

# ارزیابی ویژگی های رنگی و بافت سنجی دانه های انار آماده مصرف طی دوره نگهداری و بهینه یابی شرایط مختلف بسته بندی با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM)

مریم قربانی<sup>۱</sup>، ناصر صداقت<sup>۲\*</sup>، الناز میلانی<sup>۳</sup>، آرش کوچکی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استادیار پژوهشکده علوم و فناوری مواد غذایی، جهاد دانشگاهی مشهد

(تاریخ دریافت: ۹۳/۰۷/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۹/۰۴)

## چکیده

تولید دانه های انار آماده مصرف علاوه بر خواص حسی و تغذیه ای ویژه، امکان افزایش مصرف انار را فراهم می نماید. رنگ و بافت دو ویژگی مهم در مقبولیت مصرف کننده می باشند. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر نوع بسته بندی شامل بسته بندی وکیوم (۰/۰)، اتمسفر اصلاح شده (۰/۱۰) و اتمسفر معمولی (۰/۲۱)، دمای نگهداری (۴، ۱۲ و ۲۰ درجه سانتیگراد) و زمان انبار داری (۴، ۱۰ و ۱۶ روز) بر پارمترهای افت وزنی، pH، آنتوسیانین کل، ویژگی های رنگی (پردازش تصویر) و سفتی بافت دانه های انار بود. برای این منظور دانه های انار جداسازی شده را تحت سه غلظت گاز اکسیژن (۰/۱۰، ۰/۲۱) بسته بندی نموده و سپس نمونه ها در دماهای مختلف به مدت ۱۶ روز نگهداری شدند. بر اساس نتایج بدست آمده، کمترین افت وزنی در نمونه های بسته بندی وکیوم و بالاترین محتوای آنتوسیانین کل و سفتی مطلوب در بسته بندی اتمسفر اصلاح شده بود. پایداری آنتوسیانین در بسته بندی وکیوم با افزایش pH کاهش یافت. نتایج همچنین نشان داد که تاثیر نوع بسته بندی بر مولفه های رنگی  $L^*$  و  $a^*$  معنی دار نبود ( $p > 0.05$ )، با این حال مولفه قرمزی  $a^*$  با گذشت زمان نگهداری کاهش یافت که همبستگی بالایی با کاهش آنتوسیانین کل داشته است. در واقع رنگدانه آنتوسیانین مسئول رنگ قرمز دانه های انار می باشد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان و دمای نگهداری میزان افت وزنی افزایش و سایر ویژگی های کیفی مانند pH، سفتی بافت، محتوای آنتوسیانین کل کاهش یافت. به طور کلی بسته بندی اتمسفر اصلاح شده بهترین نوع بسته بندی تشخیص داده شد و بر اساس نتایج بهینه یابی نیز بهترین غلظت گاز اکسیژن، دما و زمان جهت نگهداری دانه های انار به ترتیب ۷٪، ۵°C و ۱۱ روز می باشد.

کلید واژگان: دانه انار، بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، خواص رنگی، سفتی بافت، RSM

## ۱- مقدمه

انار میوه شاخص بسیاری از کشورهای نیمه گرمسیری و گرمسیری از جمله اکثر کشورهای مدیترانه ای است و میوه محبوب بومی ایران و مناطق اطراف می باشد. این میوه عمدتاً به علت خواص حسی و تغذیه ای استثنایی و منحصر به فرد خود، ارزش بسیار بالایی دارد [۲۱]. ایران خاستگاه انار بوده و از نظر تنوع، کیفیت، سطح زیرکشت، تولید و صادرات این محصول مقام اول دنیا را دارا می باشد [۳]. با توجه به اینکه دوره ی رسیدن و مصرف میوه های تازه از جمله انار نسبتاً کوتاه است، بنابراین تأسیس صنایع فرآوری و تولید فرآورده های قابل نگهداری ضرورتی بنیادین دارد [۴]. از سوی دیگر میوه انار به افتاب سوختگی، ترک خوردگی، برش خوردن یا ضربه دیدن پوسته، همچنین به آسیب های سرمازدگی (مانند شکاف و سوختگی سطحی پوسته) هنگامی که در دماهای پایین تر از ۵ درجه سانتی گراد انبار می شود، بسیار حساس می باشد. معمولاً این نقص های گوناگون خارجی با وجود کیفیت داخلی عالی، میوه آسیب دیده نامناسب برای بازاریابی و مصرف تازه را باعث می شود. بنابراین انارهای تازه ای که دارای آسیب دیدگی سطحی هستند با حداقل فرآیند، می توانند یک روش مناسب برای به دست آوردن سود تجاری از انارهای دور انداخته و غیر قابل قبول برای فروش و مصرف تازه باشد [۲]. در حال حاضر با توجه به تغییر نگرش مصرف کنندگان، بازار میوه آماده مصرف به سرعت در سال های اخیر رشد یافته است [۵]. امروزه دانه های انار آماده خوردن (با حداقل فرآوری) به علت سهولت مصرف، ارزش بالا، ویژگی های حسی منحصر به فرد و خواص درمانی عامه پسند شدند [۶]. در واقع مهم ترین مشکلی که کیفیت انار آماده مصرف را همانند سایر محصولات آماده مصرف تحت تأثیر قرار می دهد؛ رشد میکروبی، قهوه ای شدن آنزیمی در اثر اکسیداسیون ترکیبات فنلی و کاهش ارزش تغذیه ای آن است. این تغییرات داخلی موجب تغییر رنگ، بافت و ارزش تغذیه ای این محصولات می شود [۳]. رنگ مواد غذایی ویژگی کیفی مهمی می باشد. رنگ قرمز جذاب آب انار یکی از پارامترهایی است که برای طبقه بندی تجاری انار در رابطه با کیفیت آن مورد بررسی قرار می گیرد و انتخاب مصرف کننده را تحت تأثیر قرار می دهد [۷].

بسته بندی در اتمسفر اصلاح شده (MAP) یک تکنیک خاص نگهداری می باشد که باعث به حداقل رساندن فعالیت های فیزیولوژیکی و فساد محصولات می شود. در حال حاضر، از بسته بندی اتمسفر اصلاح شده برای افزایش ماندگاری بسیاری از میوه ها و سبزیجات استفاده می شود [۸]. بسته بندی اتمسفر اصلاح شده عبارت است از به کار گیری مخلوط گازها با ترکیبی متفاوت از هوای معمولی که محصول را احاطه کرده و موجب افزایش عمر انباری محصولات می شود [۹]. بسته بندی وکیوم که هوا را از بسته های مواد غذایی حذف می کند، در حال حاضر به طور گسترده ای جهت گسترش مدت ماندگاری مواد غذایی و کیفیت محصول فرآوری شده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰]. در سال های اخیر مطالعات گسترده ای بر روی تاثیر بسته بندی اتمسفر اصلاح شده بر خصوصیات کیفی میوه ها صورت گرفته است. چیابرانندو و گیاکالون (۲۰۰۹) به بررسی تاثیر بسته بندی اتمسفر اصلاح شده بر کیفیت میوه ذغال اخته ی نگهداری شده در دمای صفر درجه سانتیگراد طی ۲۸ روز پرداختند. نتایج نشان داد که مواد جامد محلول و محتوای آنتوسیانین برای نمونه های کنترل نسبت به نمونه های بسته بندی شده بالاتر بوده است. نگهداری در فیلم های پلاستیکی، افت وزنی را کاهش داد و کیفیت بصری را بهتر حفظ نمود [۱۱]. کنت و همکاران (۲۰۰۹) تاثیر بسته بندی اتمسفر اصلاح شده با ترکیب گازی ۱۰٪ اکسیژن، ۴٪ کربن دی اکسید و ۸۶٪ نیتروژن را بر افت کیفی گیلان های آماده مصرف مورد بررسی قرار دادند [۵]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۳) ترکیب گاز بهینه اتمسفر اصلاح شده برای توت فرنگی را ۲/۵٪ اکسیژن + ۱۶٪ کربن دی اکسید گزارش کردند که تحت این شرایط تنفس و افت وزن توت فرنگی مهار گردیده، علاوه بر این کاهش قندهای محلول، اسیدیته قابل تیتر و محتوای آنتوسیانین را به تاخیر انداخت [۱۲]. بایگانسکا-مارسیک و همکاران (۲۰۰۴) تاثیر بسته بندی اتمسفر اصلاح شده، بسته بندی وکیوم و هوای معمولی را بر کیفیت سیب های حداقل فرآوری شده مطالعه کردند [۱۳]. تعدادی مطالعات نیز به بررسی ماندگاری و کیفیت کلی دانه های انار بسته بندی شده تحت MAP به تنهایی [۱۴] و ترکیب با تیمار UV-C [۲] و

نمونه‌ها از دستگاه بسته بندی خلاء<sup>۲</sup> مدل ۲۰۰A ساخت شرکت هنکلمن هلند استفاده گردید. نمونه‌ها بعد از کدزنی در دماهای ۴، ۱۲، ۲۰ درجه سانتی گراد به مدت ۱۶ روز نگهداری شدند. نمونه برداری و اندازه گیری خصوصیات فیزیکوشیمیایی در فواصل ۴، ۱۰ و ۱۶ روز بعد از بسته بندی صورت گرفت.

## ۲-۴- آزمایش‌ها

۲-۴-۱- اندازه گیری افت وزن: وزن اولیه و نهایی دانه‌های انار در هر بسته اندازه گیری و کاهش وزن با توجه به معادله زیر محاسبه گردید. رابطه (۱)

$$W_L = \frac{W_0 - W_F}{W_0} \times 100$$

$W_L$  درصد کاهش وزن،  $W_0$  وزن اولیه (گرم) دانه‌های انار هر بسته در روز صفر و  $W_F$  وزن نهایی (گرم) دانه‌های انار بعد از باز شدن بسته در روز آزمون می باشد [۱۶].

۲-۴-۲- اندازه گیری pH: از pH متر دیجیتال (مدل Metrohm 691) بعد از کالیبره نمودن آن با بافرهای ۴ و ۷ برای تعیین pH نمونه آب انار استفاده شد [۱۷].

۲-۴-۳- آزمون سفتی بافت سفتی<sup>۳</sup> بافت دانه انار توسط دستگاه بافت سنچ<sup>۴</sup> (مدل TA-plus ساخت کشور انگلستان) اندازه گیری شد. آزمون بافت بر اساس تست فشاری با پروب استوانه‌ای به قطر ۵ سانتی متر و با سرعت پروب ۱ میلی متر بر ثانیه صورت گرفت. مقدار فشردگی نمونه به اندازه نصف قطر دانه انار در نظر گرفته شد (مقدار حرکت پروب پس از تشخیص نمونه ۳ میلی متر تنظیم گردید). نقطه ماکزیمم اولیه در نمودار نیرو-زمان مؤید میزان سفتی (نیوتن) است. سفتی به عنوان حداکثر نیروی فشرده سازی مورد نیاز برای پارگی دانه گزارش می شود. میانگین ۱۰ دانه انار از هر بسته به صورت جداگانه برای هر یک از شرایط آزمایشی اندازه گیری گردید [۱۶].

۲-۴-۳- اندازه گیری محتوای آنتوسیانین کل: آنتوسیانین کل به روش اختلاف pH با استفاده از ۲ سیستم بافر، پتاسیم کلرید (pH ۱/۰/۰/۰۲۵M) و سدیم استات (pH ۴/۵/۰/۰۴M) تعیین گردید. ۰/۱ میلی لیتر از آب انار صاف شده با ۵ میلی لیتر بافر مخلوط شده، جذب در دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-

بررسی اثر دما و تیمارهای گازی مختلف بر رنگ دانه‌های انار [۱۵] پرداخته شده است.

با توجه به اینکه انار رقم بجستانی یکی از ارقام تجاری ایران محسوب می گردد، در این پژوهش بهینه یابی شرایط مختلف بسته بندی دانه‌های انار آماده مصرف و ارزیابی ویژگی‌های رنگی و بافت سنجی طی دوره نگهداری مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

میوه انار تازه رقم بجستانی، سدیم هیدروکسید، پتاسیم کلرید، سدیم استات، پلیاستیک سه لایه PE/PA/PE به ضخامت ۸۰ میکرون (تهیه شده از کلینیک بسته بندی مواد غذایی ایران). مواد شیمیایی استفاده شده در آزمون‌ها تماماً از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

### ۲-۲- آماده سازی نمونه‌ها

در این پژوهش میوه‌های انار رقم بجستانی در هفته سوم آبان ماه ۱۳۹۲ در مرحله برداشت از باغی واقع در شهرستان بجستان جمع آوری گردید، سپس در حداقل زمان ممکن به آزمایشگاه بسته بندی گروه علوم و صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد منتقل و تا روز بعد در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگه داری شدند. انارهای سالم و عاری از هرگونه آلودگی و ترک خوردگی جهت اعمال تیمارهای مختلف انتخاب گردیدند. انارها را با آب سرد شستشو داده و خشک نمودیم، سپس دانه‌های انار را به صورت دستی تحت شرایط استریل از پوسته جدا نموده و برای اطمینان از یکنواختی نمونه‌ها، دانه‌ها با یکدیگر مخلوط گردیدند.

### ۲-۳- بسته بندی و شرایط نگهداری نمونه‌ها

بعد از جداسازی دانه‌های انار، جهت بسته بندی از کیسه‌های پلیاستیکی سه لایه PE/PA/PE به ضخامت ۸۰ میکرون استفاده شد. ۲۰۰ گرم دانه انار داخل هر کیسه پلیاستیکی قرار گرفته و تحت درصد مشخص گاز شامل اتمسفر معمولی (شاهد)، وکیوم، MAP (O<sub>2</sub> ۱۰٪، N<sub>2</sub> ۹۰٪) بسته بندی شدند. جهت بسته بندی

2. Vacuum Henkelman  
3. Hardness  
4. Texture Analyzer

1. polyethylene /polyamide /polyethylene

گاز اکسیژن ( $X_3$ ) بر برخی خصوصیات کیفی دانه های انار بسته بندی شده مورد استفاده قرار گرفت. داده های به دست آمده در این طرح با استفاده از نرم افزار Design Expert مدل 6.0.2 (میناپولیس آمریکا) مدل سازی شده و شکل های سه بعدی (منحنی های سطح پاسخ) جهت بررسی رابطه میان پاسخ ها و متغیرهای مستقل رسم شد. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کد شده در جدول ۱ ارائه شده است. بر داده های حاصل از آزمایش ها مدل چند جمله ای درجه دوم برازش داده شد. پس از برازش مدل، رابطه های به دست آمده در معرض الگوریتم Stepwise قرار گرفتند. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی دار نبودند حذف شده و در نتیجه تعداد جملات مدل کاهش داده شدند. با توجه به مقادیر  $R^2$ -Adj و  $R^2$  مربوط به مدل درجه دوم که در جدول ۲ نشان داده شده است، مشاهده می شود که مدل چند جمله ای درجه دوم کاسته دارای مقادیر بالا و قابل قبولی است، بنابراین در برازش داده ها توان بیشتری را دارا می باشد. جدول ۳ نیز نتایج حاصل از آنالیز واریانس مدل درجه دوم کاسته را نشان می دهد. رابطه ۸، مدل تعریف شده برای هر پاسخ می باشد. در این فرمول  $Y$  پاسخ پیش بینی شده،  $b_0$  ضریب ثابت،  $b_i$  اثرات خطی،  $b_{ij}$  اثر مربعات و  $b_{ij}$  اثرات متقابل و  $x_i, x_j$  متغیرهای مستقل کدبندی شده هستند.

$$Y = b_0 + \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i^2 + \sum b_{ij} x_i x_j$$

معنی داری ضرایب مدل با استفاده از آنالیز واریانس برای هر پاسخ تعیین شد. کفایت مدل با استفاده از  $R^2$ ،  $R^2$  اصلاح شده و آزمون Lack of fit مورد بررسی قرار گرفت. در یک مدل مناسب  $R^2$ ،  $R^2$  اصلاح شده بایستی بالا ( $>0.80$ ) و آزمون عدم برازش غیر معنی دار باشد.

**Table 1** Independent variable values of the process and their corresponding levels

Independent variable	Symbol	-1	0	+1
Time(day)	$X_1$	4	10	16
Temperature( $^{\circ}$ C)	$X_2$	4	12	20
gas concentration(%)	$X_3$	0	10/5	21

160A) در طول موج های ۵۲۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه گیری و آنتوسیانین کل به عنوان سیانیدین-۳-گلوکوزید به عنوان آنتوسیانین غالب انار با توجه به معادله زیر محاسبه شد [۱۸].

$$Total\ anthocyanin(mg\ L^{-1}) = \frac{A \times MW \times DF \times 100}{\epsilon}$$

$$A = (A_{520nm} - A_{700nm}(pH=1)) - (A_{520nm} - A_{700nm}(pH=4.5))$$

MW وزن مولکولی آنتوسیانین غالب (سیانیدین-۳-گلوکوزید)  $449.2\ g\ mol^{-1}$  (DF، فاکتور رقت و  $\epsilon$  ضریب جذب مولی سیانیدین-۳-گلوکوزید (۲۶۹۰۰) می باشد.

۲-۴-۴-اندازه گیری خصوصیات رنگی: در این پژوهش از روش پردازش تصویر کامپیوتری<sup>۱</sup> برای بررسی رنگ استفاده شد. اندازه گیری رنگ نمونه با استفاده از مدل CIE (CIE LAB) صورت گرفت. این مدل، کامل ترین مدل رنگی است که رسماً برای توصیف همه رنگ های قابل مشاهده توسط چشم انسان به کار برده می شود و با سه فاکتور  $L^*$  (روشنی/تیرگی)،  $a^*$  (قرمز و سبز)،  $b^*$  (زرد/آبی) سنجش می شود. برای اندازه گیری رنگ نمونه ها ابتدا باید از نمونه ها زیر نور مناسب عکس برداری شود. برای این کار از دوربین دیجیتال (Canon, model Powershot A 520) استفاده شد. برای تصویرگیری نیز از اتاقکی که دیواره های آن با پارچه ی مشکی پوشیده شده بود (این کار از بازتاب نور جلوگیری می کند) استفاده شد. برای ایجاد نور نیز از چهار لامپ فلوروسنت استفاده شد. (دوربین در فاصله ۲۵ سانتی متری نمونه ها و موازی با آن ها روی پایه ثابت شد. دوربین با پورت USB به رایانه متصل شد و تصویرگیری با نرم افزار ZoomBrowser EX 5.0 انجام شد. تصویرهای گرفته شده با فرمت JPEG ذخیره و توسط نرم افزار Photoshop CS6 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مناطقی که رنگ آن مد نظر بود انتخاب و فیلتر Blur/average روی آن اعمال شد و سپس مقدار  $b^*$  و  $L^*a^*$  تصویر از پنجره info قرائت شد [۲۰ و ۱۹].

## ۲-۵- تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق طرح مرکب مرکزی متمرکز شده (FCCD) با سه متغیر مستقل و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح، جهت یافتن اثر متغیرهای مستقل (زمان نگهداری  $X_1$ ، دمای نگهداری  $X_2$ ، غلظت

2. Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA

1. Computer vision system (CVS)

**Table 2** Analysis of variance (ANOVA) response surface model models

source	model	Mean	Standard Deviation	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> -adj
weight loss	$y = 12.32 - 0.59x_1 - 1.77x_2 - 0.43x_3 + 0.057x_2^2 + 0.043x_1x_2 + 0.03x_1x_3 + 0.025x_2x_3$	2/37	1/63	0/90	0/85
pH	$y = 3.41 + 0.053x_1 - 0.021x_2 - 0.02x_3 - 2.65x_1^2 + 1.16x_2^2 - 4.57x_3^2 - 7.14x_1x_3 - 4.16x_2x_3$	3/6	0/03	0/91	0/85
(N)hardness	$y = 6.47 + 0.17x_1 + 0.24x_2 + 0.26x_3 - 0.015x_1x_2 - 0.009x_1x_3 - 0.014x_2x_3$	9/37	0/51	0/88	0/84
total anthocyanin (mg L <sup>-1</sup> )	$y = 158.9 - 57.17x_1 + 0.99x_1^2 - 0.325x_3^2 - 0.163x_2x_3$	158/5	19/71	0/87	0/82
L*	$y = 37.65 - 0.2x_1 + 0.312x_2$	39/4	1/03	0/82	0/79
a*	$y = 31.73 - 0.072x_1 - 0.02x_2 - 0.067x_3 - 2.65x_1^2 + 0.018x_2^2 - 0.014x_1x_2 - 0.013x_2x_3$	32/88	0/59	0/94	0/91
b*	$y = -2.92 + 1.047x_1 + 1.2x_2 - 0.515x_3 - 0.058x_1^2 - 0.048x_2^2 - 0.017x_3^2 + 0.013x_1x_2 + 0.008x_2x_3$	6/28	0/88	0/92	0/87

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر کاهش وزن

تأثیر متغیرهای مستقل بر درصد کاهش وزن دانه های انار بسته بندی شده به صورت شکل های سه بعدی رویه پاسخ در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود دمای نگهداری تأثیر عمده ای بر افت وزن دانه ها داشته است. نتایج آنالیز واریانس و شکل های رویه پاسخ نشان می دهد که افزایش دمای نگهداری از ۴ به حدود ۱۲ درجه سانتی گراد، تأثیر زیادی بر روی کاهش وزن محصول نداشته، در حالی که با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی گراد درصد کاهش وزن به طور چشمگیری افزایش نشان می دهد (شکل ۱-الف). به دلیل معنی دار بودن اثر توان دوم دما و همچنین اثر متقابل آن با زمان نگهداری و غلظت

گاز، در رویه پاسخ آن انحنا وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۱-الف). با افزایش زمان نگهداری از ۴ تا ۱۰ روز نیز وزن دانه های انار کاهش یافت تا اینکه در روز شانزدهم به کمترین مقدار رسید. نوع بسته بندی نیز تأثیر معنی داری ( $p < 0.05$ ) بر درصد کاهش وزن محصول داشت (جدول ۳). همانطور که در شکل ۱ مشاهده می شود کمترین افت وزنی مربوط به بسته بندی وکیوم (غلظت گاز اکسیژن برابر صفر) و بیشترین افت وزن دانه های انار در نمونه شاهد تحت اتمسفر معمولی (غلظت گاز اکسیژن برابر ۲۱٪) بوده است، بدین معنی که نمونه های بسته بندی شده تحت MAP و وکیوم افت وزن کمتری در مقایسه با نمونه شاهد داشته اند (شکل ۱-ب).

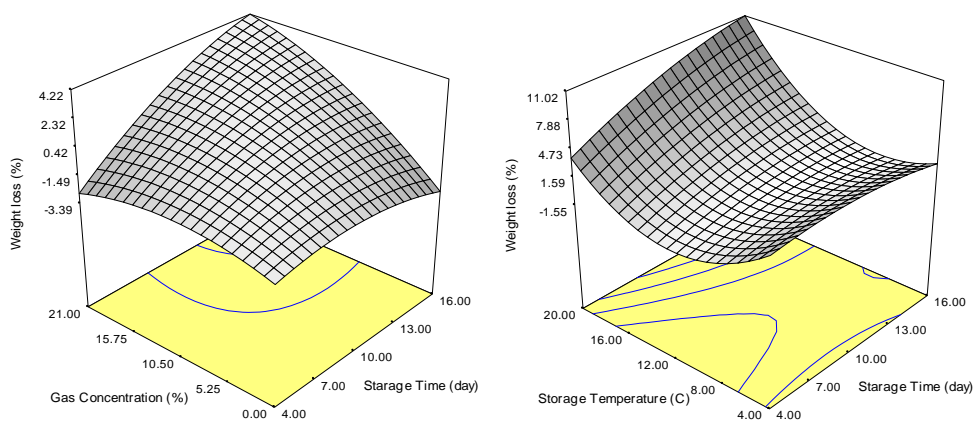
### ۳-۲- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر pH

از شکل رویه ها چنین به نظر می رسد که رابطه pH با زمان نگهداری به صورت منحنی است که این روند توسط معنی دار بودن عبارت های خطی و درجه دوم مدل ( $P < 0.05$ ) تایید می شود (جدول ۳). به طوری که با گذشت زمان نگهداری تا ۱۰ روز pH محصول تغییر قابل توجهی پیدا نکرد ولی با افزایش زمان نگهداری تا ۱۶ روز pH بصورت سهمی کاهش معنی داری داشت. تغییرات دمای نگهداری تاثیر قابل توجهی بر pH نداشته ولی روند کاهشی است بدین معنی که با افزایش دمای نگهداری تا ۲۰ درجه سانتیگراد pH کاهش یافته است (شکل ۲-ب). طبق نتایج اثرخطی غلظت گاز اکسیژن نیز بر pH محصول معنی دار نبود ولی اثر کوادراتیک و همچنین اثر متقابل آن با زمان و دمای نگهداری معنی دار بود. همانطور که مشاهده می شود دانه های انار در حالتی که در شرایط وکیوم بسته بندی شدند، pH بالاتری نسبت به بسته بندی نمونه اتمسفر معمولی (شاهد) داشته و محصول بسته بندی شده در شرایط MAP حالت بینابینی داشت. البته لازم به ذکر است که هر چند روند کاهشی است ولی تغییرات pH کم بوده و در حد چند صدم می باشد (شکل ۲-الف).

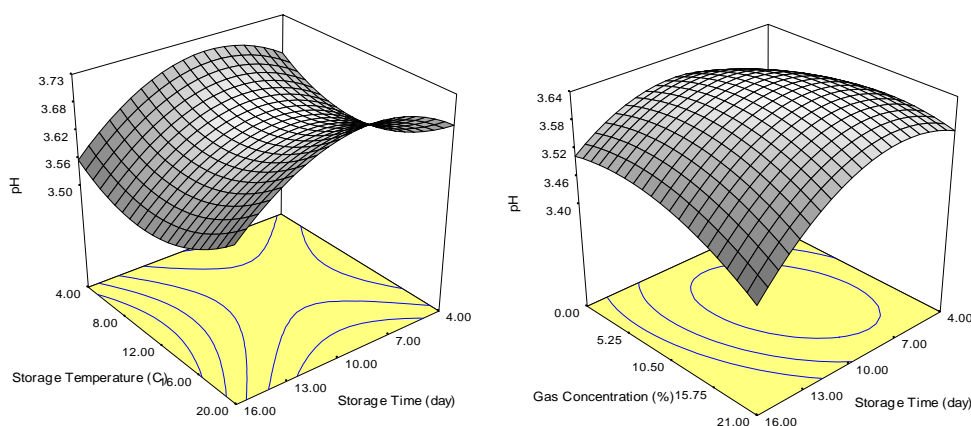
کاهش pH با افزایش زمان نگهداری را می توان به علت افزایش شدت تنفس طی مدت نگهداری و افزایش غلظت کربن دی اکسید و حل شدن آن توصیف نمود که باعث افزایش اسیدیته و کاهش pH می گردد [۲۵].

آیپهان و ایستورک (۲۰۰۹) نیز کاهش pH دانه های انار را طی مدت زمان نگهداری گزارش کردند، هرچند این تغییرات ناچیز بوده اما مقدار pH از ۳/۳۰ به ۲/۲۷ رسیده بود [۱۸]. با این حال افزایش pH در بسیاری از مطالعات بسته بندی میوه ها مانند مطالعه خورشیدی و همکاران (۲۰۱۱) بر روی گیلاس، آرتز و همکاران (۲۰۰۰) بر روی انار بسته بندی شده، هولکرافت و کدر (۱۹۹۹) بر روی توت فرنگی گزارش شده است [۲۶، ۲۷].

کاهش وزن می تواند با از دست دادن کیفیت، از جمله کاهش سفتی و سایر تغییرات نامطلوب در رنگ، دلبذیری و از دست دادن کیفیت تغذیه ای همراه باشد که به صورت بخار آب از فضاهای هوای داخل میوه (فضاهای بین سلولی) به فضای اطراف آن از دست می رود [۲۱]. خورشیدی و همکاران (۲۰۱۱) افت وزن گیلاس های بسته بندی شده طی مدت زمان نگهداری را به دلیل فرآیند تعرق دانستند [۲۲]. کاهش افت وزن در دماهای پایین به دلیل آهسته بودن فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس و تعرق می باشد. درجه حرارت بالا، سرعت تنفس و سایر فرآیندهای متابولیکی را افزایش می دهد که باعث کاهش سوسترهایی مانند قندها و پروتئین ها شده و منجر به افت وزن بیشتر می گردد [۲۳]. کمترین افت وزن دانه های انار در بسته بندی وکیوم می باشد، این نتیجه مشابه با گزارش دینگ و دیانا (۲۰۱۳) در بررسی تغییرات فیزیوشیمیایی میوه دابایی<sup>۱</sup> تحت شرایط مختلف بسته بندی (MAP، وکیوم و هوای معمولی) بود [۲۱]. احمدی و همکاران (۲۰۰۸) تاثیر بسته بندی MAP را بر روی دو رقم آلبالو بررسی کردند. افت وزن در نمونه های بسته بندی شده تحت MAP نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده و بیان کردند که از دست دادن آب میوه به نیروی ناشی از اختلاف فشار بخار آب بین بافت میوه و هوای اطراف و مقاومت بافت در برابر این نیرو بستگی دارد. این اختلاف فشار در اثر افزایش دما و کاهش رطوبت بالا می رود. بسته بندی آلو با اتمسفر اصلاح شده می تواند فشار بخار اطراف میوه ها را در حد بالایی حفظ نماید که مانع از دست دادن آب و کاهش وزن میوه ها خواهد شد [۸]. در واقع بسته بندی MAP به حفظ سطح بالایی از رطوبت نسبی در بسته کمک کرده و منجر به کاهش از دست دادن وزن می گردد [۲۴].



**Fig 1** Response surface for the effect of (a) storage temperature –time, and (b) storage time- gas concentration on the weight loss of pomegranate arils



**Fig 2** Response surface for the effect of (a) storage time- gas concentration, and (b) storage temperature –time on pH of pomegranate arils

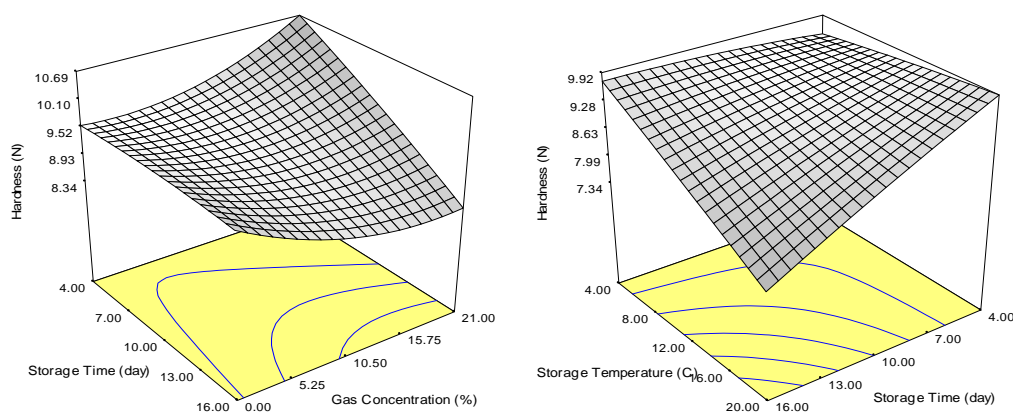
گذاشته اند، این در حالی بود که اثرات متقابل آن ها معنی دار بود (جدول ۳). در دمای ثابت نگهداری ( $T=12^{\circ}\text{C}$ ) با توجه به معنی دار بودن اثرات متقابل زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن، این نتیجه حاصل شد که تغییر نوع بسته بندی و افزایش غلظت گاز اکسیژن باعث افزایش سفتی بافت دانه های انار شده در حالیکه با گذشت زمان نگهداری سفتی کاهش پیدا کرده است (شکل ۳-ب). نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی و کوادراتیک غلظت گاز معنی دار نبود ولی اثر متقابل آن با هر دو متغیر دیگر کاملاً معنی دار بود.

### ۳-۳- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان سفتی بافت

نتایج نشان داد که زمان و دمای نگهداری به طور عمده ای بر سفتی بافت دانه های انار موثر بودند ( $P<0/01$ ) به طوری که با افزایش زمان و دمای نگهداری در غلظت ثابت گاز ( $\text{GC}=10.5$ ) سفتی بافت به طور معنی داری کاهش یافت، بدین ترتیب بیشترین سفتی دانه های انار در روزهای اول نگهداری و در دمای یخچال بود (شکل ۳-الف). همان طور که مشاهده می شود عبارت های درجه دوم متغیرهای مستقل معنی دار نبود ( $P>0/05$ ) لذا به صورت تقریباً خطی بر سفتی بافت تاثیر

متابولیسم تخمیری و تنفس بی هوازی می گردد [۲۹]. نتایج گیاکالون و چیابران دون (۲۰۱۳) نشان داد که سفتی گیلان های بسته بندی شده تحت MAP در دمای ۱ درجه سانتیگراد در ۵ روز اول نگهداری کاهش و سپس تا روز پانزدهم افزایش یافت [۳۰]. سفت شدن بافت دانه های انار با افزایش غلظت گاز اکسیژن می تواند به افت رطوبت و در نتیجه خشک شدن و سخت شدن آن مربوط گردد. نان و موازیز (۱۹۹۵) نیز کاهش سفتی بافت توت فرنگی ها را با افزایش دمای نگهداری عنوان کردند [۳۱].

نرم شدن بافت میوه ها و سبزیجات به دلیل عوامل بسیاری از جمله از دست دادن فشار *turgor* سلول، تخریب ترکیبات دیواره سلولی و پلی ساکاریدها می باشد [۲۸]. دینگ و دیانا (۲۰۱۳) کاهش سفتی بافت میوه دابایی را طی هشت روز نگهداری گزارش کردند، همچنین آنها سفتی بافت میوه دابایی را تحت تاثیر روش بسته بندی دانستند، بطوریکه نرم شدن میوه بسته بندی شده در بسته بندی وکیوم نسبت به بسته بندی MAP و هوای معمولی (شاهد) بیشتر بوده است [۲۱]. نرم شدن و تغییر رنگ گوشت میوه بسته بندی شده تحت خلاء می تواند به سطوح پایین اکسیژن در بسته بندی مربوط می شود که منجر به



**Fig 3** Response surface for the effect of (a) storage temperature–time, and (b) storage time- gas concentration on hardness of pomegranate arils

( $p > 0.05$ ). طبق نتایج در زمان نگهداری ثابت ( $t=10$  days) با تغییر دادن غلظت گاز موجود در بسته بندی و دمای نگهداری، بیشترین مقدار حفظ آنتوسیانین نمونه ها مربوط به بسته بندی MAP بود و تحت بسته بندی وکیوم و اتمسفر معمولی (شاهد) مقدار این ترکیب بدلیل معنی دار بودن اثر کوادراتیک آن بصورت سهمی کاهش نشان داد (شکل ۴-ب).

کاهش آنتوسیانین کل طی دوره نگهداری، مشابه با مطالعات تیان و همکاران (۲۰۰۴) و نیز پترسن و پل (۱۹۹۹) بر روی گیلان های بسته بندی شده، آرتز-هرناندز و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی انگورهای تازه خوری تحت تیمارهای گازی مختلف و داکینو و همکاران (۲۰۱۰) بر روی آب انار می باشد [۳۲-۳۵]. عوامل بسیاری از جمله دما، pH، اکسیژن، آنزیم، آسکوربیک

### ۳-۴- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر محتوای

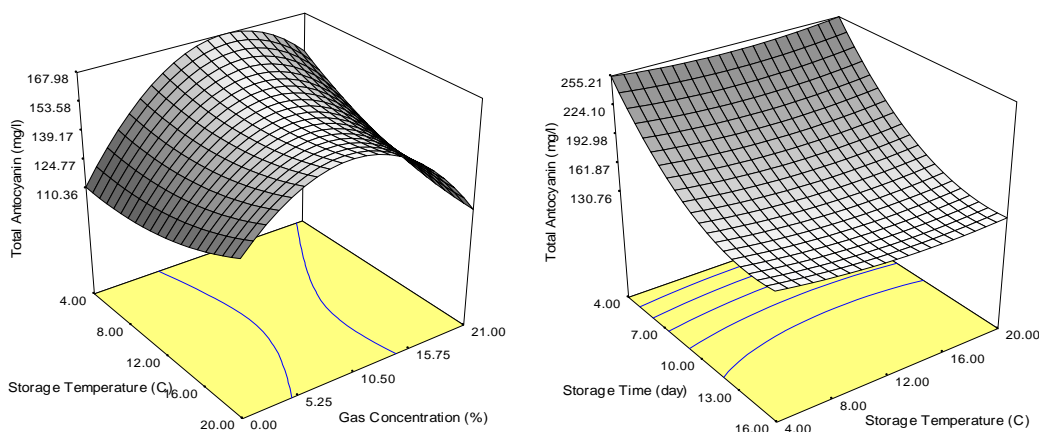
#### آنتوسیانین کل

زمان نگهداری تاثیر عمده ای بر محتوای آنتوسیانین داشته است ( $p < 0.0001$ )، همچنین به دلیل معنی دار بودن اثر دوم زمان در رویه پاسخ آن انحنا وجود دارد (شکل ۴-الف). نتایج نشان می دهد که با افزایش زمان انبارداری از ۴ تا ۱۶ روز در غلظت ثابتی از گاز اکسیژن ( $GC=10.5\%$ )، مقدار آنتوسیانین نمونه ها از ۲۴۳ به ۷۵/۸ میلی گرم در لیتر کاهش نشان داد. با تغییر دمای نگهداری از ۴ تا ۲۰ درجه سانتیگراد، محتوای آنتوسیانین تغییر قابل توجهی پیدا نکرد که طبق جدول آنالیز واریانس عدم معنی داری اثرات خطی و کوادراتیک دما موید این مطلب می باشد



بیشتر آنتوسیانین در هوا (توسط آنزیم فنیل آلانین آمونیا لیاز) نسبت به اتمسفر کنترل شده بالاتر اعلام کردند [۳۹]. در این پژوهش نمونه های بسته بندی شده تحت اتمسفر معمولی (شاهد) احتمالاً به دلیل اکسیداسیون آنتوسیانین در هوا، محتوای آنتوسیانین کمتری نسبت به بسته بندی MAP داشته اند. نتیجه بررسی ما مشابه با مطالعه ژانگ و همکاران (۲۰۰۳) می باشد؛ محتوای آنتوسیانین توت فرنگی به طور مداوم طی نگهداری کاهش یافت و تیمار MAP توانست این کاهش را به تاخیر اندازد [۱۲]. دیاز-مولاز و همکاران (۲۰۱۱) نیز تاخیر کاهش آنتوسیانین در آلوهای بسته بندی شده تحت MAP را نسبت به هوای معمولی گزارش کردند [۴۰]. تاخیر در تغییر رنگ در ارتباط با فرآیند رسیدن پس از برداشت نیز در میوه های دیگر مانند انبه (پسیز و همکاران، ۲۰۰۰)، انگور تازه خوری (مارتینز-رومرو و همکاران، ۲۰۰۳) و loquat (آموروز و همکاران، ۲۰۰۸) در شرایط بسته بندی تحت MAP نشان داده شد [۴۱-۴۳].

اسید و غیره بر پایداری آنتوسیانین کل موثر می باشند [۳۶]. تغییرات اندکی در pH تاثیر قابل توجهی بر محتوای آنتوسیانین می گذارد به طوری که که میزان اسیدی بودن محلول، نسبت بین اشکال مختلف رنگدانه ها، به عنوان مثال کاتیون فلاویلیوم قرمز، باز کوئینیدال آبی، کاربینول بی رنگ و چالکون های زرد کم رنگ را تحت تاثیر قرار می دهد [۳۴]. رولستاد و همکاران (۱۹۷۰) گزارش کردند که تغییر pH از ۳/۲۱ به ۳/۸۱ موجب تغییر شکل فلاویلیوم از ۳۷٪ به ۱۳٪ می گردد و نتیجه گرفتند که کاهش pH، ثبات رنگ توت فرنگی را بیشتر از هر عامل دیگر بهبود می بخشد [۳۷]. ازین رو بسته بندی وکیوم با بیشترین مقدار pH (حدود ۳/۵) کمترین محتوای آنتوسیانین را داشته است که مشابه با نتیجه توسلی (۱۳۹۲) در مطالعه بر روی دانه انار می باشد [۳۸]. بیشترین آنتوسیانین کل مربوط به نمونه های تحت MAP بوده و بر خلاف مطالعاتی می باشد که اتمسفر معمولی را بهترین حالت گزارش کرده اند. هس-پیرس و کادر (۲۰۰۳) شدت رنگ قرمز انارهای نگهداری شده در هوای معمولی را به دلیل سنتز



**Fig 4** Response surface for the effect of (a) storage temperature – time, and (b) storage temperature - gas concentration on total anthocyanin content

خطی زمان و دمای نگهداری در سطح بالایی از نظر آماری معنی دار ( $P < 0.05$ ) بودند (جدول ۳). بنابراین رابطه بین دما و زمان نگهداری با روشنی ظاهری دانه های انار در شرایط ثابتی از غلظت گاز اکسیژن، به صورت خطی بود به طوری که با افزایش

### ۳-۵- بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خواص

#### رنگی

نتایج آنالیز واریانس مولفه  $L^*$  نشان داد که در بین متغیرهای مستقل اثر غلظت گاز اکسیژن معنی دار نبود ( $P > 0.05$ )، اما اثرات

افزایش زمان نگهداری شاخص زردی نیز افزایش یافت که به کاهش مولفه قرمزی دانه های انار طی دوره نگهداری مربوط می شود [۳۸]. کاهش پارامتر  $L^*$  نیز موافق با گزارش ریمون و همکاران (۲۰۰۴) و نیز مطالعه گیاکالون و چیابرانلو (۲۰۱۳) در گیلان های بسته بندی شده به ترتیب طی ۱۰ و ۱۵ روز نگهداری می باشد [۴۵ و ۳۰]. نانز و مورایز (۱۹۹۵) تیره تر شدن (مقدار پایین تر  $L^*$ ) توت فرنگی های نگهداری شده در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد را نسبت به دمای ۴ درجه سانتیگراد گزارش کردند و به از دست دادن بیشتر آب در دمای بالا همراه با قهوه ای شدن نسبت دادند [۳۱].

### ۳-۶- بهینه یابی نهایی

شرایط عملیاتی بهینه برای بسته بندی دانه های انار با استفاده از متغیر های مستقل غلظت گاز اکسیژن داخل بسته بندی، دمای نگهداری و زمان انبارداری بر روی پارامترهای افت وزن، pH، سفتی بافت، مقدار آنتوسیانین، خواص رنگی (مولفه های  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$ ) با استفاده از تکنیک بهینه سازی عددی<sup>۱</sup> نرم افزار Design Expert جستجو شد. بدین منظور، در ابتدا اهداف بهینه سازی را مشخص کرده و سپس سطوح پاسخ ها و متغیرهای مستقل تنظیم خواهد شد. برای این منظور مقدار آنتوسیانین، سفتی بافت، خواص رنگی (مولفه قرمزی) در حداکثر و مقدار pH و متغیرهای مستقل نیز در حالت in range انتخاب شدند.

پس از بهینه یابی نهایی، مقدار pH برابر با ۳/۶۲، حداقل افت وزن معادل ۲/۸٪، حداکثر آنتوسیانین و سفتی بافت به ترتیب معادل  $224 \text{ mg L}^{-1}$  و  $10/83 \text{ N}$  و مولفه های رنگی شامل  $L^*$  و  $a^*$  و  $b^*$  به ترتیب معادل ۳۹/۷۸ و ۳۲/۵۵ و ۶/۱۸ بود. در شرایط بهینه مقادیر متغیرهای مستقل شامل دمای نگهداری، غلظت گاز اکسیژن داخل بسته و زمان نگهداری به ترتیب  $5^\circ\text{C}$ ، ۷ درصد و ۱۱ روز به دست آمد (جدول ۴).

زمان و دمای نگهداری میزان مولفه  $L^*$  دانه های انار به ترتیب کاهش و افزایش یافت. بنابراین بیشترین میزان مولفه  $L^*$  در روزهای اول نگهداری و دماهای بالا حاصل گردید. (شکل ۵-الف). تاثیر متغیرهای مستقل بر مولفه  $a^*$  محصول نهایی به صورت شکل های سه بعدی رویه پاسخ در شکل ۵-ب و نتیجه آنالیز واریانس در جدول ۳ نشان داده شده است. طبق نتایج اگرچه اثرات خطی متغیرهای مستقل در مدل درجه دوم برازش شده بر داده های مولفه  $a^*$  معنی دار نبود، ولی با توجه به معنی دار شدن اثرات متقابل زمان و دمای نگهداری ( $P < 0/005$ ) این نتیجه حاصل شد که در غلظت ثابت گاز اکسیژن ( $\text{GC}=10.5$ )، گذشت زمان تاثیر منفی بر مولفه قرمزی دانه های انار دارد ولی با افزایش دمای نگهداری روند افزایشی بود (شکل ۵-ب). اثر خطی زمان نگهداری بر مولفه  $b^*$  نیز در مدل درجه دوم کاسته معنی دار نبود ولی اثر توان دوم و برهمکنش آن با غلظت گاز اکسیژن معنی دار ( $P < 0/05$ ) بود (جدول ۳). دما بیشترین تاثیر را بر این مولفه رنگی داشت به طوری که با افزایش دما از ۴ درجه تا ۱۲ درجه سانتیگراد میزان مولفه  $b^*$  افزایش معنی دار نشان داد و سپس با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتیگراد مقدار این پارامتر با شیب کمی کاهش یافت. با توجه به معنی دار بودن اثر کوادراتیک و برهمکنش دما با غلظت گاز اکسیژن، مولفه  $b^*$  بصورت سهمی با افزایش دما تغییر پیدا کرده است. افزایش گاز اکسیژن نیز در بسته بندی منجر به افزایش مولفه  $b^*$  شد، به طوریکه نمونه های اتمسفر معمولی (شاهد) بیشترین شاخص زردی را داشته اند (شکل ۵-ج).

پیرز- وایسنت (۲۰۰۴) به همبستگی بالای تغییرات محتوی آنتوسیانین با شدت رنگ قرمز طی دوره نگهداری اشاره کردند [۴۴]. بنابراین با توجه به مقایسه فاکتور قرمزی و محتوای آنتوسیانین کل دانه های انار این نتیجه حاصل می گردد که کاهش شدت رنگ قرمز ( $a^*$ ) دانه های انار ارتباط مستقیمی با کاهش محتوای آنتوسیانین کل طی دوره نگهداری دارد. از طرفی با

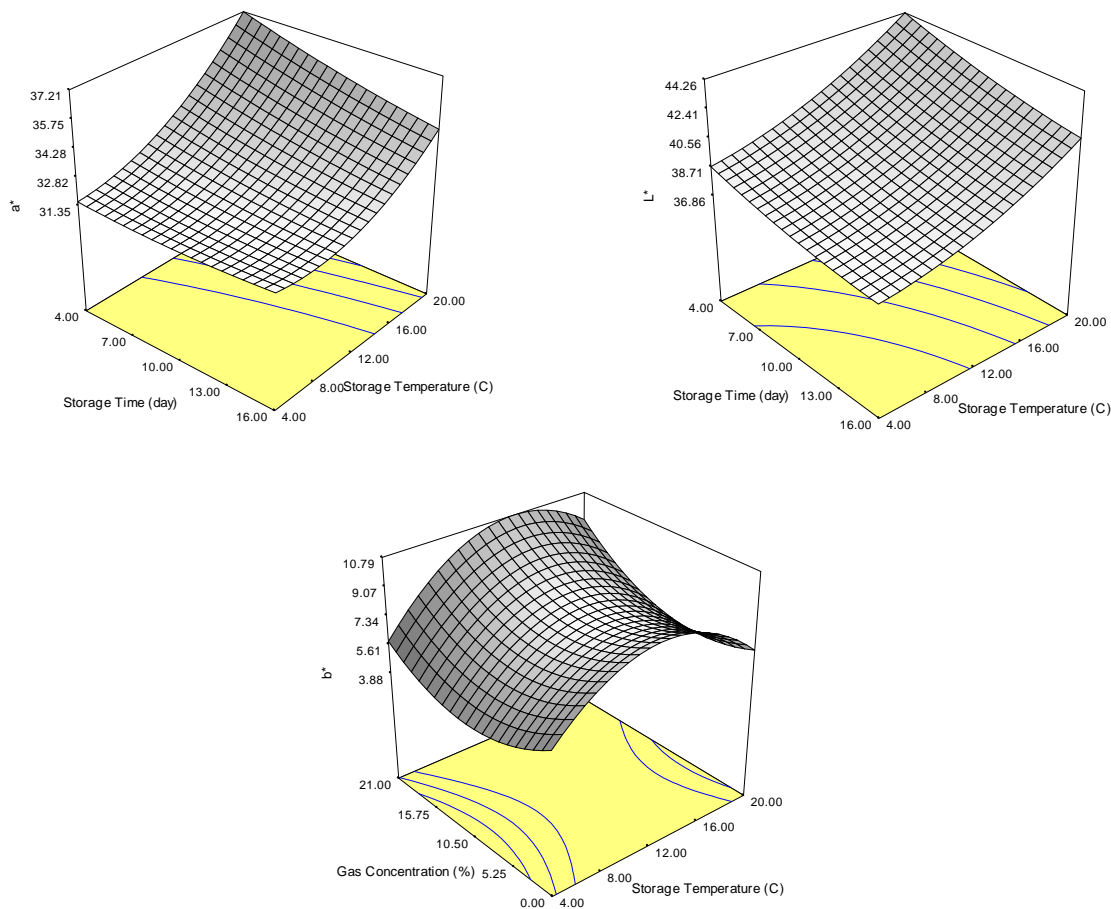


Fig 5 Response surface for the effect of storage time-temperature and gas concentration on color components of *L*<sup>\*</sup>, *a*<sup>\*</sup>, *b*<sup>\*</sup>

Table 3 Analysis of variance (ANOVA) response surface model

weight loss		pH		hardness		anthocyanin		
P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value
Model	290/36	<0/0001	0/097	0/0001	24/75	<0/0001	40359/5	0/0003
A	23/49	0/011	0/018	0/001	3/37	0/0029	32680/9	<0/0001
B	62/13	0/0004	0/0025	0/11	2/35	0/0092	-	-
C	35/27	0/0033	0/0008	0/36	0/0024	0/92	-	-
A <sup>2</sup>	-	-	0/025	0/0002	-	-	3494/3	0/013
B <sup>2</sup>	67/68	0/0003	0/015	0/0016	-	-	-	-
C <sup>2</sup>	-	-	0/007	0/017	-	-	3542/5	0/012
AB	35/05	0/0034	-	-	4/04	0/0015	-	-
AC	29/63	0/0059	0/016	0/0013	2/7	0/006	-	-
BC	37/13	0/0028	0/0098	0/0068	12/29	<0/0001	1502/7	0/077
Lack of fit	25/83	0/061	0/007	0/209	1/87	0/61	363/15	0/0658
Pure error	6/43	-	0/0027	-	1/4	-	720/08	-

**Table 3** Analysis of variance (ANOVA) response surface model

Source	<i>L*</i>		<i>a*</i>		<i>b*</i>	
	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value	Sum of squares	P-value
Model	76/9	<0/0001	70/35	<0/0001	92/66	<0/0001
A	14/4	0/0018	4/23	0/19	0/025	0/86
B	62/5	<0/0001	46/22	0/076	9/02	0/0059
C	-	-	4/22	0/38	5/63	0/0212
A <sup>2</sup>	-	-	-	-	12/29	0/0022
B <sup>2</sup>	-	-	6/61	0/0002	26/66	0/0001
C <sup>2</sup>	-	-	-	-	9/79	0/0046
AB	-	-	3/78	0/0016	-	-
AC	-	-	5/28	0/0034	5/28	0/024
BC	-	-	-	-	3/78	0/049
Lack of fit	15/07	0/195	4/59	0/14	5/57	0/324
Pure error	2/83	-	0/00	-	3	-

**Table 4** Optimization and verification of results in different condition of packaging

Independent variable	manimum	maximum	Optimal value
Time(day)	4	16	11
Temperature(°C)	4	20	5
gas concentration(%)	0	21	7

جهت بسته بندی دانه های انار چندان مناسب نمی باشد. کنترل دما نیز نقش مهمی در کارایی بسته بندی اتمسفر اصلاح شده داشته است، بطوریکه عملکرد این نوع بسته بندی با افزایش دمای نگهداری کاهش یافت. نمونه های بسته بندی شده در اتمسفر معمولی (شاهد) نیز بیشترین افت وزنی را نشان دادند. با افزایش زمان و دمای نگهداری به ویژه در روز شانزدهم و دمای ۲۰ درجه سانتیگراد افت شدیدی در ویژگی های کیفی مانند سفتی بافت، آنتوسیانین کل، مولفه های قرمزی و روشنایی دانه های انار مشاهده شد و از طرفی درصد افت وزن افزایش یافت. به طور کلی بر اساس نتایج بهینه یابی تمامی آزمون های مورد مطالعه، این نتیجه حاصل شد که بسته بندی دانه های انار آماده مصرف تحت اتمسفر اصلاح شده (با غلظت گاز اکسیژن ۷٪) در دمای ۵ درجه سانتیگراد به مدت ۱۱ روز بالاترین سطح ویژگی های کیفی را حفظ می نماید.

#### ۵- منابع

[1] Ghasemnezhad, M., Zareh, S., Rassa, M., and Sajedi, R.H. 2012. Effect of chitosan coating on maintenance of aril

#### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش برخی از مهم ترین فاکتورهای کیفی دانه های انار آماده مصرف از جمله رنگ و سفتی بافت مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین بهترین شرایط بسته بندی جهت ماندگاری و حفظ خصوصیات کیفی دانه های انار از روش سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی استفاده گردید. نتایج نشان داد که پاسخ دانه های انار تازه طی مدت ماندگاری، بسته به روش بسته بندی متفاوت می باشد. رنگ از فاکتورهای کیفی مهم در محصولات تجاری و پذیرش مصرف کننده می باشد و در میوه های غنی از آنتوسیانین مانند انار به طور عمده تحت تاثیر غلظت آنتوسیانین (رنگدانه اصلی) قرار می گیرد و عوامل بسیاری از جمله pH و آنزیم بر پایداری رنگدانه آنتوسیانین موثر می باشد. با توجه به نتایج آزمون های فیزیکوشیمیایی، در مجموع بسته بندی اتمسفر اصلاح شده به دلیل داشتن آنتوسیانین بالا و سفتی مطلوب نسبت به بسته بندی وکیوم و هوای معمولی (شاهد) بسیار موثرتر عمل نموده است. بسته بندی وکیوم علیرغم کمترین افت وزنی به جهت نرمی بافت و احتمال ایجاد متابولیسیم های تخمیری که آرومای نامناسب و بی رنگ شدن را به دنبال خواهد داشت،

- [12] Zhang, M., Xiao, G., Peng, J., and Salokhe, V.M. 2003. Effect of modified atmosphere package on preservation of strawberries. *International Agrophysics*, 17:143-148.
- [13] Bieganska-Marecik, R., Czapski, J., and Czaczyk, K. 2004. The effect of modified atmosphere packaging on the quality of minimally processed apples. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*, 7:16.
- [14] Ayhan, Z., and Eştürk, O. 2009. Overall Quality and Shelf Life of Minimally Processed and Modified Atmosphere Packaged "Ready-to-Eat" Pomegranate Arils. *Journal of Food Science*, 74(5):399-405
- [15] Gil, M.I., Artés, F., and Martines, J.A. 1996. Minimally processed pomegranate seeds. *Lebensmittel Wissenschaft and Technologie*, 29: 708-713.
- [16] Caleb, O.J., Opara, U.L., Mahajan, P.V., Manley, M., Mokwena, L., and Tredoux, A.G.J. 2013. Effect of modified atmosphere packaging and storage temperature on volatile composition and postharvest life of pomegranate arils (cv. 'Acco' and 'Herskawitz'). *Postharvest Biology and Technology*, 79: 54-61.
- [17] AOAC. 2002. Official methods of analysis, 17th ed. Washington, DC: Association of Official Analytical Chemist.
- [18] Ayhan, Z., and Eştürk, O. 2009. Overall quality and shelf life of minimally processed and modified atmosphere packaged "ready-to-eat" pomegranate arils. *Journal of Food Science*, 74: 399-405.
- [19] Khoshnoudinia, S., Sedaghat, N., and Radmard Ghadiri, Gh.H. 2014. Effect of gelatin edible coating containing antioxidant agents on hardness, and color of roasted pistachio nuts. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 2(4): 296-310.
- [20] Afshari-Jouybari, H., and Farahnaky, A. 2011. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*, 106: 170-175.
- [21] Ding, P., and Diana, J. 2013. Physico-chemical changes in dabai (*Canarium odontophyllum* Miq.) fruit during modified atmosphere storage. *International Food Research Journal*, 20(6): 3033-3040.
- [22] Khorshidi, Sh. Davarynejad, Gh., Tehranifar, A., and Fallahi, E. 2011. Effect of quality, microbial population and PPO activity of pomegranate (*Punica granatum* L. cv. Tarom) at cold storage temperature, *J Sci Food Agric*; 93(2):368-74
- [2] López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A., and Artés, F. 2005. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest Biology and Technology*, 37: 174-185.
- [3] Maghumi, M. 1392. Packaging aid to change the type of pomegranate consumption. *Packaging Art*, No. 8, page 35.
- [4] Goseili, A., Ghasemkhani, S., and Purmusa, S. 2006. instructions of pomegranate export packaging, Trade Promotion Organization of Iran, PP: 1-36.
- [5] Conte, A., Scrocco, C., Lecce, L., Mastromatteo, M., and Del Nobile, M.A. 2009. Ready-to-eat sweet cherries: Study on different packaging systems. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4):564-571.
- [6] Caleb, O.J., Opara, U.L., and Witthuhn, C.R. 2012. Modified atmosphere packaging of pomegranate fruit and arils: A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 15-30.
- [7] Zaouay, F., Mena, P., Garcia-Viguera, C., and Mars, M. 2012. Antioxidant activity and physico-chemical properties of Tunisian grown pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. *Industrial Crops and Products*, 40: 81-89.
- [8] Ahmadi, M., Davarynejad, G.H., Azizi, M., Sedaghat, N., and Tehranifar, A. 2008. Effect of Modified Atmosphere Packaging on Quality Properties and Storability Extending in Two Sour Cherry Cultivars. *Journal of Horticultural Science (Agricultural Sciences and Technology)*, 22(2): 156-166.
- [9] Blakistone, B.A. 1999. Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods. 2<sup>nd</sup> ed. Aspen Publishers. New York.
- [10] Rocha, A.M.C.N., Coulon, E.C., and Morais, A.M.M.B. 2013. Effects of vacuum packaging on the physical quality of minimally processed potatoes. *Food Service Technology*, 3(2): 81-88.
- [11] Chiabrando, V., and Giacalone, G. 2009. Quality changes of blueberry fruit under modified atmosphere packaging. *Industrie Alimentari*, 48 (497):15-20.

- [33] Petersen, M.B., and Poll .L. 1999. The influence of storage on aroma, soluble solids, acid and colour of sour cherries (*Prunus cerasus* L.) cv. Stevnsbær. *European Food Research and Technology*, 209: 251–256.
- [34] Artes-Hernandez, F., Artes, F., and Tomas-Barberan, F.A. 2003. Quality and enhancement of bioactive phenolics in cv, Napoleon table grapes exposed to different postharvest gaseous treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51:5290-5295.
- [35] D'Aquino, S., Palma, A., Schirra, M., Continella, A., Tribulato, E., and Malfa, S.L. 2010. Influence of film wrapping and fludioxonil application on quality of pomegranate fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 55: 121-128.
- [36] Alighourchi, H., and Barzegar, M. 2009. Some physicochemical characteristics and degradation kinetic of anthocyanin of reconstituted pomegranate juice during storage. *Journal of Food Engineering*, 90: 179-185.
- [37] Wrolstad, R.E., Putnam, T.P., and Varseveld, G.W. 1970. Color quality of frozen strawberries: effect of anthocyanin, pH, total acidity and ascorbic acid variability. *Journal of Food Science*, 35: 448–452.
- [38] Tavasoli, S. 2014. Effect of modified atmosphere packaging on some physicochemical properties and shelf life of pomegranate arils. Msc Thesis, Tarbiat Modarres University.
- [39] Hess-Pierce, B., and Kader, A.A. 2003. Responses of 'Wonderful' Pomegranates to Controlled Atmospheres. Proc. 8th Int. Controlled Atmospheres Conference.
- [40] Diaz-Mula, H.M., Martinez-Romero, D., Castillo, S., Serrano, M., and Valero, D. 2011. Modified atmosphere packaging of yellow and purple plum cultivars. 1. Effect on organoleptic quality. *Postharvest Biology and Technology*, 61: 103-109.
- [41] Pesis, E., Aharoni, D., Aharon, Z., Ben-Arie, R., Aharoni, N., and Fuchs, Y. 2000. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. *Postharvest Biology Technology*, 19: 93–101.
- [42] Martínez-Romero, D., Guillén, F., Castillo, S., Valero, D., and Serrano, M., 2003. Modified atmosphere packaging maintains modified atmosphere packaging on chemical composition, antioxidant activity, anthocyanin, and total phenolic content of cherry fruits. *Horticulture and Environment Biotechnology*, 52:471-481.
- [23] Nyanjage, M.O., Nyalala S.P.O., Illa A.O., Mugo B.W., Limbe A.E., and Vulimu E.M. 2005. Extending postharvest life of sweet pepper (*Capsicum annum* L. 'California Wonder') with modified atmosphere packaging and storage temperature. *Agriculture Tropica ET Subtropica*, 38(2): 28–34.
- [24] Suparlan, and Itoh, K., 2003. Combined effects of Hot water treatment (HWT) and modified atmosphere packaging (MAP) on quality of tomatoes. *Packaging Technology and Science*, 16 (4):171–178.
- [25] Sandhya. 2010. Modified atmosphere packaging of fresh produce. *LWT- Food Science and Technology*, 43:381–392.
- [26] Artés, F., Villaescusa, R., and Tudela, J.A. 2000. Modified atmosphere packaging of pomegranate. *Journal of Food Science*, 65(7): 1112–1116.
- [27] Holcroft, D.M., and Kader, A.A. 1999. Controlled atmosphere-induced changes in pH and organic acid metabolism may affect color of stored strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 17(1999):19–32.
- [28] Rungsinee, S., and Patrati, R. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 407-415.
- [29] Mikal, E.S. 2004. Respiratory metabolism. US: University of California, Davis.
- [30] Giacalone, G., and Chiabrando, V. 2013. Modified atmosphere packaging of sweet cherries with biodegradable films. *International Food Research Journal*, 20: 1263-1268.
- [31] Nunes, M.C.N., and Morais, A.M.M.B. 1995. Quality of Strawberries after Storage in Controlled atmospheres at above optimum storage temperatures. Proc. Fla. State Hort. Soc, 108:273-278.
- [32] Tian, Sh., Jiang, A., Xu, Y., and Wang, Y. 2004. Response of physiology and quality of sweet cherry fruit to different atmospheres in storage. *Food Chemistry*, 87: 43-49.

packaging material on pomegranate juice colour and bioactive compounds during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 639-644. [45] Remón, S., Ferrer, A., Lopez-Buesa, P., and Oria, R. 2004. Atmosphere composition effects on Burlat cherry colour during cold storage. *Journal Science Food Agricultural*, 84:140–146.

quality of table grape. *Journal of Food Science*, 68 (5):1838–1843.

[43] Amorós, A., Pretel, M.T., Zapata, P.J., Botella, M.A., Romojaro, F., and Serrano, M. 2008. Use of modified atmosphere packaging with microperforated polypropylene films to maintain postharvest loquat quality. *Food Science Technology*, 14: 95–103.

[44] Pérez-Vicente, A., Serrano, P., Abella'n, P., and García-Viguera, C. 2004. Influence of

## Evaluation of color and texture characteristics of "ready to eat" pomegranate arils during storage and optimization of packaging conditions using response surface methodology (RSM)

Ghorbani, M.<sup>1</sup>, Sedaghat, N.<sup>2\*</sup>, Milani, E.<sup>3</sup>, Koocheki, A.<sup>2</sup>

1. MSc student, Department of Food Science, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science, College of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Food Processing, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR) of Mashhad, Iran.

(Received: 2014/10/06 Accepted: 2014/12/25)

Production of "Ready to eat" pomegranate arils in addition to unique sensory and nutritional properties, provides the possibility of increasing the pomegranate consumption. Color and texture are two important characteristics in consumer acceptance. The present study investigated the effect of packaging type include vacuum packaging (%0), modified atmosphere (%10) and normal atmosphere packaging (%21), storage temperature (4,12,20°C) and storage time (4,10,16 days) on weight loss, pH, total anthocyanin content, color properties (computer vision system) and hardness of pomegranate arils. The extracted pomegranate arils packed with gas concentrations of oxygen (%0-10-21) and then samples were in different temperatures for 16 days. Based on the results, the lowest of weight loss was in vacuum packaging, the highest of total anthocyanin content and optimal hardness were in the modified atmosphere packaging. The stability of anthocyanin in vacuum packaging decreased with increasing pH. Effect of packaging type on color components of  $L^*$ ,  $a^*$  was not significant ( $p > 0.05$ ); However, the redness component ( $a^*$ ) decreased during storage that was highly correlated with decreasing of total anthocyanin. The anthocyanin pigment is responsible for red color of pomegranate arils. The results showed that the weight loss increased with increasing storage time and temperature and other quality characteristics such as pH, hardness, total anthocyanin content decreased. Modified atmosphere packaging was demonstrated the best type of packaging and also based on optimization results, the best of oxygen concentration, temperature and storage time for maintaining of pomegranate arils is, respectively, %7, 5°C and 11 days.

**Key words:** Pomegranate aril, Modified atmosphere packaging, Color characteristics, Hardness, Response surface methodology

---

\* Corresponding Author E-mail Address: sedaghat@um.ac.ir