌دار مشاهده شد(P≤۰/۰۵). به گونه‌ای که بیشترین و کمترین مقدار pH به ترتیب در تیمارهای شاهد (PET)، به مقدار ٤/۵۵ و تیمار فیلم نانویی و ترکیب گازی (٪٤O_2+٪۸CO_2+٪۸۸N_2) و به مقدار ٤/٤۵ به دست آمد. با توجه به جدول ۳، با افزایش زمان نگهداری، تیمارهای مختلف (انواع فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی) بر مقدار pH تأثیر افزایشی و متفاوت داشتند. در بین تیمارها، روند افزایشی مربوط به تیمار فیلم نانویی با

ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) کمتر از سایر تیمارها بود و نسبت به تیمار شاهد (PET) اختلاف معنی‌داری داشت (P≤۰/۰۵). طبق نتایج، بیشترین مقدار pH در روز بیست و هشتم، در فیلم پلی اتیلن با ترکیب گازی (٪۵O2+٪۳CO2+٪۹۲N2)، به مقدار ٤/٧٤ و کمترین آن در فیلم نانویی با ترکیب گازی اکسیژن بالا (٪۲۰N2 + ٪۸۰O2) و به مقدار ٤/١٩ و در روز هفتم مشاهده شد. با توجه به نتایج، مقدار pH در روزها و تیمارهای فوق در مقایسه با روز صفر (٤/٠٨) به ترتیب ١٦/٣ درصد و ٢/٧ درصد افزایش نشان داد.



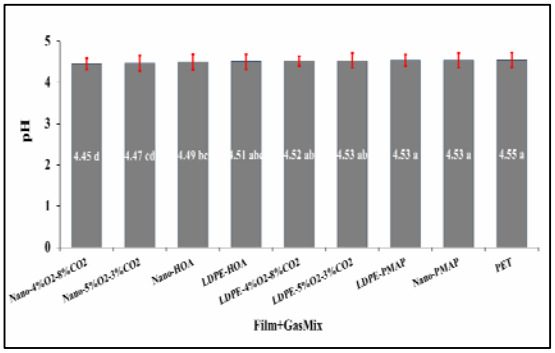


Fig 6 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on pH of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%) in fig 6(a) and (P<5%) in fig 6(b) respectively.
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

عوامل متعددی مانند نوع فرآورده، رقم، اسید کل، مرحله رسیدگی، منطقه کشت، عملیات انتقال و نگهداری و نمک بر مقدار pH گوجه‌فرنگی و فرآورده‌های آن تأثیر می‌گذارند. میزان pH محصول به تراکم یون هیدروژن موجود در محلول بستگی دارد. به طور کلی میزان pH در گوجه‌فرنگی طی مدت زمان نگهداری با رسیدن میوه افزایش می‌یابد [٢٤]. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، ترکیب گازی با دی اکسید کربن بالاتر و فیلم نانوپلیمر سیلیکونی تأثیر بهتری بر حفظ pH محصول داشت که دلیل آن کاهش تغییرات اسیدیته قابل تیتر، فعالیت سیتریک اسیدگلیکولاز و فرآیندهای متابولیسمی طی دوره نگهداری و تحت تأثیر تیمارهای مذکور می‌باشد. معادلهٔ رگرسیونی (٧) تغییرات pH نمونه‌های گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

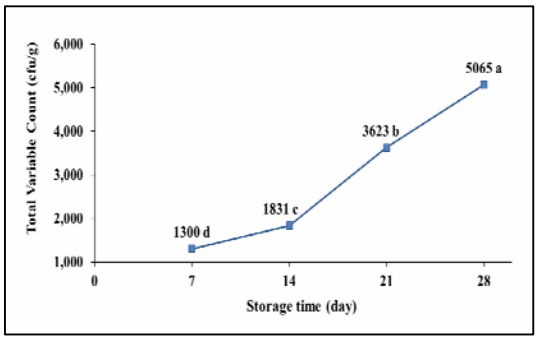
$$y = -3E\text{-}05x^3 + 0.001x^2 + 0.027x + 4.074;\ R^2 = 0.96$$

در پژوهشی بسته‌بندی گوجه‌فرنگی با اتمسفر تغییر یافته (پوشش پلی‌پروپیلن وترکیب گازی با دی اکسید کربن بالاتر) سبب کاهش تنفس و به تأخیر انداختن تغییرات کیفی از جمله pH گردید [٩]. همچنین، در تحقیقی در مورد بسته بندی گیلاس، میزان تغییرات pH میوه گیلاس طی دورهٔ نگهداری افزایش یافت اما میزان این افزایش در ظروف مختلف (ظروف پلی اتیلن، ظروف حاوی نانو ذرات نقره و ظروف حاوی نانو ذرات سیلیکا) معنی‌دار نبود [٢٣].

٣-٦- شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها

در شکل ٧(a) تأثیر زمان نگهداری بر شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها نمونه‌های گوجه‌فرنگی نشان داده شده است. با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها، شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها با افزایش زمان نگهداری روند افزایشی و معنی‌داری داشت (P≤۰/۰۱). بیشترین میانگین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها معادل ٥٠٦٥ (cfu/g) در روز بیست و هشتم و کمترین میانگین آن برابر ١٣٠٠ (cfu/g) در روز هفتم نگهداری حاصل شد. همچنین مطابق شکل ٧(b)، بیشترین و کمترین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در تیمارهای شاهد (PET) و فیلم نانویی با ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2)، به ترتیب ٧٢٤٨ و ١٤٨٥ (cfu/g) مشاهده شد (P≤۰/۰۱). به عبارتی تیمار فیلم نانویی به همراه ترکیب گازی (٪۴O2+٪۸CO2+٪۸۸N2) باعث کاهش شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در مقایسه با تیمار شاهد تا حدود ٨٠ درصد گردید. از سوی دیگر مطابق جدول ٣، اختلاف بین تیمارها (فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی) با تیمار شاهد (PET) در افزایش شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱). بیشترین شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها در تیمار شاهد (PET) در روز بیست و هشتم و برابر با ١٣٠٠٠ (cfu/g) و کمترین مقدار آن در روز

هفتم در تیمار فیلم نانویی با ترکیب گازی (٤٪O_2+٨٪CO_2+٨٨٪N_2) و معادل ٨٠٠ (cfu/g) مشاهده شد.



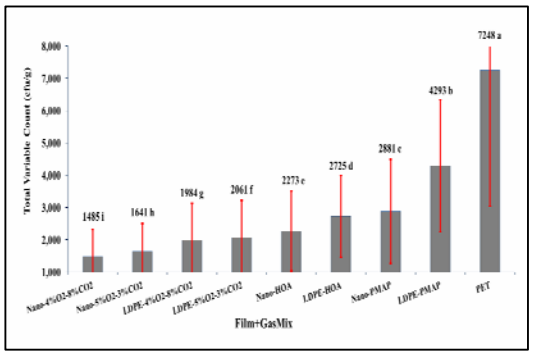


Fig 7 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on Total Value Count of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

مواد غذایی همواره در معرض حمله میکروارگانیسم‌ها هستند. وقتی میکروارگانیسم‌ها به مواد غذایی حمله می‌کنند، مواد شیمیایی (متابولیت‌هایی) تولید می‌نمایند که باعث ایجاد طعم نامطلوب و فساد ماده غذایی می‌شوند در نتیجه آن ماده غذایی برای مصرف کننده غیرقابل پذیرش و خطرناک خواهد بود. به‌طور کلی این‌که کدام میکروارگانیسم و به چه میزان در یک ماده غذایی رشد کند به عوامل متعددی هم‌چون دما، اسیدیته، فعالیت آبی و نوع مواد مغذی بستگی دارد. انواع میوه‌ها و سبزی‌ها دارای رطوبت و اسیدیته بالایی هستند. اغلب به علت از دست دادن آب دچار پلاسیدگی و پیری می‌شوند و بسیار مستعد رشد میکروارگانیسم‌ها و به خصوص کپک‌زدگی می‌باشند [٢٦]. با توجه به نتایج تحقیق حاضر، ترکیب گازی با دی اکسید کربن بالاتر و فیلم نانوپلیمر سیلیکونی تأثیر بهتری بر کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها داشت. علت آن‌را می‌توان به ایجاد اتمسفری با دی اکسید کربن بالاتر و محیط اسیدی ایجاد شده توسط این تیمار در اثر حل شدن گاز دی‌اکسیدکربن در محیط حاوی رطوبت اطراف محصول و اثر نانو ذرات فیلم نانو پلیمرسیلیکونی نسبت داد. یکی از خصوصیات مهم نانو مواد، نسبت سطح به حجم بالای آنها می‌باشد که بسیاری از خواص نانو مواد به علت همین ویژگی است. نسبت سطح به حجم بالا در مواد در مقیاس نانو باعث می‌شود که آنها بتوانند با میکروارگانیسم ها و مولکول های بیولوژیک بیشتری، تماس داشته باشند و خواص ضد باکتریایی مؤثری را نشان دهند [٢٧ و ٢٨]. معادلهٔ رگرسیونی (٨) تغییرات شمارش کلی میکروارگانیسم‌های نمونه‌های گوجه‌فرنگی را تحت تأثیر تیمارهای مختلف نشان می‌دهد.

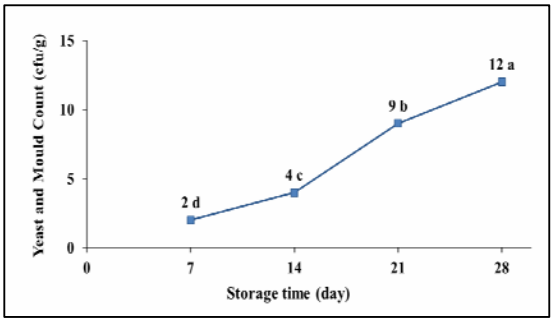
$$y = 595.4e^{0.074x} \; ; \quad R^2 = 0.73$$

بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته به دلیل کنترل گازهای تنفسی و اصلاح اتمسفر می‌تواند رشد میکروارگانیسم‌ها را تحت کنترل درآورد [٢٩]. از دی‌اکسیدکربن به علت اثرات ضدباکتریایی و ضدقارچی‌اش به عنوان گاز نگهدارنده موادغذایی استفاده می‌شود. استفاده از این گاز درفضای بسته‌بندی که حاوی مقداری رطوبت است، محیط را تا حدودی اسیدی کرده که باعث کاهش pH و تأثیر ضدباکتریایی می‌گردد [٣٠]. در پژوهشی دیگر، رشد میکروبی سالاد سبزیجات، تحت تأثیر اتمسفر تعدیل یافته با غلظت بالاتر دی‌اکسید کربن، کاهش و زمان ماندگاری افزایش یافت [٣١].

٣-٧- شمارش کپک و مخمر

نتایج مقایسه میانگین تأثیر زمان نگهداری بر شمارش کپک و مخمرها در شکل ٨(a) نشان داده شده است. با توجه به شکل فوق، بیشترین میانگین شمارش کپک و مخمرها در روز بیست و هشتم و برابر با ١٢ (cfu/g) و کمترین میانگین آن در روز هفتم نگهداری، با ٨٣ درصد کاهش و برابر با ٢ (cfu/g) مشاهده شد. درخصوص تأثیر نوع فیلم به همراه ترکیبات مختلف گازی (شکل ٨(b))، بیشترین و کمترین شمارش کپک و مخمرها به ترتیب در تیمارهای شاهد (PET) و فیلم نانویی با ترکیب گازی (٤٪O_2+ ٨٪CO_2+ ٨٨٪N_2) به ترتیب با مقادیر ٢٣ و ١ (cfu/g) مشاهده شد($P\leq$٠/٠١). طبق نتایج، تیمار فیلم نانویی با ترکیب گازی (٤٪O_2+٨٪CO_2+٨٨٪N_2)

نسبت به تیمار شاهد، ۹۷ درصد کاهش در شمارش کپک و مخمرها نشان داد. همچنین مطابق جدول ۳، بیشترین شمارش کپک و مخمرها در تیمار شاهد (PET)، در روز بیست و هشتم و برابر با ۳۸ (cfu/g) اما کمترین مقدار آن در روز هفتم و در تیمارهای فیلم نانویی با ترکیبات مختلف گازی و تیمار فیلم پلی‌اتیلن با دو ترکیب گازی فعال مورد نظر در مطالعه مشاهده شد.



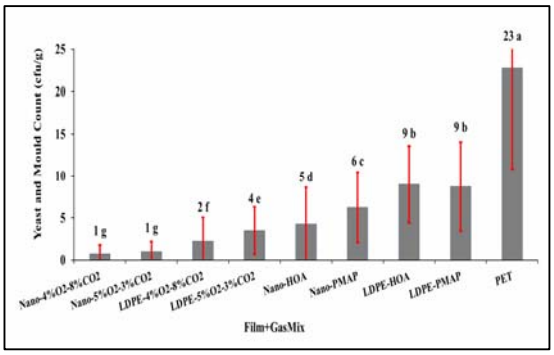


Fig 8 Mean effect of single factor (a) storage life (b) film+gas mixture on Yeast and Mould count of tomato. Values with different letters on each bar differ significantly (P<1%).
(Nano: Nano film: LDPE: Low density polyethylene; PET: Observation; PMAP: Passive MAP; HOA: High level oxygen)

فلور قارچی میوه گوجه‌فرنگی بسیار متنوع و پیچیده است و به عوامل متعددی بستگی دارد. لذا نمی‌توان یک قارچ شاخص را معرفی کرد [۳۲]. نتایج این پژوهش نشان داد، ترکیب گازی با دی اکسید کربن بالاتر و فیلم نانوپلیمر سیلیکونی تأثیر بهتری بر مهار رشد کپک و مخمر دارد. نتیجه حاصل را می‌توان به کنترل گازهای تنفسی و اصلاح مؤثر اتمسفر بسته با تیمار مذکور مرتبط دانست. زیرا وجود گاز دی‌اکسیدکربن در اتمسفر بسته‌بندی می‌تواند موجب اختلال در رشد میکروارگانیسم‌ها و کاهش رشد کپک و مخمر شود. نتایج محققان نشان داده است که بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته با اکسیژن پایین و با دی‌اکسید کربن بالا برای کنترل پوسیدگی قارچی و حفظ کیفیت در دوره پس از برداشت میوه‌ها تأثیرگذار است [۳۳]. همچنین در پژوهشی دیگر نتایج نشان داده است که کاربرد فیلم پلی‌اتیلنی با چگالی‌کم (LPDE) حاوی نانو ذرات نقره، تعداد باکتری‌های انتخابی و کپک مخمر را کاهش می‌دهد [۳۴].

٤- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تأثیر کاربرد بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته با دو نوع فیلم پلی‌اتیلن و نانوپلیمرسیلیکونی و سه نوع ترکیب مختلف گازی ($\%٨٨N_2$+$\%٨CO_2$+$\%٤O_2$)، ($\%٩٢N_2$+$\%٣CO_2$ +$\%٥O_2$)، ($\%٢٠N_2$+$\%٨٠O_2$) و اتمسفر تغییر یافته غیرفعال، در دمای ۵ درجه سلسیوس، بر برخی از شاخص‌های فیزیکوشیمیایی گوجه‌فرنگی بررسی شد. نتایج نشان داد که فیلم نانوپلیمرسیلیکونی به همراه ترکیب گازی ($\%٨٨N_2$+$\%٨CO_2$+$\%٤O_2$) به دلیل ایجاد و حفظ اتمسفر مطلوب برای گوجه‌فرنگی، باعث کند نمودن فرآیندهای متابولیکی از جمله تنفس گردید. در نتیجه در کاهش روند تغییرات وزن، مواد جامد محلول، pH و اسیدیته قابل تیتر نسبت به سایر تیمارها مؤثرتر بود. از طرفی، کمترین میزان آلودگی از نظر بار میکروبی کل و کپک و مخمر نیز در این تیمار مشاهده شد. وجود نانوذرات در فیلم‌های نانویی فعالیت سطحی آنها را به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم به شکل چشمگیری افزایش داده و همچنین با ازدیاد سایت‌های فعال سطحی در این مواد، سرعت واکنش آنها را با محیط اطراف بیشتر می‌کنند که نتیجه آن اصلاح و ارتقاء ویژگی‌های مکانیکی، خصوصیات نفوذناپذیری و خواص ضد میکروبی فیلم‌های نانوپلیمری نسبت به پلیمرهای معمولی است.

۵- سپاسگزاری

بدین وسیله نگارندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را از مسئولان و مدیریت محترم شرکت نانوبسپار آیتک جناب آقای مهندس بازرگان به پاس همراهی‌های بی دریغ و علمی ایشان و همچنین اعضاء محترم هیأت علمی، مسئولان و کارشناسان مجرب موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ابراز می‌دارند.

٦- منابع

[1] Esmaili, S. 2011. Effect of modified atmosphere packaging on quality of pink tomato after harvesting. The 2nd National of Food Security. Islamic Azad University of Savadkouh. [in Persian].

[2] Caleb, O. J., Opara, U. L. and Witthuhn, C. R. 2012. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: A Review. Journal of Food and Bioprocess Technology, 5: 15-30.

[3] Oorailul, B. and Stiles, M. E. 1990. Modified Atmosphere Packaging of Foods. Alberta University, Canada. Tajjedin, B. (Translated) 2001. Agricultural Research, Education and Extension Organization Publication, Tehran. Pp: 401. [in Persian].

[4] Ahmadi, B., Tajjedin, B. and Ahmadi Chenarbon, H. 2015. Review on applications of plastic films for modified atmosphere packaging of food. Journal of Packaging Science and Techniques, 3(23): 34-51. [in Persian].

[5] Batu, A. and Thompson, A. K. 1998. Effects of modified atmosphere packaging on postharvest qualities of Pink Tomatoes. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22(4): 365-372.

[6] Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M. and Mostofi, Y. 2012. Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. Association of Food Science and Technologists, 51(19): 2155-2161.

[7] Vunnam, R., Hussain, A., Nair, G., Bandla, R., Gariepy, Y., Donnelly, D. J., Kubow, S. and Raghavan, G. S. V. 2014. Physic-chemical changes in tomato with modified atmosphere storage and uv treatment. Journal of Food Science and Technology, 51(9): 2106-2112.

[8] Tohidian, M. and Asghari, M. R. 2013. Evaluating of nanosilica packaging on shelf-life and quality peroperties of peach (Alberta L.) M.Sc. Thesis. University of Uromeih. [in Persian].

[9] Tabatabaekolor, R., Ebrahimian, A. and Hashemi, S. J. 2016. Investigation on the effect of temperature, packaging material and modified atmosphere on the quality of tomato. Journal of Food Science and Technology, 51(13): 1-13. [in Persian].

[10] Asghari, M. R., Vaezi, S. and Farokhzad, A. 2014. Effect of nano-Ag packaging on quality and storage life of fresh-cut "Red Gold" nectarine. Journal of Food Research, 25(4): 41-50. [in Persian].

[11] Maftoonazad, N. and Ramaswamy, H. S. 2005. Postharvest shelf-life extension of avocado using methylcellulose-based coating. Journal of Food Science and Technology, 38, 617-624.

[12] Mostofi, Y. and Najafi, F. 2003. Laboratory Methods in Horticulture, First edition, Tehran. [in Persian].

[13] Anonymous. 2001a. Measuring Total Soluble Solid (TSS) the Refractive Index. ISIRI. 5507. [in Persian].

[14] Anonymous. 1997. Measuring pH in Fruits and Vegetable Product. ISIRI. 4404. [in Persian].

[15] Anonymous. 2001b. Measuring Titrable Acidity (TA) by Test Method. ISIRI. 373. [in Persian].

[16] Anonymous. 2008a. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs - Horizontal Method for Total Count of Microorganisms at 30 ° C. ISIRI. NO. 5272. [in Persian].

[17] Anonymous. 2008b. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs - Horizontal Method for the Enumeration of Yeasts and Moulds -Part 1: Colony count technique in products with water activity greater than 0.95. ISIRI. 10899-1. 1st. Edition. [in Persian].

[18] Tajjedin, B., Hashemi, M. and Khayamnekoui, S. M. 2014. Effect of chitosan-based ano-packaging on physical properties of apricot variety 526 (58-Shahrood). Journal of Agricultural Engineering Research, 15(3): 41-52. [in Persian].

[19] Maghoumi, M., Gómez, P.A., Artés-Hernández, F., Mostofi, Y., Zamani, Z., Artés, F. 2013. Hot water, UV-C and superatmospheric oxygen packaging as hurdle techniques for maintaining overall quality of fresh-cut pomegranate arils. Journal of Science and Food Agriculture, 93: 1162–1168.

[20] Pan, J. C. And Bhowmilk, S.R. 1992. Shelf life of mature green tomatoes stored in controlled atmosphere and high humidity. Journal of Food Science, 64(1): 42-45.

[21] Thompson, A. K., Been, B. O. and Perkins, C. 1972. Handling, storage and marketing of plantains. Proceedings of the

Annals of Military and Health Sciences Research, 9(2): 81-86. [in Persian].
[28] Henriette M.C. de Azeredo. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. Review. Food Research International, 42: 1240-1253.
[29] Sadeghipour, M., Badii, F., Behmadi, H. and Bazyar, B. 2012. The effect of methyl cellulose based active edible coatings on storage life of tomato. Journal of Food Science and Technology, 35(9): 89-99. [in Persian].
[30] Mullan, M. and McDowell, D. 2003. Modified Atmosphere Packaging. In Coles, R., McDowell, D. and Kirwan, M. (Eds) Food Packaging Technology, London: Blackwell Publishing. Pp:362.
[31] Buick, R. K. and Damoglou, A. P. 1989. Effect of modified atmosphere packaging on the microbial development and visible shelf life of a mayonnaise-based vegetable salad. Journal of the Science of Food and Agriculture, 46(3): 339-347.
[32] Thompson, A. K. 2010. Control Atmosphere Storage of Fruit and Vegetables. 2nd. FSC Press. Pp: 289.
[33] Kader, A. A. and Watkins, C. B. 2000. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. Horticulture Technology, 10(3): 483-486.
[34] Brody, A. and Bugusu, B. 2008. Innovative food packaging solutions. Journal of Food Science, 73(8): 107-116.
Tropical Region of the American Society of Horticultural Science, 16: 205-212.
[22] Sammi, S. and Masud, T. 2007. Effect of different packaging systems on storage life and quality of tomato (Lycopersicon esculentum var. Rio Grande) during different ripening stages. International Journal of Food Science and Technology, 44(5): 918-926.
[23] Zandi Navgaran, Kh., Naseri, L., Esmaiili, M. and Hasanali Bazargan, A. 2013. Effect of packaging material containing nano-silver and silicate clay particles on postharvest quality attributes of sweet cherry cv. Syaahe Mashhad. Journal of Food Research, 24(1): 89-102. [in Persian].
[24] Mazaheri, M., Ghandi, A., Mortazavi, A. and Ziaolhagh, H. 2007. Qualitative Characteristics in Tomato Processing. Marze Danesh Publications. Pp:337. [in Persian].
[25] Li, X., Li, W., Jiang, Y., Ding, Y., Yun, J., Tang, Y. and Zhang, P. 2011. Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut “fugi” apple. Journal of Food Science and Technology, 46: 1947-1955.
[26] Anonymous. 2012. Production of Tomato by Countries. Food and Agriculture Organization (FAO).
[27] Foroughi, S., Dabbagh Moghaddam, A., Ahari, H., Akbarein, H., Anvar, S. A. A., Aghazadeh Meshki, M. and Ghanbari Sagharlou, N. 2011. A survey on the shelf life extension of foods with nanofilms.

Effect of Modified-Atmosphere Packaging Using Polyethylene and Silicone Nano-polymer Films on Quality of Tomatoes (*Lycopersicun esculentum* L.) var. Santella

Ahmadi, B. [1], Tajeddin, B. [2*], AhmadiChenarbon, H. [3]

1. M.Sc. Student, Department of Food Science, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.
2. Assistant Professor, Food Eng. and Post-Harvest Tech. Res. Dept., Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran,
3. Assistant Professor, Department of Agronomy, Varamin – Pishva Branch, Islamic Azad University, Varamin, Iran.

(Received: 2016/05/15 Accepted:2016/10/10)

Fruits and vegetables are the most important horticultural products that play a key role in human nutrition and health. The Modified Atmosphere Packaging (MAP) technology along with controlled temperature is used to preserve and extend the shelf life of perishable foods. Modern technologies (*e.g.* nanotechnology) allow use of nano-composites in MAP, offering new opportunities to better exploit the advantages of this technology. This study analyzed the effect of MAP using two types of film (*i.e.* polyethylene and silicone nano-polymer) and three different gas mixtures ($4\%O_2+8\%CO_2+88\%N_2$, $5\%O_2+3\%CO_2+92\%N_2$, and $80\%O_2+20\%N_2$) as well as passive MAP (at 5°C) on qualitative properties of tomato**.** The effects of above mentioned treatments were conducted on the weight loss, TSS, pH, titratable acidity (TA), rate of respiration, yeast and mould count (YMC) and total viable count (TVC) during 28 days of storage. A factorial experiment in a completely randomized design with three replicates was used to conduct the experiment and data analysis. Results showed that MAP of tomatoes helped preserve their quality and extended their shelf life. Accordingly, silicone nano-polymer in combination with gas mixture ($4\%O_2+8\%CO_2+88\%N_2$) provided a desirable atmosphere for tomatoes and hampered metabolic processes including respiration. This in turn showed better results in reducing variations in weight, TSS, pH and TA than other treatments. Moreover, the lowest YMC and TVC belonged to this treatment.

Keywords: Tomato, Packaging, Modified Atmosphere Packaging, Low-Density Polyethylene Film, Nano Polymer Film

* Corresponding Author E-Mail Address: behjat.tajeddin@yahoo.com