



بررسی تاثیر پوشش خوراکی کیتوزان و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده بر بهبود ویژگی‌های کیفی و افزایش زمان ماندگاری فلفل‌دلمه‌ای

اکرم قهرمانی چرمهینی^{۱*} و ناصر صداقت^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۷

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۲ دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد

*مسئول مکاتبه: Email: Ghahramaniakram203@gmail.com

چکیده

زمینه‌مقدماتی: فلفل‌دلمه‌ای حاوی مواد مغذی موثر بر پیشگیری و درمان بسیاری از بیماری‌ها می‌باشد. چروکیدگی، از دست دادن آب و کاهش ویتامین‌ها پس از برداشت موجب کاهش کیفیت ظاهری و ارزش غذایی آن می‌گردد. هدف: هدف از این پژوهش افزایش ویژگی‌های کیفی و عمر ماندگاری فلفل‌دلمه‌ای با استفاده از پوشش‌دهی و تکنیک‌های بسته‌بندی می‌باشد. **روش کار:** در این تحقیق از متدولوژی سطح پاسخ و طرح مرکب مرکزی به منظور بررسی اثر کیتوزان (۰-۱ درصد)، غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی (۳-۲۱ درصد)، درجه حرارت نگهداری (۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان انبارداری (۵-۴۵ روز) بر پارامترهای درصد کاهش وزن، سفتی بافت، ویتامین C و خواص رنگی (L^* ، a^* و b^*) استفاده شد. فلفل‌ها پس از ضدعفونی با محلول هیدروکلرید سدیم به مدت ۳۰ ثانیه در محلول‌های کیتوزان ۰/۵ درصد و ۱ درصد غوطه‌ور و سپس تحت سه غلظت گاز اکسیژن (۳٪، ۱۲٪ و ۲۱٪) بسته‌بندی و در دماهای مختلف به مدت ۴۵ روز نگهداری شدند. **نتایج:** نتایج نشان داد که غلظت کیتوزان اثر قابل‌توجهی بر کاهش وزن و سفتی بافت فلفل نداشت. ولی حفظ ویتامین C در نمونه‌ها با افزایش غلظت کیتوزان افزایش یافت. افزایش این ماده تا ۰/۵ درصد موجب افزایش مولفه L^* شد. با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته‌بندی، یک روند کاهشی در استحکام بافت و محتوای ویتامین C مشاهده شد. نتایج نشان داد تغییر در غلظت گاز اکسیژن اثر قابل‌توجهی بر وزن نمونه‌ها و روشنایی رنگ نداشت. با افزایش غلظت گاز اکسیژن مولفه a^* کاهش و مولفه b^* افزایش یافت، ولی افزایش غلظت کیتوزان موجب کاهش مولفه b^* شد. پذیرش نمونه‌ها از نظر بافت، آروما، تازگی، طعم و مزه و پذیرش کلی محصول تحت شرایط نگهداری با اکسیژن بالاتر کمتر بود. **نتیجه‌گیری نهایی:** بر اساس نتایج بهینه‌یابی بهترین غلظت پوشش کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن، دما، زمان به ترتیب، ۰/۶٪، ۰/۱۲٪، ۱۱/۸°C و ۲۱ روز به دست آمد.

واژگان کلیدی: اتمسفر اصلاح‌شده، فلفل‌دلمه‌ای، کیتوزان، روش سطح پاسخ

مقدمه

فلفل دلمه‌ای با نام علمی *Capsicum annuum* L. متعلق به خانواده *Solanaceae* یکی از محصولات کشاورزی مورد توجه در کشورهای مختلف به ویژه منطقه خاورمیانه می‌باشد. اهمیت این محصول نه تنها به دلیل اهمیت اقتصادی آن، بلکه عمدتاً به دلیل این واقعیت است که منبع بسیار خوبی از اسید آسکوربیک می‌باشد. این نوع فلفل دارای مقادیر قابل توجهی فیبر غیر محلول است که می‌تواند در پیشگیری و درمان بیماری‌های گوارشی مانند یبوست نقش بسزایی داشته باشد (پارک و همکاران ۱۹۹۸). همچنین فلفل دلمه‌ای منبع غنی از ویتامین‌های C، A و آنتی‌اکسیدان لیکوپن است که می‌تواند در پیشگیری از بسیاری سرطان‌ها موثر باشد. علی‌رغم فواید غذایی، برخی از خصوصیات فلفل دلمه‌ای می‌تواند تولید کنندگان این محصول را با محدودیت‌هایی مواجه سازد. برای مثال چروکیدگی و از دست دادن آب و متعاقب آن کاهش ویتامین‌ها در فلفل از مواردی هستند که در بازه زمانی برداشت تا عرضه به مصرف کننده موجب کاهش کیفیت ظاهری و ارزش غذایی آن می‌گردند. از راهکارهای حل این مشکل می‌توان به استفاده از روش‌های بسته‌بندی ارتقاء یافته، شرایط نگهداری بهینه و تیمار با مواد نگهدارنده اشاره نمود (گوئرا و همکاران ۲۰۱۱).

بسته‌بندی از روش‌های ساده و موثر برای محافظت از سبزیجات و میوه‌ها می‌باشد که موجب محافظت در مقابل نفوذ عوامل خارجی و همچنین حفظ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی می‌شود (اجاق و همکاران ۲۰۱۰). امروزه بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده به طور گسترده‌ای جهت افزایش ماندگاری میوه‌ها و سبزیجات تازه مورد استفاده قرار گرفته است.

از روش‌های دیگر در بهبود ماندگاری سبزیجات تازه، کاربرد پوشش‌های خوراکی می‌باشد که دارای خاصیت ضدباکتریایی، مانع کننده مهاجرت رطوبت و گاز می‌باشند که در این میان، کیتوزان به دلیل دارا بودن خصوصیات از قبیل غیر سمی، زیست تخریب پذیر و

زیست سازگار بودن کاربرد گسترده‌ای در ماندگاری فلفل‌دلمه‌ای داشته است. بعلاوه افزودن اسانس‌های روغنی به پوشش خوراکی به عنوان یک نگهدارنده طبیعی می‌تواند خاصیت ضد باکتریایی پوشش را افزایش دهد. در مطالعه دوآن و همکاران (۲۰۰۹) خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی فیلم‌های ساخته شده از کیتوزان بررسی شد. همچنین در این تحقیق خواص منحصر به فرد کیتوزان نظیر زیست تخریب پذیری، فعالیت ضد میکروبی و غیر سمی بودن آن بررسی و مشخص شد که کیتوزان نسبت به کیتین (ماده اولیه) حلالیت و فعالیت ضد باکتریایی بهتری دارد. یکی از دلایل خاصیت ضد میکروبی کیتوزان وجود گروه آمین در کیتوزان پیشنهاد شده است که با داشتن بار مثبت با بار منفی غشاهای سلول میکروبی واکنش داده و منجر به نشت مواد درون سلول میکروارگانیسم‌ها می‌شود (دوآن و همکاران، ۲۰۰۹). طبق بررسی‌های اجاق و همکاران (۲۰۱۰) پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین موجب حفظ خواص کیفی و افزایش ماندگاری در نمونه‌های ماهی شد (اجاق و همکاران ۲۰۱۰).

علیرغم تحقیقات گسترده در زمینه بهبود کیفیت و افزایش ماندگاری فلفل‌دلمه‌ای در خارج از کشور متأسفانه در کشور ما تحقیقات زیادی در زمینه افزایش زمان ماندگاری این محصول با استفاده از بسته‌بندی و پوشش‌های خوراکی انجام نشده است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش خوراکی کیتوزان در ترکیب با دماها و زمان‌های مختلف به منظور حفظ خصوصیات کیفی و افزایش مدت زمان ماندگاری فلفل دلمه‌ای بود.

مواد و روش‌ها

فلفل دلمه‌ای از گلخانه‌ای در اطراف مشهد تهیه گردید. پلاستیک سه لایه از جنس پلی‌اتیلن/پلی‌آمید/پلی‌اتیلن به ضخامت ۸۰ میکرون (از کلینیک بسته بندی مواد غذایی ایران تهیه شد. پودر کیتوزان با درجه استیلایسیون ۷۵

تا ۸۰ درصد و وزن مولکولی ۵۰۰۰۰۰ دالتون از شرکت سیگما آلدریچ تهیه شد. گزین، استیک-اسید، اگزالیک اسید، متافسفریک اسید، ۲،۶-کلروفنل ایندوفنل از مرک آلمان خریداری شد.

آماده‌سازی پوشش کیتوزان

برای تهیه محلول کیتوزان ۰/۵٪ و ۱٪ به ترتیب ۵ و ۱۰ گرم پودر کیتوزان w/v در اسید استیک ۱٪ v/v حل شد و حجم آن به ۱۰۰۰ میلی لیتر رسانده شد. pH نهایی محصول به وسیله NaOH ۰/۱ مولار به ۵/۶ تنظیم شد (دولییگر و همکاران ۲۰۰۴).

آماده‌سازی نمونه‌ها

فلفل‌ها به وسیله محلول هیدروکلرید سدیم (۱۰۰ پی پی ام) در آب ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی شد و سپس با آب معمولی ۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه شستشو داده شد. در بسته بندی از پوشش کیتوزان (فاقد پوشش، ۰/۵ و ۱ درصد) استفاده شد. سپس نسبت‌های مشخص گاز به وسیله دستگاه مخلوط-کننده گاز مپ (Henkelman، مدل Gustav Muller and Co., Bad Homburg, Henkelman, Germany) تهیه و درون بسته‌ها به دو روش فعال (۵٪ اکسیژن + ۹۵٪ نیتروژن، ۱۰٪ اکسیژن + ۹۰٪ نیتروژن وزنی) و غیر فعال (ترکیب هوای معمولی به عنوان نمونه شاهد که شامل ۲۱٪ اکسیژن + ۷۸٪ نیتروژن، ۰/۳٪ دی اکسید کربن، ۰/۹٪ آرگون وزنی است) تزریق شد. در این تحقیق از دماهای مختلف (۵، ۱۲/۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد) در مدت انبارداری (۵، ۲۵ و ۴۵ روز) استفاده گردید.

بررسی تغییرات وزن

ابتدا نمونه‌ها بوسیله ترازو وزن و سپس بسته بندی شدند. بعد از مدت انبارش (۵، ۲۵ و ۴۵ روز) مجدداً وزن شدند تا میزان تغییرات وزن نمونه‌ها بدست آید (گنزالز-آگیولار و همکاران ۲۰۰۴). کاهش وزن با توجه به معادله ۱ محاسبه گردید.

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

رابطه (۱)

در رابطه بالا، W_L درصد کاهش وزن، W_0 وزن اولیه (گرم) در روز صفر، W_F وزن نهایی فلفل دلمه‌ای پس از باز شدن بسته در روز آزمون (کالب و همکاران ۲۰۱۳)

آزمون سنجش سفتی بافت

جهت سنجش بافت از دستگاه آنالیزور بافت (مدل تاپلاس ساخت کشور انگلستان) استفاده شد. ار پروب استوانه‌ای تخت با قطر ۲ میلی‌متر استفاده شد. فک دستگاه، با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه با عمق نفوذ ۲۰ میلی‌متر تنظیم گردید. بیشترین نیروی لازم جهت فرو رفتن پروب در داخل محصول تحت عنوان سفتی (بر حسب نیوتن) گزارش گردید (گنزالز-آگیولار و همکاران ۲۰۰۴).

آزمون تغییرات رنگ

در این پژوهش از روش پردازش تصویر کامپیوتری (computer vision system (CVS)) برای بررسی رنگ استفاده شد. اندازه‌گیری رنگ نمونه با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon, model Powershot A 520) و مدل CIE L*a*b* (CIE LAB) صورت گرفت. این مدل کاملترین مدل رنگی است که رسماً برای توصیف همه رنگ‌های قابل مشاهده توسط چشم انسان بکار برده می‌شود و با سه فاکتور L^* (وشنی/تیرگی)، a^* (قرمز/سبز) و b^* (زرد/آبی) سنجش می‌شود. برای اندازه‌گیری رنگ باید ابتدا از نمونه‌ها زیر نور مناسب عکس‌برداری شود. برای این‌کار از دوربین دیجیتال (Canon, model Powershot A 520) استفاده شد. برای تصویرگیری نیز از اتاقکی که دیواره‌های آن با پارچه مشکی پوشیده شده بود (این‌کار از بازتاب نور جلوگیری می‌کند) استفاده شد. برای ایجاد نور نیز از پنج لامپ فلورسنت استفاده شد. دوربین در فاصله ۲۵ سانتی‌متری نمونه‌ها و موازی با آنها روی پایه ثابت شد. دوربین با پورت USB به رایانه متصل شد و تصویرگیری با نرم‌افزار ZoomBrowser EX 5.0 انجام شد. تصویرهای گرفته شده با فرمت JPEG ذخیره و توسط نرم‌افزار Photoshop CS6 مورد

مرکزی متمرکز شده (FCCD) با شش تکرار در نقطه مرکزی طرح، اثر متغیرهای مستقل غلظت کیتوزان، غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی، دمای نگهداری و زمان انبارداری بر متغیرهای وابسته کاهش وزن، سفتی بافت، خواص رنگی، ویتامین C، خواص حسی (بافت، طعم، آروما، تازگی، پذیرش کلی) بررسی شد. جهت تعیین نقطه بهینه از روش بهینه یابی عددی نرم افزار استفاده گردید. بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مدل چند جمله‌ای درجه دوم برازش داده شد.

نتایج و بحث

مدل سازی RSM و گزینش مدل مناسب

به منظور حصول مدل‌های تجربی برای پیش بینی هر کدام از پاسخ‌ها (کاهش وزن، سفتی بافت، مولفه های رنگ (L^* ، a^* و b^*) و خواص حسی شامل (بافت، طعم و مزه، بو، تازگی محصول و پذیرش کلی) رابطه‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم بر داده‌های به دست آمده از آزمایش‌ها برازش شدند. سپس این مدل‌ها مورد آنالیز آماری قرار گرفتند تا مدل مناسب گزینش گردد. معنی‌داری آماری مدل‌ها با استفاده از آزمون F و مقدار احتمال p بررسی شدند. هر چه مقدار مطلق F بزرگتر و مقدار p کوچکتر باشد، میزان معنی‌داری بیشتر خواهد بود. از نظر آماری مدلی مناسب است که آزمون ضعیف برازش آن معنی‌دار نبوده و دارای بالاترین مقدار R^2 و R^2 اصلاح شده باشد. برای یک مدل با برازش خوب، مقدار R^2 بایستی حداقل ۰/۸ باشد. نتایج آزمون ضعیف برازش و ارزیابی صحت مدل‌های برازش شده به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ خلاصه شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، آزمون ضعیف برازش مربوط به مدل‌های چند جمله‌ای درجه دوم برازش یافته بر داده‌های پاسخ در سطح آلفا برابر ۰/۰۵ معنی‌دار نمی‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز آماری، مدل چند جمله‌ای درجه دوم گزینش شده و بر داده‌های پاسخ

تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مناطقی که رنگ آن مد نظر بود انتخاب و فیلتر Blur/average روی آن اعمال شد و سپس مقادیر a^* ، L^* و b^* از پنجره info تعیین شد (گنزالز-آگیولار و همکاران ۲۰۰۴).

آزمون سنجش اسید اسکوربیک (ویتامین C)

استخراج اسید اسکوربیک، در حضور محلول اسید اگزالیک و یا محلول اسید متافسفوریک به همراه اسید استیک می‌باشد. محلول رنگی ۲ و ۶- دی کلروفنل ایندوفنل که توسط اسید اسکوربیک احیا و استخراج اضافی آن توسط گزین صورت و تعیین این مقدار اضافی محلول رنگی توسط دستگاه طیف سنج در طول موج 500 نانومتر انجام گرفت. برای این منظور، ۳ گرم نمونه همگن شده با ۱۵ میلی لیتر محلول تری کلرواستیک-اسید ۵ درصد مخلوط و پس از همگن شدن، مخلوط صاف گردید. ۵ میلی لیتر از محلول صاف شده در لوله آزمایش ریخته شد و به آن ۰/۵ میلی لیتر از ترکیب ۲،۶ دی کلروانیدوفنل اضافه شد. میزان ویتامین C بر حسب میلی‌گرم در صد گرم بیان شد (استاندارد ملی ایران، شماره ۵۶۰۹).

ارزیابی حسی

در ارزیابی حسی ۱۰ نفر از دانشجویان علوم و صنایع غذایی دانشکده کشاورزی مشهد با حدود سنی ۲۳-۳۰ سال به عنوان داور شرکت کردند. از روش مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱= بسیار بد، ۲= بد، ۳= نه خوب نه بد، ۴= خوب و ۵= بسیار خوب) استفاده شد. هر داور قطعه‌ای به ابعاد ۱×۱×۱ سانتیمتر از نمونه (از هر تیمار یک قطعه) که توسط کد تفکیک شده بودند را بصورت تصادفی و انفرادی تست کرده و خواص حسی شامل بافت، طعم، مزه، آروما، تازگی محصول و پذیرش کلی محصول را مورد بررسی قرار دادند (صداقت و همکاران ۱۳۸۹).

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق، با استفاده از نرم افزار Design Expert (Stat-Ease Inc., Minneapolis, USA) و طرح مرکب

برازش داده شد. پس از برازش مدل، رابطه‌های به‌دست-آمده در معرض الگوریتم Stepwise قرار گرفتند. با استفاده از الگوریتم مذکور، جملات مدل که از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نبودند حذف شده و در نتیجه تعداد جملات مدل کاهش داده شد (جدول ۳).

جدول ۱- نتایج آزمون ضعف برازش مدل‌های برازش یافته بر داده‌های پاسخ

Table 1- results of fit models adapted to the response data

Dependent variable	Source of variables	Sum of squares	degrees of freedom	index F	index p for Lack of fit
Weight loss	Linear	6094.53	4	9.24	0.0014
	Quadratic model	77.08	4	46.49	0.068 ^{ns}
Vitamin C	Linear	7456.8	4	56.32	0.0003
	Quadratic model	477.36	4	65.64	0.137 ^{ns}
Hardness	Linear	9.18	4	8.14	0.0001
	Quadratic model	4.82	4	273.61	0.098 ^{ns}
L*	Linear	233.67	4	1.39	0.0040
	Quadratic model	775.28	4	39.09	0.170 ^{ns}
a*	Linear	1088.06	4	6.95	0.0002
	Quadratic model	329.93	4	37.94	0.0642 ^{ns}
b*	Linear	81.44	4	2.22	0.0083
	Quadratic model	32.62	4	6.57	0.249 ^{ns}
Texture	Linear	20.69	4	11.87	0.0135
	Quadratic model	7.13	4	14.27	0.111 ^{ns}
Flavor	Linear	20.42	4	5.65	0.0023
	Quadratic model	13.43	4	42.85	0.176 ^{ns}
Aroma	Linear	25.88	4	6.15	0.0072
	Quadratic model	12.88	4	13.44	0.0940 ^{ns}
Freshness	Linear	26.42	4	8.55	0.0049
	Quadratic model	11.75	4	15.99	0.0709 ^{ns}
Overall acceptability	Linear	22.08	4	6.43	0.0008
	Quadratic model	9.96	4	30.41	0.0608 ^{ns}

ns: No significant difference at 95% level

جدول ۲- نتایج آنالیز آماری مدل برازش یافته درجه دوم بر داده‌های پاسخ

Table 2- statistical analysis of the second-class fitted model on the response data

Source of variables	Mean	Standard Deviation	R ²	Modified R ²
Weight loss	15.14	3.63	0.98	0.96
Vitamin C	71.13	1.35	0.99	0.99
Hardness	7.01	0.06	0.99	0.99
L*	47.52	2.23	0.94	0.89
a*	-24.28	1.47	0.98	0.97
b*	30.86	1.11	0.94	0.88
Texture	3.91	0.35	0.95	0.89
Flavor	3.72	0.28	0.97	0.95
Aroma	3.69	0.49	0.93	0.87
Freshness	3.74	0.43	0.94	0.89
Overall acceptability	3.86	0.29	0.97	0.94

جدول ۳- خلاصه نتایج آماری مدل برازش یافته درجه دوم کاسته

Table 3- Summary the statistical results of the second-order fit

Source of variables	Mean	Standard Deviation	CV	R ²	Modified R ²
Weight loss	15.14	4.08	26.92	0.96	0.92
Hardness	7.01	0.066	0.94	0.995	0.993
Vitamin C	71.13	1.35	1.90	0.995	0.993
L*	47.52	2.11	4.44	0.94	0.90
a*	-24.28	1.47	-6.05	0.98	0.97
b*	30.86	1.25	4.04	0.90	0.85
Texture	3.91	0.32	8.11	0.93	0.91
Flavor	3.72	0.30	8.11	0.95	0.94
Aroma	3.69	0.46	12.46	0.92	0.88
Freshness	3.74	0.44	11.90	0.91	0.88
Overall acceptability	3.86	0.27	7.07	0.97	0.95

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر کاهش وزن فلفل سبز بسته بندی شده

تأثیر متغیرهای مستقل بر درصد کاهش وزن محصول بسته بندی شده در شکل ۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود دما و زمان نگهداری تأثیر عمده‌ای بر کاهش وزن محصول بسته بندی شده داشته است ($p < 0.001$). در حالیکه اثرات خطی کیتوزان و گاز اکسیژن بر این پارامتر طی نگهداری معنی‌دار نبود. نتایج نشان می‌دهد در غلظت ثابتی از گاز اکسیژن (۱۲٪) و کیتوزان (۰/۵٪) افزایش دمای نگهداری از ۵ تا حدود ۱۲/۵ درجه سانتیگراد، تأثیر زیادی بر روی کاهش وزن محصول داشته، در حالیکه با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتیگراد، درصد کاهش وزن فلفل سبز تغییر قابل توجهی نشان نمی‌دهد (شکل الف-۱). بررسی تأثیر زمان نگهداری بر درصد کاهش وزن محصول نهایی نیز روندی مشابه تأثیر دما نشان داد به طوریکه با گذشت زمان نگهداری از ۵ تا ۲۵ روز، وزن محصول کاهش یافت، تا اینکه در روز ۴۵ ام به کمترین مقدار رسید (شکل الف-۱). دلیل این کاهش وزن در طول زمان بویژه در دماهای بالاتر از دمای یخچال احتمالاً بدلیل افزایش تنفس و تعریق محصول و در نتیجه از دست دادن رطوبت بیشتر می‌باشد. همانطور که ذکر شد نوع بسته بندی (غلظت گاز) تأثیر معنی‌داری بر درصد کاهش وزن فلفل سبز طی شرایط مختلف بسته بندی نداشت ولی اثر

متقابل آن با پوشش کیتوزان در سطح بالایی معنی‌دار بود (شکل ج-۱). همانطور که در شکل ب-۱ مشاهده می‌شود پوشش کیتوزان نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر کاهش وزن محصول بسته بندی شده نداشت ($p > 0.05$) ولی اثر متقابل آن با غلظت گاز و زمان معنی‌دار بود. کاهش وزن می‌تواند با از دست دادن کیفیت، از جمله کاهش سفتی و سایر تغییرات نامطلوب در رنگ، دلیپذیری و از دست دادن کیفیت تغذیه‌ای همراه باشد که به صورت بخار آب از فضاهای هوای داخل میوه به فضای اطراف آن از دست می‌رود. کاهش افت وزن در دماهای پایین به دلیل آهسته بودن فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تنفس و تعرق می‌باشد. درجه حرارت بالا، سرعت تنفس و سایر فرآیندهای متابولیکی را افزایش می‌دهد که باعث کاهش سوبستراهایی مانند قندها و پروتئین‌ها شده و منجر به افت وزن بیشتر می‌گردد (نیانجاگ و همکاران ۲۰۰۵). مرتضوی و همکاران (۱۳۸۵) تأثیر دو نوع بسته بندی تحت خلا و MAP را بر ماندگاری و خواص کیفی خرما بررسی کردند و نشان دادند با افزایش زمان انبارداری درصد کاهش وزن میوه‌ها افزایش یافت. نتایج مشابهی نیز برای صفت چروکیدگی و سفتی بافت میوه‌ها بدست آمد. در تحقیقی دیگر احمدی و همکاران (۱۳۸۷) تأثیر بسته بندی MAP را بر روی نگهداری دو رقم آلبالو بررسی کردند و نشان دادند که افت وزن در نمونه‌های بسته بندی شده تحت MAP نسبت به نمونه شاهد کمتر

مطلوب‌تری برخوردار بودند (شکل ج-۲) بنابراین افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی تاثیر منفی بر سفتی بافت محصول نهایی داشت. بدین ترتیب بیشترین سفتی نمونه‌های فلفل سبز در روزهای اول نگهداری و در دمای یخچال تحت شرایط بسته بندی MAP بود.

یکی از فاکتورهای اصلی مورد استفاده در تعیین کیفیت و عمرماندگاری میوه‌ها و سبزیجاتی مانند فلفل دلمه‌ای سرعت یا مقدار کاهش سفتی بافت آن در طول انبارداری می‌باشد (پاتریسیا و کارلوس ۲۰۰۵). نرم شدن بافت میوه‌ها و سبزیجات به دلیل عوامل بسیاری از جمله از دست دادن فشار سلول، تخریب ترکیبات دیواره سلولی و پلی ساکاریدها می‌باشد (رانگسینی و پاتراتیپ ۲۰۰۸). مانینگ (۱۹۹۳) عنوان کرد که نرم شدن بافت میوه‌ها دلیل تجزیه ترکیبات دیواره سلولی بویژه پکتین‌ها در اثر فعالیت اختصاصی آنزیم‌های پلی گالاکتوروناز و پکتین استراز می‌باشد.

گنزالز-آگویلار و همکارانش (۲۰۰۴)، به مقایسه کارایی روش بسته بندی در خلاء و روش اتمسفر تغییر یافته برای نگهداری فلفل دلمه‌ای تازه پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه، نگهداری فلفل دلمه‌ای برش داده شده با استفاده از روش بسته بندی اتمسفر تغییر یافته نسبت به روش بسته بندی درخلاء، منجر به نقصان کمتر در کیفیت ظاهری و سفتی بافت فلفل دلمه تا ۲۱ روز گردید. کاهش سفتی بافت در طول نگهداری احتمالاً مربوط به گسترش رشد قارچ‌ها و افزایش متابولیسم و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیمی می‌باشد. از سوی دیگر پیری محصول توسط اتیلن نیز شتاب گرفته که منجر به تغییرات قابل توجهی در بافت محصول می‌شود. مارتینز و همکاران (۲۰۰۳) نیز بیان کردند که افزایش غلظت دی اکسید کربن و کاهش غلظت اکسیژن، شدت تنفس و فعالیت‌های متابولیکی میوه‌ها را به حداقل می‌رساند و بسته بندی در اتمسفر اصلاح شده با کاهش یا جلوگیری از فعالیت‌های آنزیم‌های تجزیه‌کننده پکتین موجب حفظ سفتی بافت میوه، کاهش تولید اتیلن و حساسیت به آن، کند

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 و این اختلاف فشار در اثر افزایش دما و کاهش رطوبت بالا می‌رود. آن‌ها گزارش دادند میوه آلبالو پوست نازکی داشته و به سرعت آب خود را از دست می‌دهد بنابراین بسته بندی این میوه با اتمسفر اصلاح شده می‌تواند فشار بخار اطراف میوه‌ها را در حد بالایی حفظ نماید که مانع از دست دادن آب و کاهش وزن میوه‌ها خواهد شد. شیک و همکاران (۲۰۰۲) نیز با استفاده از بسته بندی توانستند از دست رفتن آب گیلان را به طور چشمگیری نسبت به میوه‌های بدون بسته بندی کاهش دهند. در واقع بسته بندی MAP به حفظ سطح بالایی از رطوبت نسبی در بسته کمک کرده و منجر به کاهش از دست دادن وزن می‌گردد.

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان سفتی بافت فلفل سبز بسته بندی شده

تاثیر متغیرهای مستقل بر میزان سفتی بافت فلفل سبز بسته بندی شده در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در غلظت ثابتی از گاز اکسیژن و دمای نگهداری، با گذشت زمان انبارداری بافت فلفل سبز نرمتر شده و نیروی لازم برای نفوذ پروب دستگاه در محصول کاهش یافت، به طوری که نمونه‌های نگهداری شده در روزهای اول دارای بیشترین سفتی بافت بودند (شکل الف-۲). همچنین مشخص شد که پوشش کیتوزان تاثیر معنی داری بر سفتی بافت فلفل سبز نداشت ($p > 0.05$). طبق نتایج، در زمان ثابت انبارداری، افزایش دما نیز منجر به کاهش سفتی بافت محصول شد، طوریکه نمونه‌های نگهداری شده در دمای یخچال دارای بیشترین استحکام بافت بودند (شکل ب-۲).

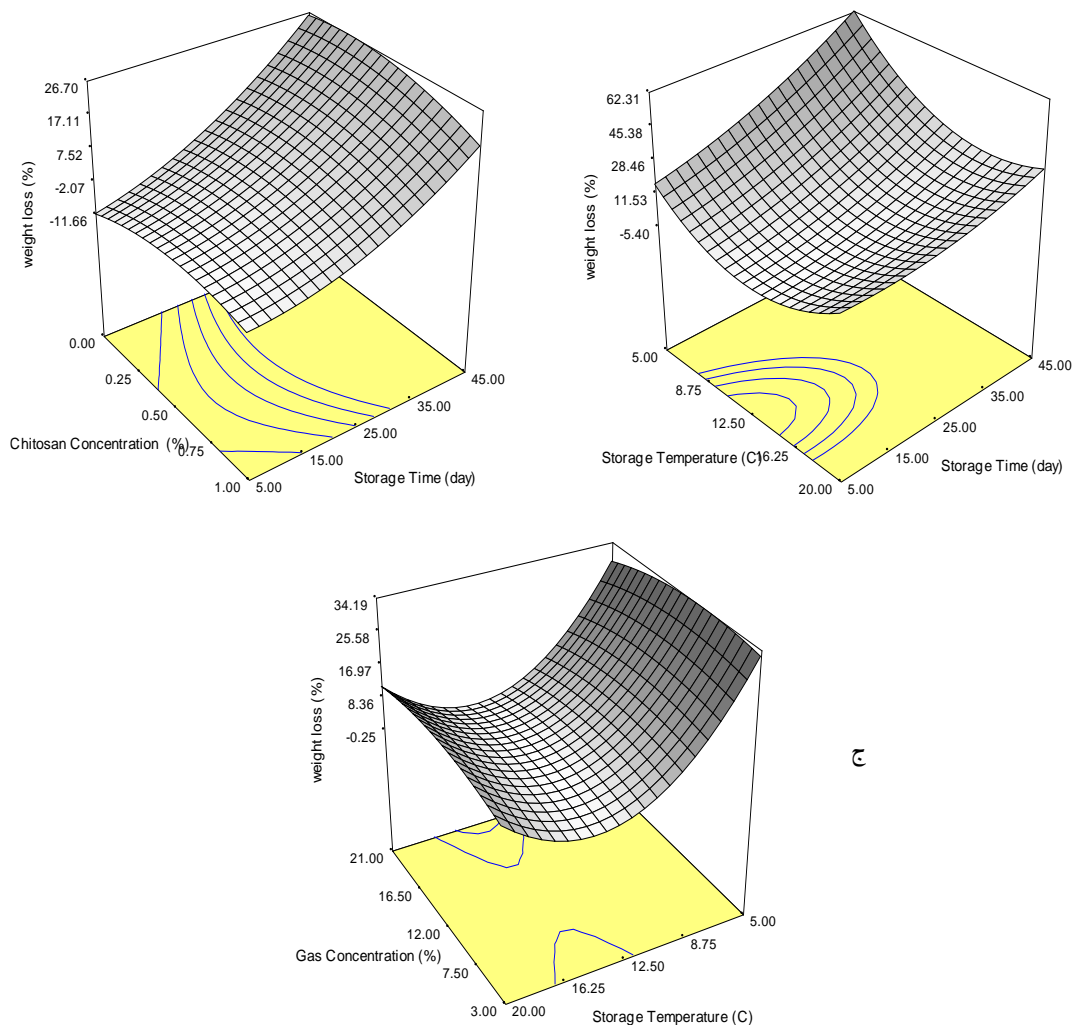
غلظت گاز اکسیژن نیز تاثیر عمده‌ای بر انسجام بافت فلفل سبز بسته بندی شده داشت ($P < 0.01$) بدین معنی که نمونه های نگهداری شده تحت شرایط ۳ و ۱۲ درصد اکسیژن نسبت به بسته بندی معمولی از استحکام بافتی

دیگر به این نتیجه رسیدند که کاهش سفتی بافت خلال-های هلو و شلیل نگهداری شده در ۱۰ درجه سانتیگراد به میزان بیشتر و سریعتر از نمونه های نگهداری شده در دمای صفر و ۵ درجه سانتیگراد بود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

شدن روند نرم شدن میوه شده و رسیدگی را به تاخیر می‌اندازد، همچنین باعث حفظ نگ و ویتامینهای میوه می‌شود. گورنی و همکاران (۱۹۹۸) گزارش دادند که کاهش سفتی بافت در برش‌های تازه گلابی توسط دمای انبارداری و میزان رسیدگی اولیه آن تحت تاثیر قرار گرفت. همچنین گورنی و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقی

الف

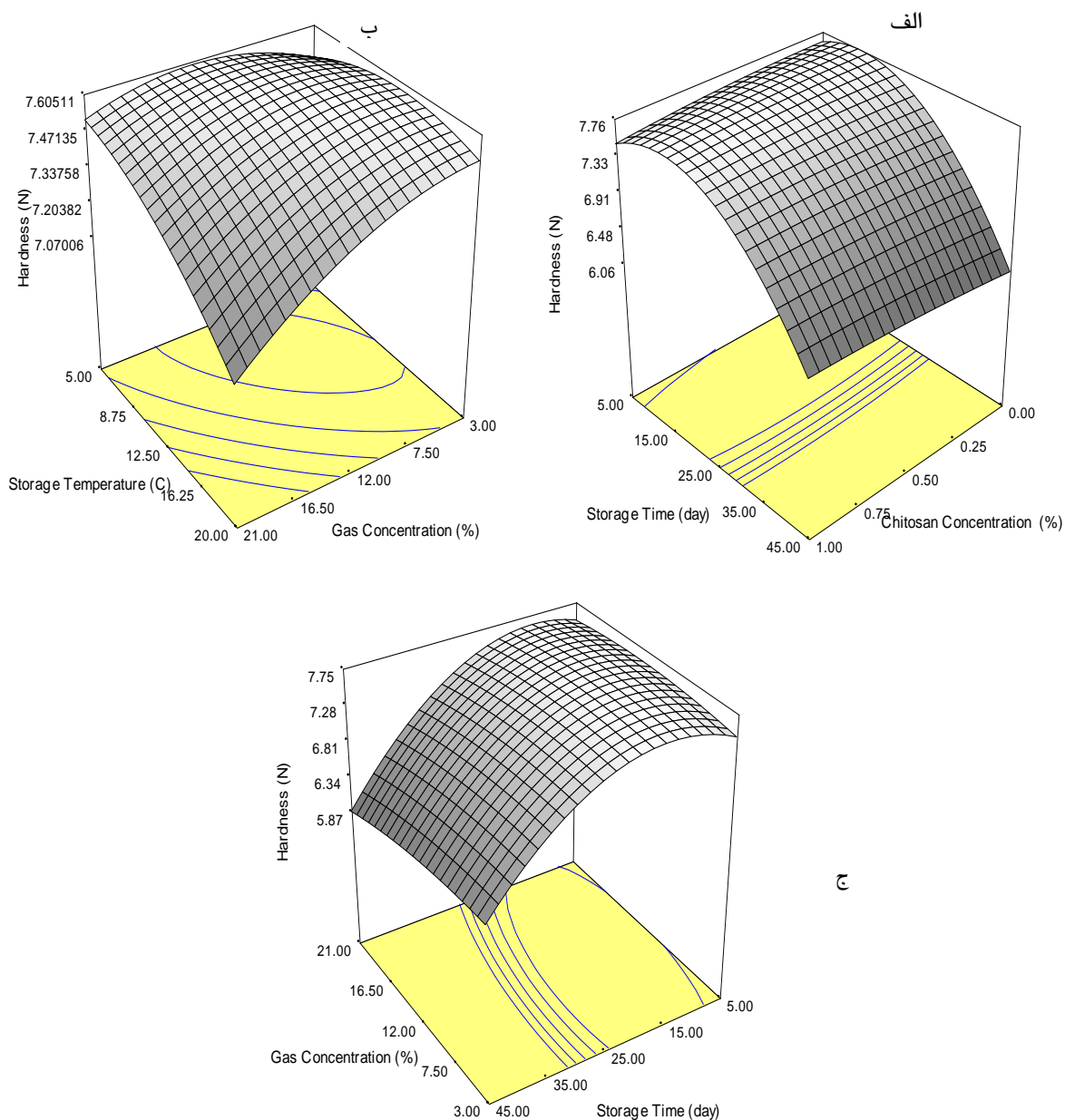
ب



ج

شکل ۱- نمودار سطح پاسخ. (الف) تاثیر زمان و دمای نگهداری (Chitosan=0.5%, GC=12%), (ب) تاثیر زمان نگهداری و پوشش کیتوزان (GC=12%, T=12.5 °C)، (ج) تاثیر دمای نگهداری و غلظت گاز اکسیژن (t=25 days, Chitosan=0.5%) بر درصد کاهش وزن محصول نهایی

Figure 1- Response surface Plot. (A) the effect of storage time and temperature (Chitosan = 0.5%, GC = 12%), (b) the effect of storage time and coating of chitosan (GC = 12%, T = 12.5 °C), (c) the effect of storage temperature and concentration Oxygen gas (t = 25 days, Chitosan = 0.5%) on the percentage of weight loss of the final product



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ. (الف) تاثیر زمان و غلظت کیتوزان ($T=12.5^{\circ}\text{C}$, $\text{GC}=12\%$)، (ب) تاثیر دمای نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($\text{Chitosan}=0.5\%$, $t=25$ days)، (ج) تاثیر زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($T=12.5^{\circ}\text{C}$) بر میزان سفتی بافت محصول نهایی ($\text{Chitosan}=0.5\%$)

Figure 2- Response surface Plot. (A) The effect of time and chitosan concentration ($T = 12.5^{\circ}\text{C}$, $\text{GC} = 12\%$), (b) the effect of storage temperature and oxygen gas concentration ($\text{Chitosan} = 0.5\%$, $t = 25$ days), (c) the effect of storage time and Oxygen gas concentration ($T = 12.5^{\circ}\text{C}$, $\text{Chitosan} = 0.5\%$) on hardness of the final product

تاثیر متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های رنگی فلفل سبز در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس مولفه L^* نشان داد که در بین متغیرهای مستقل فقط اثر خطی

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر ویژگی‌های رنگی فلفل سبز بسته بندی شده

اکسیژن در بسته بندی از ۳ تا ۲۱ درصد میزان مولفه b^* افزایش معنی دار نشان داد ($p < 0/05$). گذشت زمان نگهداری نیز منجر به افزایش مولفه b^* شد بطوریکه بیشترین میزان این مولفه زردی در اواخر دوره نگهداری حاصل شد (شکل ج-۳). از طرفی در شرایط ثابت از نظر گاز اکسیژن (۱۲٪) و زمان نگهداری (۲۵ روز) افزایش غلظت ترکیب پوشش دهنده نیز منجر به کاهش مولفه زردی شده و بیشترین مقدار این مولفه رنگی در نمونه های فلفل سبز بدون پوشش بدست آمد.

رنگ از جمله عوامل مهم و تاثیرگذار در کیفیت ظاهری و بازار پسندی محصولات بسته بندی شده است که تا حد زیادی متاثر از نوع ماده بسته بندی می‌باشد. احمدی و همکاران (۱۳۸۷) تاثیر بسته بندی MAP را بر روی نگهداری دو رقم آلبالو بررسی کردند و مشاهده کردند تغییر در ترکیب گاز موجود در فضای درون بسته بندی تاثیر معنی داری بر مولفه های رنگی نمونه های آلبالو نداشت در حالیکه اثر دمای نگهداری بر روی مولفه L^* معنی دار بود. آلكو و آلونسو (۲۰۰۳) نیز در نتایجشان به تیره‌تر شدن رنگ پوست گیلان در دمای پایین انبار اشاره کردند. بر اساس تحقیقات زینگ و همکاران (۲۰۱۱) تغییرات رنگ برای تمام فلفل‌های پوشش داده شده در مقایسه با نمونه های اولیه ناچیز بود و نمونه های تیمار شده در پایان دوره نگهداری هنوز سبز بودند. پاتریسیا و کارلوس (۲۰۰۵) با بررسی اثر فیلم خوراکی با پایه گلوتن گندم و انواع پوشش‌دهی بر روی خواص کیفی توت فرنگی گزارش دادند که تغییرات رنگ در طول انبارداری پس از برداشت بصورت افزایش رنگ قرمز (a^*) و کاهش رنگ زرد (b^*) مشاهده شد. موحد نژاد و همکاران (۱۳۹۳) نیز تأثیر سه پوشش خوراکی و نانو زیست سازگار شامل نانو کامپوزیت زیستی، فیلم خوراکی کیتوزان و واکس گیاهی کارنوبا را بر خواص کیفی سیب گلدن دلینز بررسی کردند. نتایج خواص رنگی سیب نشان داد که شدت روشنایی L^* در شرایط محیطی روندی نزولی داشته و بیشترین افت مربوط به

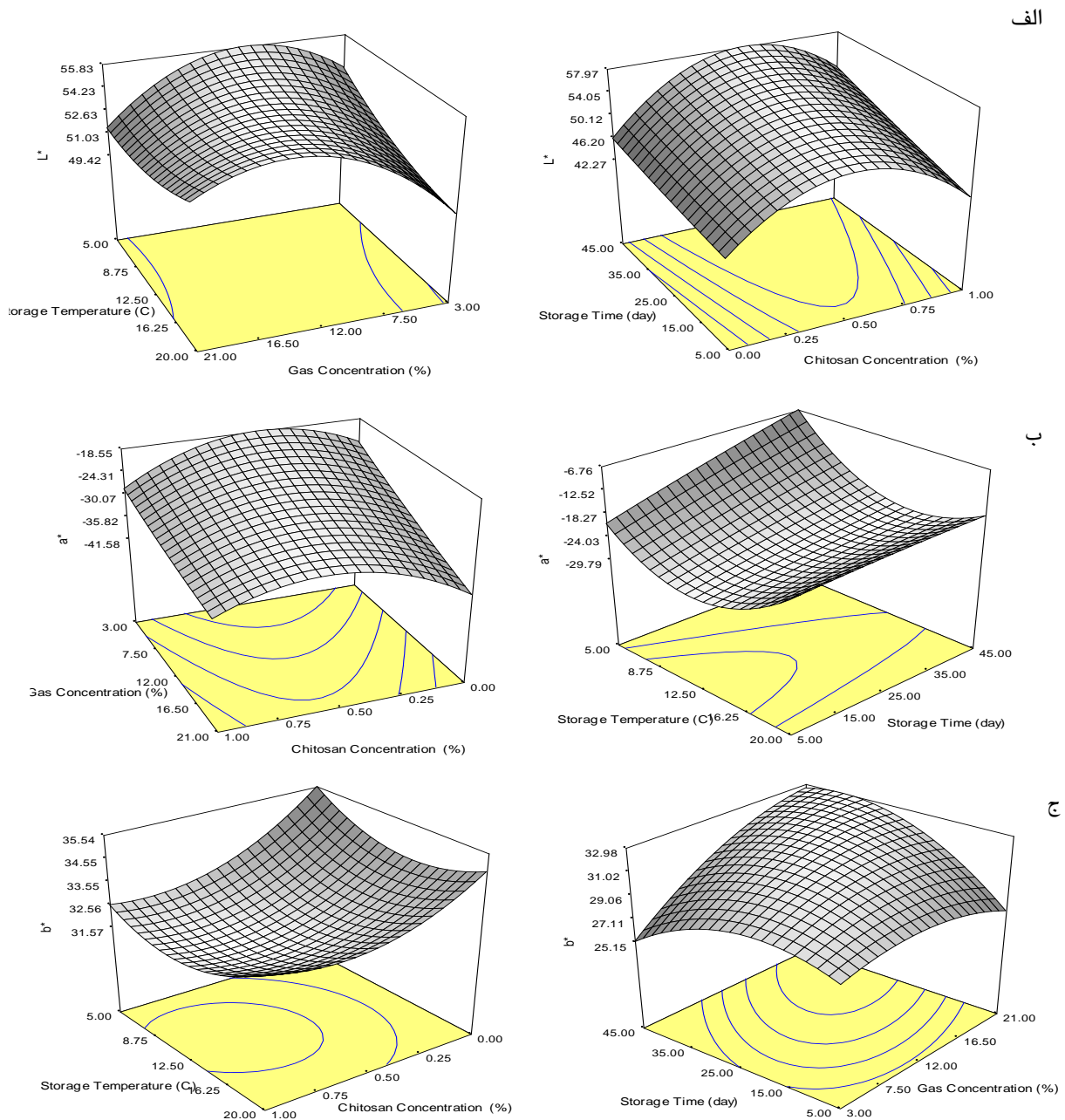
غلظت پوشش کیتوزان و زمان نگهداری معنی‌دار بود در حالیکه اثرات خطی دمای انبارداری و غلظت گاز اکسیژن در مدل درجه دوم کاسته معنی‌دار نبود ($p > 0/05$). بنابراین رابطه بین کیتوزان و زمان نگهداری با روشنی ظاهری محصول نهایی در شرایط ثابتی از غلظت گاز اکسیژن (۱۲٪) و دمای انبارداری (۱۲/۵ درجه سانتیگراد)، بصورت سهمی بود به طوری که با افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۵ درصد میزان مولفه L^* افزایش نشان داد ولی افزایش بیشتر پوشش کیتوزان تا سطح ۱٪ تاثیر منفی بر رنگ ظاهری نمونه‌ها داشت و منجر به کاهش روشنی ظاهری محصول بسته بندی شد (شکل الف-۳).

تاثیر متغیرهای مستقل بر مولفه a^* محصول نهایی در شکل ب-۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد اثرات خطی متغیرهای مستقل گاز اکسیژن، دما و زمان نگهداری در سطح بسیار بالایی در مدل درجه دوم کاسته برازش شده بر داده های مولفه a^* معنی‌دار بود ($p < 0/05$) ولی اثر کیتوزان معنی‌دار نبود ($p > 0/05$). بر اساس نتایج در غلظت ثابتی از گاز اکسیژن (۱۲٪) و کیتوزان (۰/۵٪) با افزایش دمای نگهداری میزان مولفه قرمزی (a^*) نمونه‌های فلفل سبز بصورت سهمی کاهش یافت در حالیکه باگذشت زمان انبارداری میزان این مولفه بصورت خطی افزایش یافت (شکل الف-۳). نتایج آنالیز آماری همچنین نشان داد در شرایط ثابتی از دما (۱۲/۵ درجه سانتیگراد) و زمان نگهداری (۲۵ روز) با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی، میزان مولفه a^* روند کاهشی داشت. کیتوزان نیز اگرچه تاثیر معنی داری نداشت ولی در غلظت ۰/۵ درصد کیتوزان، میزان مولفه قرمزی بیشتر بود.

تاثیر متغیرهای مستقل بر مولفه b^* محصول در شکل ج-۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج آنالیز واریانس مشخص شد که غلظت گاز اکسیژن بیشترین تاثیر را بر این مولفه رنگی داشت به طوری که در شرایط ثابتی از دما و غلظت پوشش کیتوزان با افزایش گاز

همکاران (۲۰۱۰) نیز نشان داد که ضریب روشنایی سیب پوشش داده شده با کیتوزان با شدت و مقدار کمتری نسبت به نمونه شاهد افت نشان داد.

نمونه بدون پوشش می‌باشد. این محققان همچنین اعلام کردند که در شرایط سردخانه‌ای به دلیل شرایط کنترلی دما و رطوبت در هیچ کدام از پوشش‌ها تغییرات محسوسی طی زمان مشاهده نشد. نتایج تحقیق کی و



شکل ۳- نمودار سطح پاسخ تاثیر متغیرهای مستقل بر خواص رنگی شامل (الف) مولفه L^* (ب) مولفه a^* (ج) مولفه b^* در محصول نهایی

Figure 3- Response Surface Plot. The effect of independent variables on color properties including (a) L^* value (b) a^* value (c) b^* value in the final product

بررسی اثر متغیرهای مستقل بر میزان ویتامین C فلفل سبز بسته بندی شده

تأثیر متغیرهای مستقل بر میزان ویتامین C محصول بسته بندی شده در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثرات خطی هر چهار متغیر مستقل شامل پوشش کیتوزان (A)، غلظت گاز اکسیژن (B)، دما (C) و زمان نگهداری (D) در سطح بسیار بالایی از نظر آماری بر این پارامتر اندازه گیری شده معنی دار بود ($p < 0.001$). در غلظت ثابتی از گاز اکسیژن (۱۲٪) و کیتوزان (۵٪) با افزایش دمای نگهداری از ۵ تا حدود ۲۰ درجه سانتیگراد، میزان ویتامین C نمونه‌های فلفل دلمه‌ای بصورت خطی کاهش یافت بطوریکه با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترهای موثر بر بسته بندی، در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد به کمترین مقدار خود رسید (شکل ۴). بررسی تأثیر زمان نگهداری بر میزان ویتامین C نیز روندی مشابه تأثیر دما نشان داد به طوریکه با گذشت زمان نگهداری از ۵ تا ۴۵ روز، میزان ویتامین C محصول کاهش یافت تا اینکه در روز ۴۵ ام به کمترین مقدار رسید.

همانطور که ذکر شد نوع بسته بندی (غلظت گاز) تأثیر عمده‌ای بر تغییرات ویتامین C فلفل سبز طی شرایط مختلف بسته بندی داشت به این صورت که با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی از ۳ تا ۲۱ درصد میزان این پارامتر بطور معنی‌داری کاهش یافت و کمترین مقدار آن در بسته بندی معمولی با ۲۱ درصد اکسیژن حاصل شد. نتایج آنالیز واریانس همچنین نشان داد که کیتوزان نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای و معنی‌داری بر تغییرات میزان ویتامین C محصول بسته بندی شده داشت ($p < 0.001$) بطوریکه نمونه‌های فلفل پوشش داده شده با پوشش کیتوزان نسبت به نمونه‌های فاقد پوشش میزان ویتامین C بیشتری داشتند، بدین معنی که افزایش غلظت پوشش کیتوزان باعث حفظ بیشتر ویتامین C در نمونه‌های فلفل سبز گردید بطوریکه با ثابت در نظر گرفتن سایر شرایط بسته بندی، نمونه‌هایی که با محلول ۱ درصد کیتوزان

پوشش داده شده بودند بیشترین میزان ویتامین C را داشتند.

بررسی منابع نشان می‌دهد که ویتامین C در سبزیجات و میوه‌ها نسبت به دما بسیار حساس بوده و این عامل موجب ایجاد مشکلات و محدودیت‌هایی در فرآیند بلانچینگ محصولات غنی از این ویتامین شده است. از طرف دیگر گاز اکسیژن نیز موجب اکسید شدن و در نتیجه از بین رفتن ویتامین C در طول مدت انبارداری سبزیجات و میوه‌های حاوی این ویتامین می‌شود. بنابراین با بکار بردن پوشش‌های خوراکی مانند کیتوزان در بسته بندی محصولاتی مانند فلفل دلمه‌ای می‌توان تا حدود زیادی این ماده مغذی و ارزشمند را در محصول حفظ کرد. میزان ویتامین C در نمونه اولیه فلفل بکار برده شده در این تحقیق برابر $118 \text{ mg}/100\text{g}$ بود که در حالت بهترین شرایط بسته بندی (شامل کیتوزان ۱٪، غلظت اکسیژن ۳٪، دمای نگهداری ۵ درجه سانتیگراد و زمان انبارداری ۵ روز) تا میزان $105 \text{ mg}/100\text{g}$ کاهش یافت. کمترین مقدار ویتامین C نیز مربوط به نمونه‌های نگهداری شده تحت شرایط بسته بندی معمولی (۲۱٪ اکسیژن)، فاقد پوشش کیتوزان، دمای نگهداری برابر ۲۰ درجه سانتیگراد و زمان انبارداری ۴۵ روز بود که برابر $27/5 \text{ mg}/100\text{g}$ اندازه گیری شد.

ویتامین C به دلیل ساختار ویژه خود، به سرعت اکسیده و طی دوره نگهداری کاهش می‌یابد. سرعت تخریب ویتامین C تا حد زیادی وابسته به نوع بسته بندی و شرایط نگهداری است. دمای نگهداری محصول، میزان اکسیژن محلول و نیز میزان نفوذپذیری ماده بسته‌بندی در برابر ورود اکسیژن نیز از عوامل موثر بر سرعت تخریب ویتامین C می‌باشند (بردورلو و همکاران، ۲۰۰۵؛ کاباسکالیس، ۲۰۰۰). فیلم‌های خوراکی می‌تواند موجب حفظ کیفیت میوه‌ها و سبزی‌ها از طریق جلوگیری از انتقال بخار آب و گازها شود (اجاق و همکاران، ۲۰۱۰). تحقیقات نشان داده است که پوشش کیتوزان افت وزن، سرعت رسیدن، کاهش رنگ و فساد قارچی را در فلفل

تعدیل یافته فعال بر روی دو رقم کاهو را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که میزان ویتامین ث، در هر دو رقم، از زمان ورود به سردخانه تا انتهای هفته دوم کاهش معنی‌دار پیدا کرد ولی در دو هفته بعدی، افزایش و سپس کاهش جزئی داشت و تقریباً در یک میزان ثابت ماند.

بررسی تاثیر متغیرهای مستقل بر خواص حسی فلفل سبز بسته بندی شده

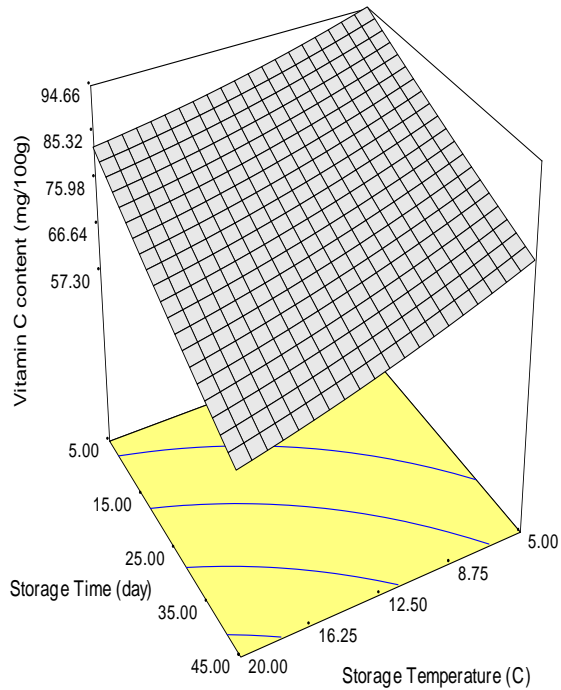
بافت

تاثیر متغیرهای مستقل بر امتیازدهی پارامتر حسی بافت نمونه های فلفل سبز بسته بندی شده در شرایط مختلف توسط پانلیست ها، در شکل ۵ نشان داده شده است. طبق نتایج در شرایط ثابتی از نظر گاز اکسیژن (۱۲٪) و پوشش کیتوزان (۰/۵٪)، افزایش دمای نگهداری تا حدود ۱۲/۵ درجه سانتی‌گراد منجر به افزایش خاصیت بافتی محصول شد ولی با افزایش بیشتر دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد امتیازدهی بافت نمونه‌های فلفل سبز کاهش یافت، از طرفی گذشت زمان انبارداری نیز تاثیر منفی بر این پارامتر حسی داشت بطوریکه بیشترین امتیاز بافت به نمونه‌های نگهداری شده در دوره اول نگهداری تعلق گرفت.

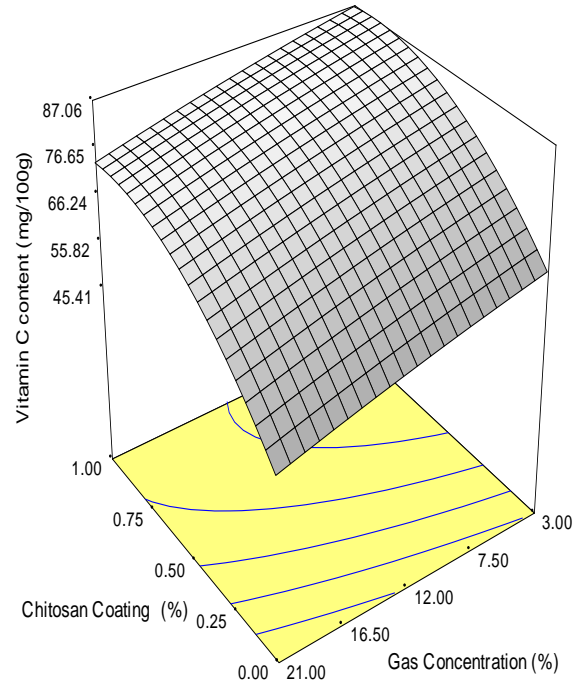
دلمه ای کاهش می‌دهد (قوٹ و همکاران ۱۹۹۱؛ چین و همکاران ۲۰۰۷). در تحقیقی مشابه زینگ و همکاران (۲۰۱۱) اثر پوشش کیتوزان غنی‌شده با روغن دارچین را بر ویژگی‌های کیفی فلفل شیرین بررسی کردند. نتایج نشان داد میزان باقی ماندن ویتامین C در محصول بطور معنی‌داری تحت تاثیر اثر پوشش‌دهی و زمان انبارداری قرار گرفت. استفاده از پوشش خوراکی کیتوزان بطور معنی‌داری میزان افت ویتامین C را در فلفل شیرین کاهش داد. طبق نتایج پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین نسبت به سایر تیمارها میزان ویتامین C را به مقدار بیشتری حفظ کرد. از آنجایی که ویتامین C تمایل زیادی به واکنش با اکسیژن و در نتیجه اکسید شدن دارد، پوشش کیتوزان می‌تواند موجب کاهش نفوذ اکسیژن به درون بسته شده و در نتیجه سرعت فرایند رسیدن را کاهش داده و موجب حفظ بهتر میزان ویتامین C و تاخیر در حساس شدن نمونه‌های فلفل در طول نگهداری می‌شود (عباسی و همکاران ۲۰۰۹).

جایپرکاشا و همکاران (۲۰۰۷) گزارش دادند که پوشش کیتوزان - روغن به دلیل اثرات محافظتی توسط ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فنولیک موجود در روغن دارچین، از افت ویتامین جلوگیری می‌کند. محققان بسیاری نیز گزارش دادند که افزودن روغن‌های ضروری و عصاره گیاهان ممکن است موجب بهبود فعالیت آنتی‌اکسیدانی پوشش کیتوزان شده و در نتیجه باعث حفظ ویتامین C در طول انبارداری محصول می‌شود (جنورجانتلیس و همکاران ۲۰۰۷؛ کنت و همکاران ۲۰۰۸). این نتایج با مطالعه انجام شده توسط بردولا و همکاران (۲۰۰۵)، چامیلاس و همکاران و برلینت و همکاران (۲۰۰۳) همخوانی دارد. این محققان عنوان کرده‌اند که ویتامین C دارای ساختار حساس در برابر شرایط محیطی نظیر نور، درجه حرارت، اکسیژن و غیره بوده و در شرایط نامناسب نگهداری از نظر دما و زمان انبارداری تجزیه شده و سبب افت ارزش تغذیه ای می‌گردد. فخاریان و همکاران (۱۳۸۷) نیز در پژوهش خود اثر بسته‌بندی با اتمسفر

ب.

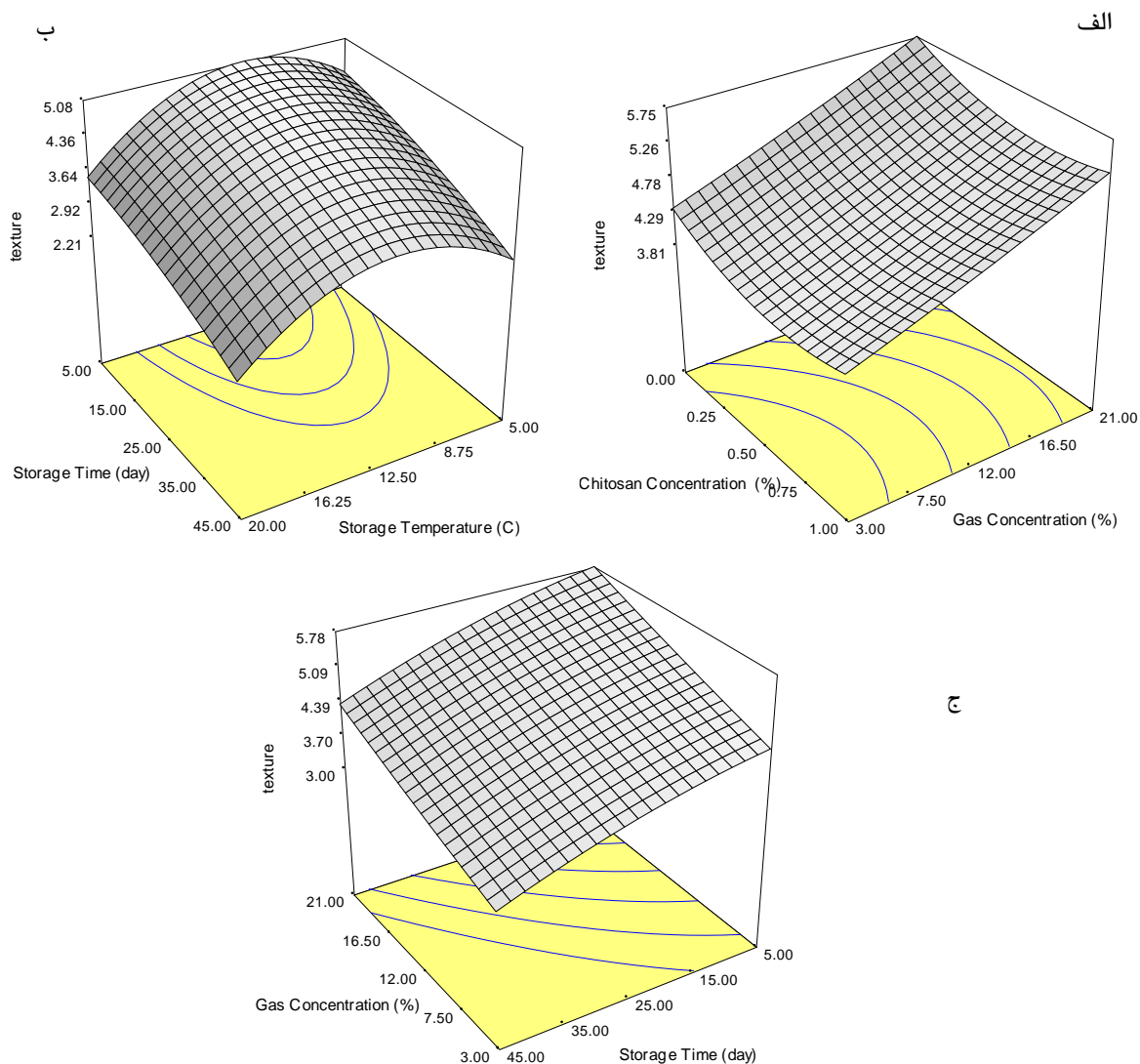


الف



شکل ۴- نمودار سطح پاسخ. (الف) تاثیر غلظت گاز اکسیژن و کیتوزان ($T=12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t=25\text{ days}$) و (ب) تاثیر زمان و دمای نگهداری ($\text{GC}=12\%$, $\text{Chitosan}=0.5\%$) بر میزان ویتامین C محصول نهایی

Figure 4- Response Surface Plot. (A) The effect of oxygen and chitosan gas concentration ($T = 12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 25\text{ days}$) and (b) the effect of storage time and temperature ($\text{GC} = 12\%$, $\text{Chitosan} = 0.5\%$) on the vitamin C content of the final product.



شکل ۵- نمودار سطح پاسخ. (الف) تاثیر غلظت گاز اکسیژن و پوشش کیتوزان ($T=12.5^{\circ}\text{C}$, $t=25$ days)، (ب) تاثیر دمای نگهداری و زمان نگهداری ($T=12.5^{\circ}\text{C}$ ، (ج) زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($T=12.5^{\circ}\text{C}$ ، $\text{Chitosan}=0.5\%$ ، $\text{GC}=12\%$) بر خواص بافتی محصول نهایی ($\text{Chitosan}=0.5\%$)

Figure 5- Response Surface Plot. (A) the effect of oxygen gas concentration and chitosan coating ($T = 12.5^{\circ}\text{C}$, $t = 25$ days), (b) the effect of storage temperature and storage time ($\text{Chitosan} = 0.5\%$, $\text{GC} = 12\%$), (c) storage time and Oxygen gas concentration ($T = 12.5^{\circ}\text{C}$, $\text{Chitosan} = 0.5\%$) on the texture of the final product

۲۵ روز، از امتیاز طعم و مزه محصول نهایی توسط ارزیابان کاسته نشد ولی پس از آن با افزایش زمان انبارداری امتیاز حسی طعم و مزه نمونه‌های فلفل سبز کاهش یافت تا اینکه در روز ۴۵ ام نگهداری به کمترین مقدار خود رسید. در همین شرایط افزایش غلظت کیتوزان بعنوان پوشش نمونه‌های فلفل سبز، منجر به کاهش

طعم و مزه

تاثیر متغیرهای مستقل بر امتیاز دهی پارامتر طعم و مزه نمونه های فلفل سبز بسته بندی شده در شرایط مختلف توسط پانلیست‌ها، در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است در شرایط ثابت از نظر دمای نگهداری و گاز اکسیژن، با گذشت زمان نگهداری از ۵ تا

از ۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد، امتیاز آروما و بوی فلفل سبز بسته بندی شده کاهش نشان داد ولی شیب این کاهش آرام بود که نشان‌دهنده تاثیر کمتر این متغیر مستقل بر صفت حسی بوی محصول بود ($p=0/0498$). در همین شرایط نتایج نشان داد که با گذشت زمان انبارداری محصول تا حدود ۲۵ روز آرومای نمونه‌های فلفل سبز تغییر قابل توجهی نشان نداد ولی پس از آن با افزایش زمان نگهداری تا ۴۵ روز امتیاز محصول از نظر نشان داد (شکل ۷).

در زمان و دمای نگهداری ثابت، با افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی تا حدود ۱۲ درصد پذیرش محصول از نظر آروما توسط مصرف‌کنندگان افزایش معنی‌داری یافت، ولی بعد از آن افزودن بیشتر گاز اکسیژن در بسته بندی تا حدود ۲۱ درصد تغییر قابل توجهی در میزان این پارامتر نداشت.

کونسا و همکاران در سال ۲۰۰۷ میلادی به بررسی کارایی بسته‌بندی اتمسفر تغییر یافته برای نگهداری فلفل دلمه‌ای در شرایط میزان کم اکسیژن پرداختند. بر اساس نتایج این مطالعه نگهداری فلفل دلمه‌ای در دمای پائین (۲ یا ۷ درجه سانتیگراد) و در ۸۰-۵۰ کیلو پاسکال اکسیژن و ۲۰ کیلو پاسکال دی‌اکسید کربن کمترین اثر تخریبی را بر وزن و آرومای محصول داشت. مانولپلو و همکاران (۲۰۱۲) برش‌های تازه فلفل سبز را در بسته بندی‌هایی از پلی اتیلن با اتمسفر اصلاح شده قرار دادند و نشان دادند در دمای ثابت نگهداری، سرعت رسیدن نمونه‌های فاقد بسته بندی نسبت به نمونه‌های بسته بندی شده در شرایط MAP بیشتر بود. همچنین به دلیل تاثیر مثبت بسته بندی MAP، میزان کاهش وزن و تجزیه بافت کم بود. مقدار اولیه اسید آسکوربیک در دمای صفر درجه حفظ شد و افزایش دما منجر به افت کیفیت ظاهری محصول شد. گورنی (۲۰۰۱) گزارش داد که با استفاده از بسته بندی MAP می‌توان فلفل سبز را در دماهای پایین بدون آسیب‌رسانی نگهداری کرد.

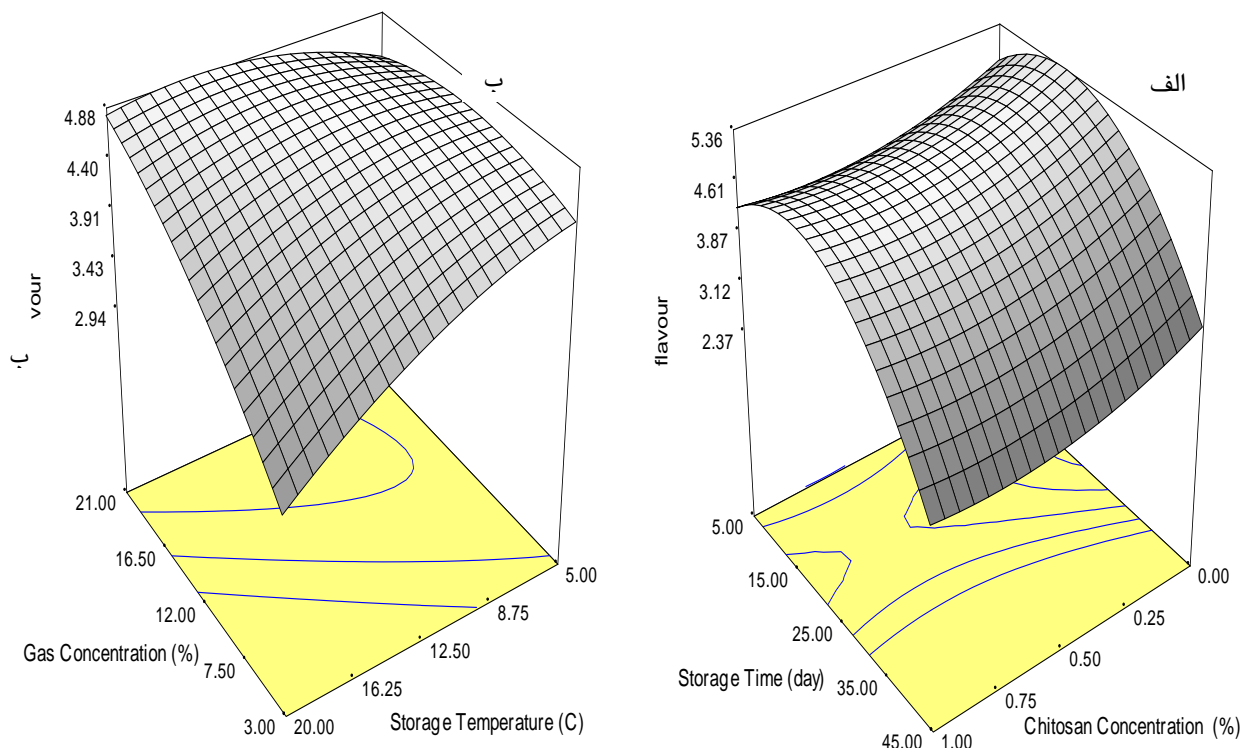
معنی‌داری در امتیاز طعم و مزه محصول شد بدین معنی که بالاترین امتیاز طعم و مزه به نمونه های فاقد پوشش کیتوزان داده شد.

نتایج نشان داد که در زمان و غلظت ثابتی از کیتوزان، با افزایش دمای انبارداری از ۵ تا ۲۰ درجه سانتیگراد، امتیازدهی نمونه ها از نظر طعم و مزه نمونه های فلفل سبز نگهداری شده تحت شرایط مختلف نگهداری توسط داوران آموزش دیده به طور معنی داری کاهش یافت، بدین ترتیب که بیشترین امتیاز طعم محصول به نمونه های نگهداری شده در دمای یخچال تعلق گرفت (شکل ۶). از طرفی مشخص شد که افزایش غلظت گاز اکسیژن در بسته بندی تاثیر منفی بر امتیاز طعم از نظر مصرف کنندگان نداشت.

پاتریسیا و کارلوس (۲۰۰۵) در تحقیق خود اثر فیلم خوراکی با پایه گلو تن گندم و انواع پوشش‌دهی را بر روی خواص حسی توت‌فرنگی در طول نگهداری در دمای یخچال بررسی کردند و نشان دادند که میوه‌های پوشش داده شده با فیلم خوراکی گلو تن و پوشش ترکیبی (مخلوط)، ویژگی‌های ظاهری و قابل مشاهده توت‌فرنگی را در طول انبارداری بهتر حفظ نموده و مصرف‌کنندگان طعم و مزه میوه‌های پوشش داده شده با گلو تن را تایید کردند. در تحقیق دیگری ضیابخش دیلمی و همکاران (۱۳۸۸) تاثیر روش بسته بندی و دمای نگهداری بر خصوصیات شیمیایی و حسی بیسکویت فشرده را بررسی کردند و نشان دادند که دما و نوع بسته‌بندی تاثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های حسی نداشت. از طرفی مشخص شد که امتیاز طعم و پذیرش کلی در بسته های حاوی جاذب اکسیژن بیشتر بود.

آروما و بو

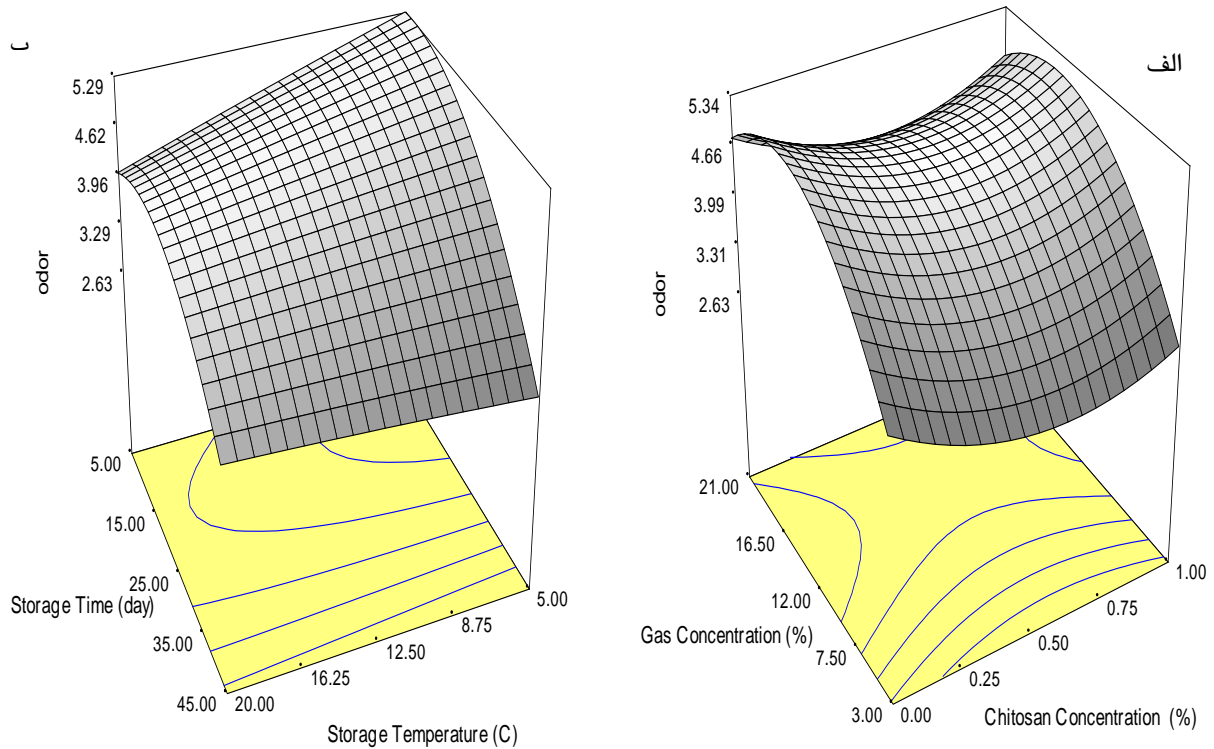
تاثیر متغیرهای مستقل بر امتیاز دهی پارامتر آرومای نمونه‌های فلفل سبز بسته بندی شده در شرایط مختلف توسط پانلیست ها، در شکل ۷ نشان داده شده است. همان طور که مشخص است در شرایط ثابت از نظر پوشش کیتوزان و گاز اکسیژن، با افزایش دمای نگهداری



شکل ۶- نمودار سطح پاسخ. (الف) زمان نگهداری و پوشش کیتوزان ($T=12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $GC=12\%$) و (ب) تاثیر دمای نگهداری و

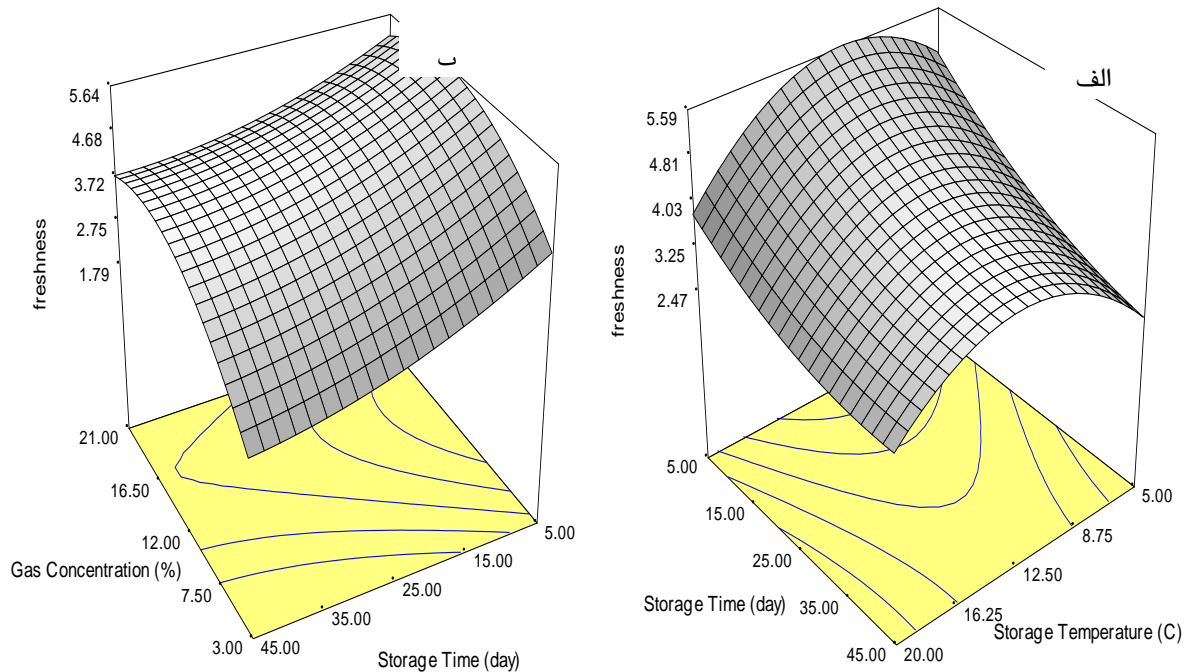
غلظت گاز اکسیژن ($\text{Chitosan}=0.5\%$, $t=25\text{days}$) بر طعم و مزه محصول نهایی

Figure 6- Response Surface Plot. (A) Chitosan and storage time ($T = 12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $GC = 12\%$) and (b) the effect of storage temperature and oxygen concentration ($\text{Chitosan} = 0.5\%$, $t = 25\text{days}$) on the taste of the final product.



شکل ۷- نمودار سطح پاسخ. (الف) غلظت گاز اکسیژن و پوشش کیتوزان ($t=25\text{days}$, $T=12.5\text{ }^\circ\text{C}$)، (ب) تاثیر دما و زمان نگهداری ($\text{Chitosan}=0.5\%$, $\text{GC}=12\%$) بر آرومای محصول نهایی

Figure 7- Response Surface Plot. (A) Oxygen gas concentration and chitosan coating ($t = 25\text{days}$, $T = 12.5\text{ }^\circ\text{C}$), (b) The effect of temperature and storage time ($\text{Chitosan} = 0.5\%$, $\text{GC} = 12\%$) on the final product aroma



شکل ۸- نمودار سطح پاسخ. (الف) دمای نگهداری و زمان انبارداری (GC=12% , Chitosan=0.5%) ، (ب) تاثیر زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن (Chitosan=0.5% , T=12.5 °C) بر تازگی محصول نهایی

Figure 8- Response Surface Plot. (A) Storage temperature and storage time (GC = 12%, Chitosan = 0.5%), (b) The effect of storage time and oxygen concentration (Chitosan = 0.5%, T = 12.5 °C) on the freshness of the final product

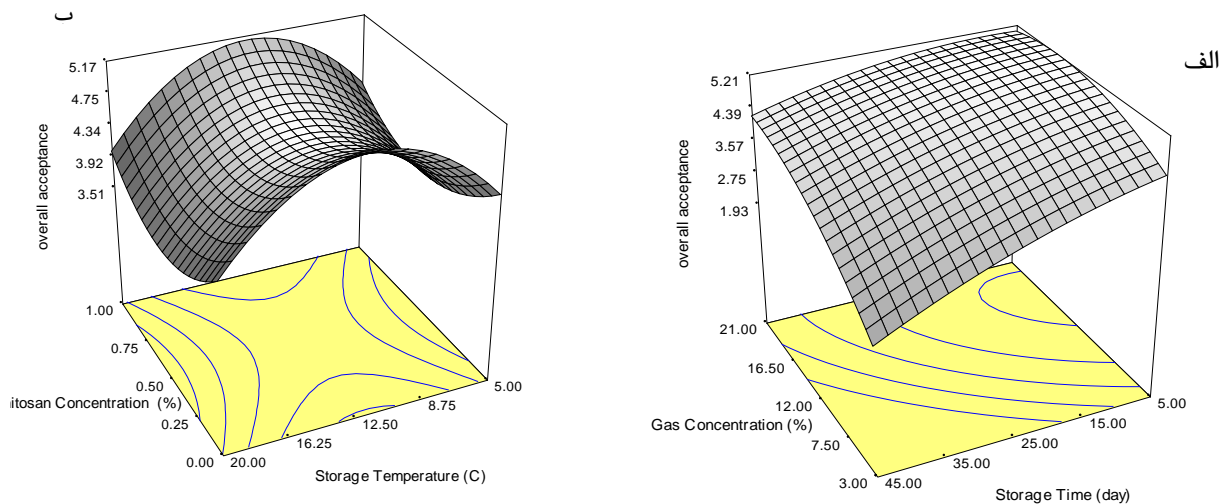
تازگی محصول

تاثیر متغیرهای مستقل بر امتیازدهی پارامتر تازگی نمونه‌های فلفل سبز بسته بندی شده در شکل ۸ نشان داده شده است. طبق نتایج در شرایط ثابت از نظر غلظت گاز اکسیژن (بسته بندی MAP) و غلظت پوشش کیتوزان (۰/۵٪)، افزایش دما تا حدود ۱۰ درجه سانتی-گراد منجر به افزایش امتیاز تازگی محصول توسط ارزیابان شد، در حالی‌که با ادامه افزایش دمای نگهداری این پارامتر حسی کاهش یافت. گذشت زمان انبارداری نیز تاثیر منفی بر تازگی نمونه‌های فلفل سبز بسته بندی شده داشت بطوریکه با افزایش زمان انبارداری امتیاز حسی تازگی محصول کاهش معنی‌داری نشان داد تا اینکه در اواخر دوره نگهداری محصول امتیاز تازگی

نمونه ها کمترین مقدار بود. غلظت گاز اکسیژن نیز در بسته بندی تا حدود ۱۲ درصد (بسته بندی MAP) تاثیر مثبتی بر امتیاز عدم پوسیدگی (یا تازگی) محصول داشت ولی با ادامه افزایش گاز اکسیژن در بسته بندی، این پارامتر حسی تغییر قابل توجهی پیدا نکرد. زینگ و همکاران (۲۰۱۱) اعلام کردند پوشش کیتوزان باعث تاخیر در فساد سطحی نمونه‌های فلفل شیرین در مقایسه با نمونه‌های بدون پوشش شد. در پایان دوره نگهداری نمونه های تیمار شده با پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین، از ویژگی های حسی قابل قبولی برخوردار بودند، در حالی‌که ویژگی های حسی نمونه شاهد (فاقد پوشش) قابل قبول نبود. در نهایت این محققان اعلام کردند پوشش کیتوزان غنی شده با روغن دارچین می‌تواند بعنوان یک راهکار مناسب برای افزایش

اصلاح شده پوسیدگی را کاهش و سفتی بافت را افزایش داد، خشکیدگی دم میوه نیز کاهش یافت و در نهایت باعث حفظ کیفیت و تازگی سه رقم گیلاس شد.

ماندگاری خواص کیفی فلفل شیرین ارائه گردد. در تحقیقی مشابه اسکوگ و اسمیت (۲۰۰۳) تاثیر بسته بندی با اتمسفر اصلاح شده را بر سه رقم گیلاس مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند بسته بندی در اتمسفر



شکل ۹- نمودار سطح پاسخ. (الف) تاثیر زمان نگهداری و غلظت گاز اکسیژن ($\text{Chitosan}=0.5\%$, $T=12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)، (ب) تاثیر دمای نگهداری و غلظت کیتوزان ($t=25\text{ days}$, $\text{GC}=12\%$) بر پذیرش کلی محصول نهایی

Figure 9- Response Surface Plot. (A) The effect of storage time and oxygen concentration ($\text{Chitosan} = 0.5\%$, $T = 12.5\text{ }^{\circ}\text{C}$), (b) The effect of storage temperature and chitosan concentration ($t = 25\text{ days}$, $\text{GC} = 12\%$) on the overall acceptability of the final product

پذیرش کلی محصول شد. بدین ترتیب بیشترین امتیاز پذیرش محصول به نمونه‌های نگهداری شده در دمای یخچال و نیمه اول دوره نگهداری و در شرایط بسته بندی MAP تعلق گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود نتایج پذیرش کلی با نتایج هر یک از صفات حسی مطابقت دارد. بدین معنی که پذیرش نمونه‌ها از نظر بافت، آروما، تازگی و طعم و مزه نیز در دما و زمان بالای نگهداری و همچنین تحت شرایط نگهداری با اکسیژن بالاتر کمتر بود که در مورد پذیرش کلی محصول نیز به همین صورت است. در تحقیقی صداقت و همکاران (۱۳۸۹) تاثیر نوع بسته بندی و دمای نگهداری را بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آبلیمو بررسی کردند. امتیاز ویژگی‌های حسی آب لیمو با افزایش دما و زمان نگهداری کاهش یافته

پذیرش کلی محصول نهایی

تاثیر متغیرهای مستقل بر پذیرش کلی محصول نهایی بسته بندی شده در شکل ۹ نشان داده شده است. در شرایط ثابت دما و کیتوزان، با گذشت زمان تا ۲۵ روز و افزایش گاز اکسیژن تا حدود ۱۲ درصد، پذیرش کلی محصول نهایی بطور قابل چشمگیری تحت تاثیر قرار نگرفت و از نظر داوران مطلوب و قابل قبول بود. ولی افزایش بیشتر زمان انبار داری تا ۴۵ روز و غلظت گاز اکسیژن درون بسته تا ۲۱ درصد منجر به کاهش پذیرش نمونه‌های فلفل سبز شد. نتایج نشان داد در غلظت ثابت گاز و زمان ثابت نگهداری (۲۵ روز) افزایش دما تا حدود ۱۰ درجه سانتیگراد تاثیر منفی بر پذیرش کلی محصول نداشت ولی افزایش بیشتر دما منجر به کاهش امتیاز

گاز اکسیژن در بسته‌بندی (%)، دمای نگهداری (درجه سانتیگراد) و زمان نگهداری (روز) بر پارامترهای کاهش وزن (%، سفتی (نیوتن)، میزان ویتامین C، پارامترهای رنگی (a) و خواص حسی شامل (بافت، طعم و مزه، آروما، تازگی محصول، پذیرش کلی) با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی عددی نرم‌افزار Design Expert جستجو شد. برای این منظور مولفه L^* ، سفتی بافت میزان ویتامین C و خواص حسی در حداکثر و میزان کاهش وزن محصول و مولفه a^* در حداقل مقدار خود در نظر گرفته شدند (جدول ۴).

است که احتمالاً ناشی از تغییرات میزان اسید آسکوربیک می‌باشد. لردانکل و کروسا (۱۹۹۶) گزارش دادند که پوشش‌های حاوی روغن‌های معدنی به طور معنی‌داری موجب کاهش افت وزن می‌شود، بنابراین باعث حفظ سفتی و در نتیجه تازگی فلفل شیرین در طول نگهداری می‌شود.

بهینه‌سازی

شرایط عملیاتی بهینه برای بسته‌بندی فلفل‌دلمه‌ای با استفاده از متغیرهای مستقل غلظت کیتوزان (%، غلظت

جدول ۴- نتایج به دست آمده از فرآیند بهینه‌سازی

Table 4- The results of optimization process

Dependent variable	Max	Min	Opt	Response	Value
Chitosan (%)	0	1	0.6	Weight loss (%)	3.8
O ₂ (%)	3	21	12	Hardness (N)	7.12
T (°C)	5	20	11.8	Vitamin C	90.15
Time (day)	5	45	21	L^*	51.7
				a^*	-32.8
				b^*	31.2
				Texture	4.7
				Flavor	4.2
				Aroma	4
				Freshness	4.5
				Overall acceptability	4.4

طبق نتایج، اختلاف معنی‌داری بین میزان ویتامین C نمونه‌های فلفل‌دلمه‌ای نگهداری شده در نقطه بهینه با نمونه اولیه این محصول بعنوان شاهد وجود داشت ($p < 0.05$)، بطوریکه مشخص شد مقدار اولیه این ویتامین در فلفل سبز برابر $118 \text{ mg}/100\text{g}$ بود که در طول نگهداری در نقطه بهینه به مقدار $90.15 \text{ mg}/100\text{g}$ کاهش یافت که این کاهش معنی‌دار می‌باشد.

مقایسه خواص رنگی نمونه اولیه و محصول نگهداری شده در شرایط بهینه نشان داد که مولفه L^* نمونه‌های فلفل‌دلمه‌ای در طول نگهداری افزایش یافته بطوریکه از مقدار ۴۵ در نمونه اولیه تا ۵۱/۷ در شرایط بهینه نگهداری رسید که این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$)، بنابراین روشنی ظاهری نمونه‌های فلفل

در این پژوهش، میزان وزن نمونه‌های فلفل‌دلمه‌ای نگهداری شده در شرایط بهینه بسته بندی برابر ۶۵۲/۹ گرم بود که نسبت به نمونه شاهد با وزن اولیه ۶۷۸/۷۵ گرم به اندازه ۳/۸ درصد کاهش وزن نشان داد که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود ($p > 0.05$). با بررسی سفتی نمونه‌های فلفل‌دلمه‌ای حاصل از نقطه بهینه در مقایسه با سفتی بافت نمونه‌های اولیه مشخص شد که اگرچه سفتی بافت محصول در طول نگهداری کاهش پیدا کرد و از ۷/۴ نیوتن در حالت اولیه تا ۷/۱۲ نیوتن در نقطه بهینه کاهش یافت ولی اختلاف معنی‌داری از نظر این پارامتر نیز بین آن‌ها وجود ندارد ($p > 0.05$) که نشان دهنده مناسب بودن شرایط بسته‌بندی می‌باشد.

بهینه بسته بندی و نمونه های اولیه به ترتیب برابر ۳۱/۲ و ۳۰ بود (جدول ۵). مقایسه خواص حسی نمونه‌ها نیز نشان داد که اگرچه نمونه های بسته بندی شده از نظر برخی صفات حسی مانند طعم، آروما و تازگی محصول نسبت به نمونه شاهد در سطح پایین‌تری قرار داشت ولی در کل از نظر ارزیابان امتیازی بالاتر از ۴ دریافت کرده‌اند که قابل قبول می‌باشد. از سوی دیگر از نظر پذیرش کلی و مطلوبیت بافتی هرچند که پایین تر از نمونه اولیه بود ولی از نظر آماری در یک سطح قرار داشتند (جدول ۵). بطور کلی در شرایط بهینه، پوشش کیتوزان ۰/۶ درصد، غلظت گاز اکسیژن ۱۲ درصد، دمای نگهداری ۱۱/۸°C، زمان نگهداری ۲۱ روز پیشنهاد شد.

سبز افزایش یافت. بررسی مولفه a^* (مولفه قرمزی) روندی مخالف مولفه L^* نشان داد بدین معنی که گذشت زمان انبار داری در شرایط مختلف، تاثیر منفی بر میزان رنگ سبز طبیعی نمونه‌ها گذاشت و رنگ سبز در طول نگهداری کاهش و تمایل به رنگ قرمز افزایش یافت، ولی براساس مقایسه آماری مشخص شد که اختلاف معنی-داری بین آن‌ها وجود ندارد. این نتیجه گویای این مطلب است که محصول نگهداری شده در شرایط بهینه ذکر شده، از نظر رنگ سبز مطلوب ظاهری تفاوت قابل توجهی با نمونه‌های تازه این محصول ندارد که نشان‌دهنده مناسب بودن شرایط بسته‌بندی این محصول می‌باشد. مقایسه مولفه b^* (مولفه زردی) نیز حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین نمونه‌ها بود و برای نمونه‌های تحت شرایط

جدول ۵- مقایسه خواص فیزیکی شیمیایی و حسی فلفل دلمه ای بسته بندی شده و نمونه اولیه

Table 5- Comparison of physicochemical and sensory properties of packaged bell peppers and control sample

Overall acceptability	Freshness	Aroma	Flavor	Texture	b^*	a^*	L^*	C vitamin (mg/100g)	Hardness (N)	Weight loss (%)	Response Sample
4.4 ^a	3.5 ^b	4 ^b	4.2 ^b	4.7 ^a	31.2 ^a	-32.8 ^a	51.7 ^a	90.15 ^b	7.12 ^a	3.8 ^b	Optimal
4.8 ^a	5 ^a	4.8 ^a	4.8 ^a	4.9 ^a	30 ^a	-35 ^a	45 ^b	118 ^a	7.4 ^a	6.75 ^a	Control

نتیجه‌گیری

مولفه L^* شد در حالیکه با ادامه افزایش تا سطح ۱٪، روشنی ظاهری نمونه‌ها کاهش یافت. تغییرات غلظت اکسیژن تاثیر معنی‌داری بر تغییرات وزن نمونه‌ها و همچنین روشنی ظاهری آن‌ها نداشت ($p > 0.05$). با افزایش غلظت گاز اکسیژن، سفتی بافت، میزان ویتامین C و مولفه قرمزی نمونه‌ها کاهش و میزان پارامتر b^* افزایش یافت. دمای انبارداری به طور معنی‌داری باعث تغییرات در وزن نمونه‌ها، سفتی بافت و میزان ویتامین C نمونه‌های فلفل سبز گردید ($p < 0.01$) ولی در بین مولفه‌های رنگ تنها بر تغییرات مولفه قرمزی تاثیر معنی-داری داشت. با بررسی اثر متغیر مستقل زمان نگهداری بر شاخص های فیزیکی شیمیایی فلفل دلمه‌ای بسته بندی شده مشخص شد که این متغیر بر تغییرات وزن نمونه‌ها، سفتی بافت، میزان ویتامین C و مولفه‌های رنگی (شامل

نتایج به دست آمده در این تحقیق حاکی از آن بود که متدولوژی سطح پاسخ را می‌توان به خوبی در بهینه سازی این فرآیند به کار برد. از بین شرایطی که برای بسته بندی فلفل دلمه ای اعمال گردید، شاخص‌های بسته بندی از دمای نگهداری، غلظت گاز اکسیژن موجود در بسته و زمان انبارداری تاثیر بیشتری می‌پذیرند، در حالی‌که غلظت کیتوزان در حد کمتری پارامترهای بسته بندی را تحت تاثیر قرار دادند. نتایج نشان داد که غلظت پوشش کیتوزان تاثیر معنی‌داری بر تغییرات وزن، سفتی بافت و مولفه a^* نمونه‌های فلفل سبز نداشت ($p > 0.05$) ولی با افزایش غلظت آن حفظ ویتامین C در نمونه‌ها افزایش و میزان مولفه b^* کاهش یافت. همچنین مشخص شد افزایش غلظت کیتوزان تا ۰/۵ درصد موجب افزایش

کیتوزان، غلظت اکسیژن موجود در بسته بندی، دمای نگهداری و زمان انبارداری به ترتیب ۶٪، ۱۲٪، °C ۱۱/۸ و ۲۱ روز به دست آمد که در این شرایط خواص فیزیکوشیمیایی و حسی نمونه در مقایسه با نمونه تازه در حد قابل قبولی حفظ می‌شود. بنابراین با استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده می‌توان علاوه بر کاهش سرعت تنفس فلفل دلمه‌ای تازه از نرم شدن بافت و افت رطوبت جلوگیری نمود. بعلاوه پوشش‌دهی با کیتوزان نیز تا حد زیادی از افت وزن و مواد مغذی جلوگیری می‌نماید. با انجام آزمایشات تکمیلی می‌توان بعنوان یک راهکار عملی در صنایع بسته‌بندی میوه و سبزیجات استفاده کرد.

مولفه های L^* ، a^* و b^* تاثیر معنی‌داری داشت ($p < 0.001$). دما و زمان نگهداری بیشترین و غلظت کیتوزان کمترین تاثیر را بر تغییرات ارگانولپتیکی محصول داشته است. پوشش کیتوزان در کنار اثرات مطلوبی که بر محصول نهایی از جمله حفظ رطوبت و جلوگیری از تخریب ترکیبات مغذی مانند ویتامین C دارد تا حدی باعث کاهش طعم محصول می‌شود که باعث محدودیت در مقدار کاربرد این ترکیب بعنوان پوشش می‌شود. شرایط بهینه بسته بندی برای به حداقل رساندن میزان کاهش وزن و مولفه a^* و به حداکثر رساندن سفتی بافت، ویتامین C، مولفه L^* و ویژگی‌های حسی از نظر غلظت

منابع مورد استفاده

- احمدی م، داوری نژاد غ، عزیزی م ف، صداقت ن و تهرانی فر، ع. ۱۳۸۷. تاثیر بسته‌بندی با اتمسفر تغییر یافته بر خصوصیات کیفی و افزایش عمر انباری دو رقم آلبالو، مجله علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲ (۲)، ۱۵۶-۱۶۶.
- بی نام. ۱۳۷۱. میوه‌ها، سبزی‌ها و فرآورده‌های آنها، اندازه‌گیری اسید اسکوربیک (ویتامین ث)، استاندارد ملی ایران، شماره ۵۶۰۹، چاپ اول.
- صداقت ن و حسینی ف. ۱۳۸۹. تاثیر نوع بسته بندی و دمای نگهداری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی آب لیمو. نشریه پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۶ (۱)، ۸-۱.
- ضیابخش دیلمی م، صداقت ن، و شهیدی، ف. ۱۳۸۸. تأثیر روش بسته بندی و دمای نگهداری بر خصوصیات شیمیایی و حسی بیسکویت فشرده. نشریه پژوهش‌های صنایع غذایی ایران، ۵ (۱)، ۲۰-۱۱.
- فخاریان ن، حسنیوراصیل، م و عسگری م. ۱۳۸۷. تاثیر بسته بندی در اتمسفر تعدیل یافته (MAP) و انبار سرد بر صفات کمی و کیفی دو رقم کاهو (*Lactuca sativa L.*). فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۵ (۱)، ۵۰-۳۷.
- مرتضوی م ح، ارزانی ک و برزگر م. ۱۳۸۵. تاثیر بسته بندی تحت خلا و شرایط اتمسفر تغییر یافته بر ماندگاری و کیفیت میوه خرما (*Phoenix dactylifera L.*) رقم برحی. مجله علمی کشاورزی، ۲۹ (۳)، ۱۳۷-۱۲۵.
- موحدنژاد م، محمد هادی خوش‌تقاضا م، ظهوریان مهر م ج و مینایی س. ۱۳۹۳. تأثیر پوشش‌های خوراکی و نانو زیست سازگار بر خواص کیفی سیب گلدن دلشیز در طی شرایط مختلف انبارداری. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، ۱۱ (۱)، ۲۴-۱۳.
- Abbasi NA, Iqbal Z, Maqbool M and Hafiz IA. 2009. Postharvest Quality of mango (*Mangifera indica L.*) fruits as affected by coating. *Pakistan Journal of Botany* 41, 343-357.
- Alique R and Alonso, J. 2003. Influence of the modified atmosphere packaging on shelf life and quality of Naviland sweet cherry. *Eur Food Technol* 217, 416-420.
- Berlinet C, Ducruet V, Brat P, Brillouet J-M, Reynes M, and Guichard E. 2003. Effects of PET packaging on the quality of an orange juice made from concentrate. *International Conference Engineering and Food, ICEF9*. France.
- Burdurlu HS, Koca N and Karadeniz F. 2005. Degradation of vitamin C in citrus juice concentrates during storage, *Journal of Food Engineering*, 74, 2: 211-216.

- Caleb OJ, Opara UL, Mahajan PV, Manley M, Mokwena L and Tredoux AGJ. 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.
- Chien PJ, Sheu F and Lin HR. 2007. Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chemistry* 100, 1160-1164.
- Chumillas MR, Belissario Y, Iguaz A and Lopez, A Quality and shelf life of orange juice aseptically packaged in PET bottles, Technical University of Cartagena, Agricultural Equipment and Food Engineering Department, Paseo Alfonso XIII. 48, 30203 Cartagena, Spain.
- Conesa A, Verlinden BE, Artés-Hernández F, Nicolai B, Artés F. 2007. Respiration rates of fresh-cut bell peppers under supertatmospheric and low oxygen with or without high carbon dioxide. *Postharvest Biology and Technology* 45, 81-88.
- Devlieghere F, Vermeulen A and Debevere J. 2004. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. *Food Microbiology* 21, 703-714.
- Duan J, Park SI, Daeschel MA and Zhao, Y. 2007. Antimicrobial Chitosan Lysozyme (CL) Films and Coatings for Enhancing Microbial Safety of Mozzarella Cheese. *Journal of food science* 72(9), M355-M362.
- Fan W, Sun J, Chen Y, Qiu J, Zhang Y and Chi Y. 2009. Effects of chitosan coating on quality and shelf life of silver carp during frozen storage. *Food Chemistry* 115, 66-70.
- Georgantelis D, Ambrosiadis I, Katikou P, Blekas G and Georgakis SA. 2007. Effect of rosemary extract, chitosan and a-tocopherolon microbiological parameters and lipid oxidation of fresh pork sausages stored at 4 °C. *Meat Science* 76, 172-181.
- Ghaouth AE, Arul J, Ponnampalam R and Boulet M. (1991). Use of chitosan coating to reduce weight loss and maintain quality of cucumber and bell pepper fruits. *Journal of Food Processing and Preservation* 15, 359-368.
- González-Aguilar GA, Ayala-Zavala JF, Ruiz-Cruz S, Acedo-Félix E and Díaz-Cinco ME. 2004. Effect of temperature and modified atmosphere packaging on overall quality of fresh-cut bell peppers. *LWT - Food Science and Technology* 37, 817-826.
- Gorny JR, Gil MI and Kader AA. 1998. Postharvest physiology and quality maintenance of fresh-cut pears. *Acta Horticulturae* 464, 231-236.
- Gorny JR, Hess-Pierce B and Kader AA. 1999. Effects of fruits ripeness and storage temperature on the deterioration rate of freshcut peaches and nectarine slices. *Postharvest Biology and Technology* 33, 110-113.
- Gorny RJ. 2001. A summary of C.A and M.A requirements and recommendations for fresh-cut (minimally processed) fruits and vegetables. In: *Optimal controlled atmospheres for Horticultural perishables*, (University of Davis, ed.) *Postharvest Horticultural series*, No 22^a, pp. 95-103.
- Guerra M, Magdaleno R, Casquero PA. 2011. Effect of site and storage conditions on quality of industrial fresh pepper. *ScientiaHorticulturae* 130, 141-145.
- Jayaprakasha G K, Negi PS, Jena BS and Rao LJM. 2007. Antioxidant and antimutagenic activities of *Cinnamomum zeylanicum* fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis* 20, 330-336.
- Kabasakalis V, Siopidou D and Moshatou E. 2000. Ascorbic acid content of commercial fruit juices and its rate of loss upon storage. *Food Chemistry* 70, 325-328.
- Kanatt SR, Chander R and Sharma A. 2008. Chitosan and mint mixture: A new preservative for meat and meat products. *Food Chemistry* 107, 845-852.
- Lerdthanankul S and Kroctha JM. 1996. Edible coating effects on post harvest quality of green bell peppers. *Journal of Food Science* 61, 176-179.
- Manolopoulou H, Xanthopoulos G, Douros N, Lambrinos G. 2010. Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering* 106, 535-543.
- Manning K, 1993. Soft fruits. In: Seymour, GB, Taylor, JE, Tucker, G.A. (Eds.), *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman & Hall, London, UK, pp. 347-373.

- Martinez D, Guillen S, Castillo S, Valero D and Serrano M. 2003. Modified atmosphere packaging maintains quality of table grapes. *J Food Sci* 68, 1838-1843.
- Nyanjage MO, Nyalala SPO, Illa AO, Mugo BW, Limbe AE and Vulimu EM. 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.
- Ojagh SM, Rezaei M, Razavi SH and Hosseini SM. H. 2010. Effect of chitosan coatings enriched with cinnamon oil on the quality of refrigerated rainbow trout. *Food Chemistry* 120, 193-198.
- Park HJ, Na SK, Lee SI, Kang JK, Park IS. 1998. The effect of red pepper and capsaicin on gastric emptying in human volunteers. *Gastroenterology* 114, Supplement, 1: A818.
- Patricia S, Tanada-Palmu and Carlos RF. 2005. Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria ananassa*) quality. *Postharvest Biology and Technology* 36, 199-208.
- Qi H, Hu W, Jiang A and Tian M. 2010. Extending shelf-life of Fresh-cut 'Fuji' apples with chitosan-coatings, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. In press: 10.1016/j.ifset.2010.11.001.
- Rungsinee S and Patratip R. 2008. Effect of a mango film on quality of whole and minimally processed mangoes. *Postharvest Biology and Technology* 47, 407-415.
- Skog S and Smith P. 2003. On-farm Modified atmosphere packaging of sweet cherries. *Acta improve fruit quality of cherries during subsequent storage*. *Postharvest Biology and Technology* 25, 117-121.
- Xing Y, Li X, Xu Q, Yun J, Lu Y, Tang Y. 2011. Effects of chitosan coating enriched with cinnamon oil on qualitative properties of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). *Food Chemistry* 124, 1443-1450.



Journal of Food Research, 2022,32(4):121-147
<https://foodresearch.tabrizu.ac.ir>

OPEN ACCESS

© 2009 Copyright by Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
This is an open access article under the CC BY NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/>)
DOI: 10.22034/FR.2022.39333.1731

Evaluation of edible film and modified atmosphere packaging on the improvement of quality and shelf life of bell pepper

A Ghahramani-Chermahini^{1*} and N Sedaghat²

Received: April 17, 2020 Accepted: May 28, 2022

¹Master graduated, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

²Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*Corresponding author: Ghahramaniakram203@gmail.com

Introduction: Bell peppers belong to vegetables group and contain nutrients effective in preventing and treating many diseases. However, due to shrinkage and water content loss in these products followed by a decrease in vitamins, there are some problems with their color in the interval between harvest and consumption which can be improved using packaging techniques. Bell Pepper (*Capsicum annum* L.) belongs to the Solanaceae family and is one of the most popular agricultural products in various countries, especially in the Middle East. The importance of this product is not only due to its economic importance, but mainly due to the fact that it is a very good source of ascorbic acid. This type of pepper has significant amounts of insoluble fiber that can play an important role in the prevention and treatment of gastrointestinal diseases such as constipation (Park et al. 1998). Pepper is also a rich source of vitamins C, A and lycopene antioxidants, which can be effective in preventing many cancers. Despite the nutritional benefits, some of the properties of bell peppers can limit the producers of this product. For example, wrinkles and dehydration, and consequently a decrease in vitamins in pepper, are among the things that take time to supply to the consumer, reducing their appearance and nutritional value. Solutions to this problem include the use of improved packing methods, optimal storage conditions, and treatment with preservatives (Guerra et al., 2011). Packaging is a simple and effective way to protect vegetables and fruits that protects against the influence of external factors as well as preserves physical and chemical properties (stove and colleagues 2010). Today, packaging with a modified atmosphere has been widely used to increase the shelf life of fresh fruits and vegetables. Other ways to improve the shelf life of fresh vegetables include the use of edible coatings that have antibacterial properties, prevent the migration of moisture and gas, among which, chitosan due to its properties such as non-toxic, biodegradable Vulnerability and biocompatibility have been widely used in peppermint. Polymer food films are made in a thin layer that is placed on food or between food components. Oral films increase product shelf life and meet consumer demand even more than natural materials, and are less polluting to the environment. Edible coatings are usually composed of polysaccharides, proteins, lipids, or mixtures thereof (Park et al., 1994). In addition, adding essential oils to the food cover as a natural preservative can increase the antibacterial properties of the coating. Chitosan is a polymer that has many applications in the food industry and is the second most abundant natural polymer after cellulose. This polysaccharide

has functional properties such as antimicrobial, antifungal and antioxidant properties, and also has properties such as environmental compatibility, informality and various physico-chemical properties. Despite extensive research on improving the quality and increasing the shelf life of bell peppers abroad, unfortunately, in our country, there has not been much research on increasing the shelf life of this product using packaging and food coatings. The aim of this study was to investigate the effect of packaging with modified atmosphere and edible chitosan coating in combination with different temperatures and times in order to maintain qualitative characteristics and increase the shelf life of bell peppers.

Material and methods: In this study, response surface methodology and central composite design were used in order to investigate the effect of Chitosan coating (0-1%), oxygen gas concentration in packaging (3-21%), storage temperature (5-20°C), and storage time duration (5-45 days) on parameters of decrease percentage in weight, Hardness, vitamin C, and color properties (L^* , a^* , b^* components). The ripe peppers were harvested from the greenhouse and after being disinfected with Sodium hydrochloride solution (100 ppm) were floated in chitosan solution 0%, 5/0% and 1% and packaged under three different concentrations of oxygen (5, 10 and 0%) and the samples were kept at different temperatures for 45 days. In sensory evaluation, 5-point hydraulic scale method was used and sensory properties including texture, taste, flavor, aroma, product freshness and overall product acceptance were examined (Sedaghat et al., 2010).

Results and discussion: The results showed that chitosan polysaccharide concentration had no significant effect on changes in weight and tissue firmness of green bell peppers. However, increasing this concentration caused an increase in vitamin C conservation in bell peppers samples. In addition, it was revealed that increasing the concentration of this covering substance up to 0.5% causes an increase in L^* component. By increasing oxygen gas concentration in packaging environment, there was a decreasing trend in tissue firmness and vitamin C content of samples. The results from variance analysis also showed that changes in oxygen gas concentration had no significant effect on changes in the samples' weights as well as on brightness (L^* components) of their colors. By increasing the concentration of oxygen in the packaging in the a^* values had a decreasing trend and the effect of Polysaccharide chitosan was insignificant ($P > 0.05$). By increasing the concentration of oxygen in the packaging the b^* component was increased and made the b^* reduced by increasing concentrations of chitosan coating. The reception of the samples in terms of tissue, aroma, freshness and taste was lower under the conditions with higher oxygen which was also true about the general reception. And the concentration of Polysaccharide chitosan had the lowest effect on the organoleptic changes of the packaged product under various conditions. Based on the results polysaccharide chitosan had a significant impact on the taste of the final product.

Conclusion: Based on the results the optimal concentration of chitosan coating, the concentration of oxygen, temperature and time are 6/0%, 12%, 8/21-to- 11 ° C, respectively.

Keywords: Bell Pepper, Chitosan, Modified Atmosphere Packaging, Response Surface Methodology.