Packaging Sciences and Techniques
Vol. 16, No. 2, Summer 2025, Serial No. 62
ISSN: 2228-6675 , E-ISSN: 2980-7824

Increasing the Postharvest Shelf Life of Button Mushrooms (*Agarius Bisporus*) Using Chitosan Coating and Polyethylene Film Containing Phase Change Materials

Nadia Khorshidian[1], Sepideh Bahrami[2*], Maryam Moslehishad[3]

[1]Masters Student, Department of Food Science and Technology, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran. Email Address: nadiakhorshidian95@gmail.com

[2]Correspondence: Assistant Proffesor, Department of Food Science and Technology, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran. Email Address: sepideh.bahrami@iau.ac.ir

[3]Associate Proffesor. Department of Food Science and Technology, ShQ.C., Islamic Azad University, Shahr-e Qods, Iran. Email Address: mmoslehishad@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 22 May 2025

Received in revised form: 16 July 2025

Accepted: 3 September 2025

Available online: 21 September 2025

Keywords:

Edible coating

Novel packaging

Phase change materials

Mushroom

Chitosan

ABSTRACT

Edible fresh mushrooms have a limited shelf life; to enhance production, it is necessary to employ effective methods to extend their shelf life. In this study, coating with chitosan in amounts of 1, 1.5, and 2% and conventional polyethylene-based packaging were used alongside novel packaging containing phase change material to preserve button mushrooms. Weight loss percentage, texture, mushroom respiration intensity, browning coefficient, soluble solids percentage, and psychrotrophic bacteria count were evaluated on the day of packaging, third, sixth, ninth, and twelfth days under refrigerated storage conditions. The results were analyzed using MiniTab 16 statistical software. The results showed that the percentage increase in microbial load, browning coefficient, mushroom respiration rate, weight loss, and percentage of soluble solids in mushroom treatments with conventional packaging was higher than that with novel packaging ($p \leq 0.05$). In the treatment with a 1.5% chitosan coating, the increase in the microbial population index of the mushroom treatments was lower. As a result, mushrooms coated with 1.5% chitosan and novel packaging containing phase change material were selected as the optimal treatment.

Cite this article: N. Khorshidian, S. Bahrami, and M. Moslehishad, "Increasing the Postharvest Shelf Life of Button Mushrooms (Agarius Bisporus) Using Chitosan Coating and Polyethylene Film Containing Phase Change Materials," Journal of Packaging Sciences and Techniques, vol. 16, no. 2, pp. 13-24, 2025. DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.62.2.8

Publisher: Imam Hossein University.

© The Author(s).

Abstract

Introduction

Mushrooms have a short shelf life, and their nutritional value decreases after a few days due to browning, high respiration rate, water loss, aging, and microbial spoilage. Phase change materials (PCMs), due to their high latent heat, reduce sensible heat fluctuations and thus increase shelf life and quality by controlling product respiration and the growth of spoilage microorganisms. Typically, PCMs that melt below 12°C, such as short-chain paraffins, can be used for packaging agricultural products.

Materials and Methods

In this study, coating with chitosan in amounts of 1, 1.5, and 2% and conventional polyethylene-based packaging were used alongside novel polyethylene film containing PCM to preserve button mushrooms. Weight loss, texture, mushroom respiration intensity, browning coefficient, soluble solids percentage, and psychrotrophic bacteria count were evaluated on the day of packaging, third, sixth, ninth, and twelfth days under refrigerated storage conditions. The results were analyzed using MiniTab 16 statistical software.

Result and Discussion

The results showed that the percentage increase in microbial load, browning coefficient, mushroom respiration rate, weight loss, and percentage of soluble solids in mushroom treatments with conventional packaging was higher than that with novel packaging ($p \leq 0.05$). In the treatment with a 1.5% chitosan coating, the increase in the microbial population index of the mushroom treatments was lower. As a result, mushrooms coated with 1.5% chitosan and novel packaging containing phase change material were selected as the optimal treatment.

Conclusion

Considering the effect of packaging containing PCMs on the intensity of respiration and the changes caused by it and microbial spoilage, as well as the inhibitory effect of chitosan on bacterial growth, the simultaneous use of a 1.5% concentration chitosan coating and a polyethylene film containing short-chain paraffin is recommended.

«علوم و فنون بسته‌بندی»
سال شانزدهم، شماره ۶۲، تابستان ۱۴۰۴؛ ص ۲۴-۱۳
شاپای چاپی: ۲۲۲۸-۶۶۷۵| شاپای الکترونیکی: ۲۹۸۰-۷۸۲۴

افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای با استفاده از پوشش کیتوزان و فیلم پلی‌اتیلن حاوی مواد تغییر فازدهنده

نادیا خورشیدیان[۱]، سپیده بهرامی[۲*]، مریم مصلحی‌شاد[۳]

[۱] کارشناسی ارشد گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران. رایانامه: nadiakhorshidian95@gmail.com

[۲] استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: sepideh.bahrami@iau.ac.ir

[۳] دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهرقدس، ایران. رایانامه: mmoslehishad@gmail.com

چکیده

قارچ‌های خوراکی به صورت تازه زمان ماندگاری پایینی دارند. بنابراین به‌کارگیری راهکارهای عملی برای افزایش ماندگاری آن‌ها برای بهبود و توسعه تولید ضروری می‌باشد. در این تحقیق پوشش‌دهی با کیتوزان در مقادیر ۱، ۱/۵ و ۲ درصد و بسته‌بندی متداول بر پایه پلی‌اتیلن در کنار بسته‌بندی نوین حاوی مواد تغییر فاز دهنده جهت نگهداری قارچ خوراکی استفاده شد. آزمون‌ها شامل درصد افت وزنی، بافت‌سنجی، شدت تنفس قارچ، ضریب قهوه‌ای شدن، درصد مواد جامد محلول، و شمارش باکتری‌های سرمادوست در روز بسته‌بندی، سوم، ششم، نهم و دوازدهم در شرایط نگهداری در یخچال ارزیابی شدند. نتایج با استفاده از نرم افزار آماری MiniTab 16 تجزیه و تحلیل شدند. نتایج حاصل نشان داد؛ درصد افزایش بار میکروبی، ضریب قهوه‌ای شدن، شدت تنفس قارچ، افت وزنی، درصد مواد جامد محلول در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول بالاتر از تیمارهای حاوی مواد تغییر فازدهنده بود ($p \leq ۰/۰۵$). در تیمار دارای پوشش کیتوزان ۱/۵ درصد میزان درصد افزایش شاخص جمعیت میکروبی تیمارهای قارچ کمتر بود. در نتیجه قارچ پوشش‌دهی شده با ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی حاوی مواد تغییر فازدهنده به عنوان تیمار بهینه انتخاب گردید.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
نوع مقاله: علمی پژوهشی
دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۰۱
بازنگری: ۱۴۰۴/۰۴/۲۵
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۱۲
ارائه آنلاین: ۱۴۰۴/۰۶/۳۰

کلیدواژه‌ها:
پوشش خوراکی
بسته‌بندی نوین
مواد تغییر فازدهنده
قارچ خوراکی
کیتوزان

استناد: خورشیدیان، نادیا، بهرامی، سپیده، مصلحی‌شاد، مریم، " افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای با استفاده از پوشش کیتوزان و فیلم پلی‌اتیلن حاوی مواد تغییر فازدهنده"، نشریه علوم و فنون بسته‌بندی، دوره ۱۶، شماره۶۲، صفحات ۲۴-۱۳، ۱۴۰۴.

DOR: 20.1001.1.22286675.1404.16.62.2.8

ناشر: دانشگاه جام امام حسین(ع).

© نویسندگان.

۱- مقدمه

بر اساس آمارهای بین المللی، سالانه مقدار زیادی از تولیدات بخش کشاورزی (بین ۱۰ تا ۵۰ درصد) به صورت ضایعات از چرخه مصرف خارج می‌شود. ضایعات کشاورزی در سه مرحله پیش از برداشت، برداشت و پس از آن روی میدهد ولی قسمت عمده ضایعات مربوط به مراحل برداشت وتوزیع محصولات می باشد. کشورهای مختلف با توجه به پتانسیل بخش کشاورزی سعی می‌کنند طرح هایی را برای خودکفایی در محصولات مختلف که برای آن‌ها اهمیت دارد ارائه دهند، لیکن درکنار طرحهای افزایش تولید، یکی از سیاست‌های دولت‌ها در امر امنیت غذایی، کاهش ضایعات نگهداری محصولات کشاورزی است [۱، ۲]. قارچ با خواص آنتی اکسیدانی طبیعی، از جمله محصولات فسادپذیر می‌باشد، بررسی روش‌های مناسب افزایش ماندگاری این محصول حتی به مدت چند روز حائز اهمیت است [۳]. پس از برداشت محصول، تنفس و تعرق ادامه دارد و طی مدت نگهداری گیاه از آب و مواد اندوخته خود استفاده کرده که در نتیجه باعث افت کیفیت آن می‌شود. از این رو بررسی روش‌های مختلف بسته‌بندی برای افزایش ماندگاری قارچ و حفظ ارزش تغذیه ای آن طی نگهداری ضروری می‌باشد [۴، ۵].

عمر نگهداری قارچ در دمای محیط کوتاه است (۳-۴ روز) و ارزش غذایی آنها پس از چند روز به علت قهوه‌ای شدن، میزان تنفس (RR[1]) بالا ، از دست دادن آب، پیری و فساد میکروبی کاهش می‌یابد. عمر نگهداری کوتاه قارچ مانعی برای توزیع و فروش آن است [۶]. میزان تنفس بسیار بالای قارچ‌های خوراکی سبب افت وزن آن در مقایسه با سایر میوه‌ها و سبزی‌ها شده و به دلیل ماندگاری کوتاه‌تر، ارزش تجاری این محصول کاهش می‌یابد [۷]. کلاهک قارچ‌ها بعد از یک روز نگهداری در دمای محیط باز می‌شود، طول ساقه افزایش می‌یابد، بافت نرم و اسفنجی می‌شود و در نتیجه ارزش تجاری قارچ کاهش می‌یابد . سرد کردن، سبب کاهش تنفس محصولات تازه برداشت شده طی حمل‌ونقل و زنجیره توزیع می‌شود. امروزه قارچ دکمه‌ای با پوشش پلی‌وینیل‌کلراید کشسان بسته‌بندی شده و در دمای یخچال نگهداری می‌شود [۸]. از طرفی بسته‌بندی در فیلم‌های پلی‌اتیلنی ارزان و در صنعت غذا متداول بوده و به لحاظ ایمنی و سلامت مطمئن‌تر است، بنابراین فیلم‌های پلی‌اتیلنی با افزودن پارافین کوتاه زنجیر جهت ارتقا ویژگی‌ها انتخاب شد. از علل اصلی فساد سریع قارچ می‌توان به شدت تنفس، تبخیر آب، قهوه‌ای شدن و تغییرات بافت اشاره نمود. افزایش رطوبت محیط سبب تشدید رشد میکروارگانیسم‌ها، بد رنگی سطح کلاهک شده و کاهش رطوبت منجر به کاهش وزن، کاهش ارزش اقتصادی و تغییرات نامطلوب بافت قارچ می‌گردد. بنابراین کوتاه بودن ماندگاری قارچ مانع بزرگی برای گسترش و بازاریابی آن به‌شمار می‌آید. بسته‌بندی نوین در انواع مختلفی تولید شده است مانند انواعی که دارای افزودنی‌هایی به منظور حفظ تازگی محصول است که می‌تواند کاربردهای متعددی داشته و در مقایسه با بسته‌بندی قدیمی در نگهداری ماده غذایی مؤثر است. از روش‌های نوین بسته‌بندی می‌توان به بسته‌بندی فعال و استفاده از انواع جاذب‌ها مانند جاذب‌های اکسیژن، اتیلن، دی‌اکسیدکربن و ... و انواع آزادکننده‌ها نظیر آزادکننده‌های مواد طعم‌دهنده و مواد ضدمیکروبی و ... اشاره کرد [۷]. اما بحث بر سر مؤثرترین روش برای جلوگیری از روند تخریب بافت قارچ خوراکی همچنان باقی است. بازار ارائه مواد غذایی نیازمند ارائه روش‌های مؤثر با هزینه پایین تر و کیفیت بالاتری می‌باشد. چرا که سرمایه‌گذاری‌های انجام شده در تولید این مواد انبوه بوده و تحویل محصول با کیفیت به دست مصرف کننده ضرورت بالایی دارد.

مواد تغییر فازدهنده به دلیل گرمای نهان بالا، نوسانات گرمای محسوس را کاهش داده و به این ترتیب با کنترل تنفس محصول و رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد، ماندگاری و کیفیت را افزایش می‌دهند [۹].از آنجایی که مواد تغییر فاز دهنده در طیف گسترده ای از نقاط ذوب وجود دارند، مهم‌ترین ویژگی تعیین کننده کاربرد این مواد، نقطه ذوب آنها می‌باشد. معمولاً از مواد تغییر فازی که در دمای زیر ۱۲ درجه سلسیوس ذوب می‌شوند، می‌توان برای بسته‌بندی محصولات کشاورزی استفاده کرد. علاوه بر نقطه ذوب مواد تغییر فاز دهنده، در سامانه‌های ذخیره انرژی حرارتی که بر مبنای این مواد عمل می‌کنند، باید مواردی مانند بالا بودن گرمای نهان را در نظر گرفت، پارافین‌های کوتاه زنجیر هر دو ویژگی نقطه ذوب مناسب و گرمای نهان بالا را دارند.کیتوزان با فرمول شیمیایی ($C_6H_{11}NO_4$) از استیل زدایی کیتین بدست می‌آید که به دلیل غیر سمی بودن، خاصیت جذب بالا، امکان تجزیه در طبیعت، سازگاری با محیط زیست، مقرون به صرفه بودن، توانایی حذف محدوده وسیعی از میکروارگانیسم‌ها و فلزات و در نهایت امکان تهیه مشتقات فراوان از آن، بسیار مورد توجه است [۱۰].

خضرایی و همکاران (۱۳۹۳) تاثیر پوشش کیتوزان - اسانس لیمو را بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای مورد بررسی قراردادند. در این تحقیق اسانس لیمو در غلظت ۰/۲۵ درصد و ۰/۵ درصد (w/v) به پوشش کیتوزانی در غلظت ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد (w/v) افزوده شد. بر

[1] Respiration rate

اساس نتایج حاصل از این مطالعه پوشش ۰/۵ درصد کیتوزان و ۰/۵ درصد اسانس به همراه بسته‌بندی با نگهداری در دمای ۱±۴ درجه سلسیوس به عنوان بهترین فرمول پیشنهاد شد [۴]. وهابی و همکاران (۲۰۲۲) از فیلم پلی‌اتیلنی حاوی مواد تغییر فازدهنده برای نگهداری بروکلی استفاده و گزارش کردند این بسته‌بندی زردشدن گل‌های بروکلی را کاهش داده و به‌طورمعنی‌داری مانع کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی بروکلی می‌شود [۱۱]. در تحقیق دیگری در بسته‌بندی توت‌فرنگی از مواد تغییر فازدهنده استفاده شد و به‌طور معنی‌داری شدت تنفس و افت وزن کاهش یافت [۹].

در این تحقیق بسته‌بندی پلی‌اتیلنی حاوی پارافین کوتاه زنجیر به‌عنوان مواد تغییر فازدهنده به همراه پوشش کیتوزان برای نگهداری قارچ مورد بررسی قرار گرفت تا تأثیر مواد تغییر فازدهنده با قابلیت کنترل دما و شدت تنفس و پوشش کیتوزان با خاصیت ضدمیکروبی بر ویژگی‌ها و کیفیت قارچ طی نگهداری بررسی شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تیمارها

۲-۱-۱- تهیه و بسته‌بندی تیمارهای قارچ دکمه‌ای

پودر کیتوزان با وزن مولکولی متوسط (سیگما-آلدریچ، آمریکا) با درصدهای وزنی ۱، ۱/۵ و ۲ درصد، توسط محلول اسید استیک (مرک، آلمان) ۱ درصد به حجم رسانده شد. سپس روی نمونه‌ها اسپری شد. قارچ دکمه‌ای از گلخانه‌ای در ملارد، کرج تهیه شد. قارچ‌ها با اندازه و رنگ یکسان به‌صورت چشمی تفکیک و مطابق جدول ۱ بسته‌بندی و تیمار شدند و پس از دوخت حرارتی فیلم‌ها، در یخچال به مدت ۱۵ روز نگهداری و در فواصل زمانی ۳، ۶، ۹ و ۱۲ روز در ۳ تکرار ارزیابی شدند[۱۲].

۲-۱-۲- مشخصات فیلم بسته‌بندی

برای بسته‌بندی از فیلم پلی‌اتیلن سه لایه دمشی با ضخامت ۸۵ میکرون استفاده شد، فیلم پلی‌اتیلنی شاهد شامل LLDPE[1] و LDPE[2] به نسبت وزنی ۲ به ۳ بود و به‌عنوان بسته‌بندی نوین از پوشش پلی‌اتیلن با ویژگی‌های فوق استفاده شد، با این تفاوت که در لایه وسط ۱۴٪ پارافین کوتاه زنجیر به عنوان مواد تغییر فازدهنده به روش کواکستروژن اضافه شده بود، مشخصات فیلم‌های پلیمری در جدول (۲) آورده‌شده است [۱۳].

[1] Linear Low-Density Polyethylene
[2] Low-Density Polyethylene

جدول (۱): کدبندی تیمارهای تحقیق

تیمار	کد	مشخصات تیمار
شاهد	T	فاقد پوشش خوراکی کیتوزان و با بسته‌بندی پلی‌اتیلنی
تیمار ۱	T1	پوشش ۱٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی
تیمار ۲	T2	پوشش ۱,۵٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی
تیمار ۳	T3	پوشش ۲٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی
تیمار ۴	T4	پوشش ۱٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی حاوی PCM
تیمار ۵	T5	پوشش ۱,۵٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی حاوی PCM
تیمار ۶	T6	پوشش ۲٪ کیتوزان و بسته‌بندی پلی‌اتیلنی حاوی PCM

Phase Change Material (PCM)

جدول (۲): مشخصات بسته‌بندی پلی‌اتیلنی [۱۳]

نوع	مقاومت به کشش(N/m^2)	OTR ($mL/m^2/day$)	WVTR ($g/m^2/day$)
فیلم بسته‌بندی متداول	۲۸/۳	۹۷/۰	۱/۵۸
فیلم بسته‌بندی نوین	۳۱/۱	۶۹/۰	۲/۸۰

WVTR (Water Vapor Transmission Rate); OTR (Oxygen Transmission Rate)

۲-۲- ارزیابی تیمارها

۲-۲-۱- ارزیابی وزن نمونه‌ها

جهت اندازه گیری میزان کاهش وزن، نمونه‌ها قبل از بسته‌بندی (روز صفر) و پس از ۳، ۶، ۹ و ۱۲روز توزین شد. کاهش وزن اولیه قارچ صفر در نظر گرفته شد و کاهش وزن قارچ در هر یک از تیمارهای زمانی براساس آن مطابق فرمول شماره ۱ محاسبه گردید [۴].

۱۰۰×وزن اولیه / وزن قارچ بعد از مدت زمان نگهداری− وزن قارچ در روز صفر= درصد کاهش وزن (فرمول ۱)

۲-۲-۲- اندازه گیری ضریب قهوه‌ای شدن

برای به‌دست آوردن میزان فعالیت آنزیم قهوه‌ای شدن از شاخص BI مطابق فرمول شماره ۲-۱ استفاده شد. برای دسترسی به این مقدار ابتدا به‌وسیله نرم‌افزار Image J شاخص a^* (شاخص قرمزی)، L^* (شاخص روشنایی) و b^* (شاخص زردی) مشخص شده و بعد به کمک آن مطابق فرمول شماره ۲-۲ مقدار X به‌دست‌آمده و شاخص BI برای هر یک از تیمارها مشخص گردید [۴].

$$BI= [X-0.31) \times 100] /0.172 \quad \text{(فرمول ۲-۱)}$$

که مقدار X برابر است با :

$$X= [a^* + (1.75\ L^*)]/ [(5.645L^*) + a^*-(3.012b^*)] \quad \text{(فرمول ۲-۲)}$$

۲-۲-۳- اندازه گیری شدت تنفس قارچ

جهت اندازه گیری شدت تنفس تیمارهای قارچ، ۵۰ گرم نمونه توزین و به مدت یک ساعت نگه داشته شد. سپس قارچ‌ها به مدت یک ساعت در دمای ۲۰ درجه سلسیوس درون محفظه کاملا بسته حاوی ۱۵ میلی‌لیتر باریم اکسید ۰/۵ مولار قرار داده شد. با افزودن دو قطره فنل فتالئین محتویات اکسید باریم با اگزالات ۱/۴۴ مولار تیتر شد. میزان شدت تنفس بر حسب مقدار دی‌اکسیدکربن آزاد شده با توجه به فرمول شماره ۳ به‌دست آمد [۶].

$$R= (V_1-V_2)\times C\times 44/W\times t \quad \text{(فرمول۳)}$$

R: شدت تنفس

V1: اگزالات مصرف شده برای شاهد (میلی‌لیتر)

V2: اگزالات مصرف شده برای نمونه (میلی‌لیتر)

C: غلظت اگزالات مصرفی (مولار ۱/۴۴)

۴۴: وزن مولکولی دی‌اکسیدکربن آزاد شده

W: وزن نمونه (گرم)

t: زمان آزمون (ساعت)

۲-۲-۴- بررسی خصوصیات بافتی

از آزمون نفوذ با استفاده از دستگاه اینسترون (QTS25 CNS Farnell) ساخت کشور انگلستان، رای تعیین میزان سفتی قارچ استفاده شد. میزان سفتی با استفاده از پروب استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متری تعیین شد. برای این منظور سرعت نفوذ پروب ۲ میلی‌متر در ثانیه و میزان نفوذ ۵ میلی‌متر تنظیم شد. میزان سفتی به صورت حداکثر نیروی لازم برای نفوذ بیان‌گردید [۱].

۲-۲-۵- محتوای مواد جامد کل

نمونه‌های قارچ، ابتدا در یک هاون کوبیده شده و سپس با استفاده از فشار دست آب‌گیری شد. عصاره خارج شده با استفاده از دستگاه رفراکتومتر[1] به منظور تعیین مواد جامد محلول کل مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۴].

۲-۲-۶- بررسی خصوصیات ضدمیکروبی

همه نمونه‌ها به منظور تعیین شمارش باکتری‌های سرمادوست مورد ارزیابی قرار گرفتند. ۲۵ گرم قارچ در شرایط استریل از هر نمونه برداشته و با ۲۲۵ میلی‌لیتر آب پپتونه ۰/۱ درصد رقیق‌سازی می‌شود. سپس نمونه‌ها در استومیکر[2] به مدت ۲ دقیقه یکنواخت گردید. رقت‌سازی با استفاده از آب پپتونه انجام شد. شمارش هوازی روی محیط کشت پلیت کانت آگار با گرمخانه‌گذاری در ۴ درجه سلسیوس برای باکتری‌های سرما دوست انجام گردید: شمارش *سودوموناس*[3] روی محیط کشت CFCA۴ در دمای ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۴۸ ساعت انجام گردید [۱۴].

۲-۳- تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم افزار مینی تب ۱۶ استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل آماری آزمون مقایسه میانگین دو طرفه Two Way ANOVA در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ صورت پذیرفت.

۳- نتایج و بحث

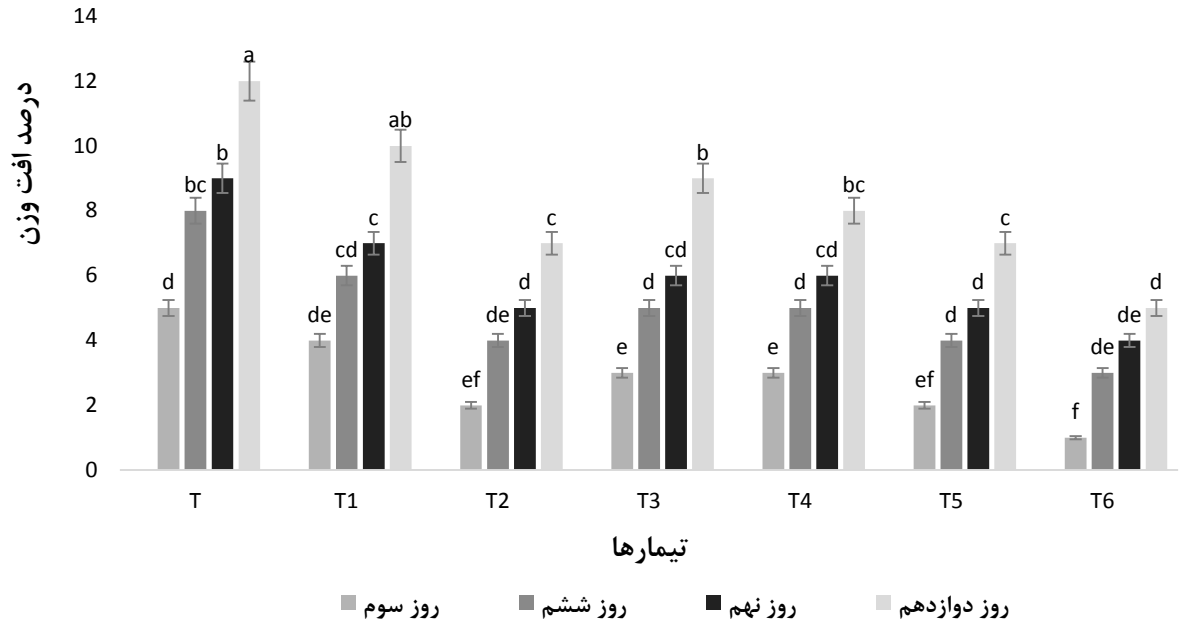
۳-۱- نتایج ارزیابی وزن نمونه‌ها

با توجه به شکل (۱) مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میزان میانگین درصد افت وزن تیمارهای قارچ کنترل و سایر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). طی زمان نگهداری روند کاهشی معنی‌داری در میزان درصد افت تیمارهای قارچ مشاهده شد که بیشترین میزان تغییرات کاهشی درصد افت وزن در تیمار قارچ کنترل و در روز نهم نگهداری مشاهده شد. به‌طورکلی میزان درصد افت وزن در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول بالاتر از تیمارهای با بسته‌بندی نوین بود ($p\leq$۰/۰۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین درصد افت وزن تیمارهای قارچ مشاهده شد که با استفاده از پوشش‌دهی محلول کیتوزان در هر دو بسته‌بندی میزان درصد افت وزن تیمارهای قارچ در هر دو بسته‌بندی متداول و نوین به‌طور معنی‌داری مهار می‌شود. کاهش وزن یکی از عمده‌ترین تغییراتی است که در میوه‌ها و سبزی‌ها در فرآیند نگهداری رخ می‌دهد. در پی این کاهش، رطوبت به‌طور آهسته از سطح محصول خارج می‌شود و محصول شادابی و تازگی خود را از دست می‌دهد و

[1] Refractometer
[2] Stomacher
[3] Pseudomonas
[4] Cephaloridin Fucidin Cetrimide Agar

از نظر ظاهری محصول دچار پوسیدگی و چروکیدگی می‌شود [۱۵]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که قارچ‌های پوشش‌یافته با محلول کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حاوی پارافین کوتاه زنجیر) توانایی بیشتری جهت حفظ رطوبت قارچ دکمه‌ای دارد که درصد کاهش وزن آن در مقایسه با تیمار شاهد و سایر تیمارها نیز کمتر گزارش گردید. قارچ به دلیل فقدان لایه محافظ، با سرعت بیشتری آب خود را از دست می‌دهند که سبب چروکیدگی و زوال آن می‌شود. سرعت از دست دادن آب به شیب فشار بخارآب در داخل و خارج قارچ (محیط اطراف) بستگی دارد. مکانیسم اولیه از دست رفتن رطوبت از قارچ تازه با خروج بخار آب به بیرون و کاهش شیب فشار بخار آب در داخل و خارج قارچ صورت می‌گیرد. پوشش‌های خوراکی با به وجود آوردن یک غشا نیمه تراوا که مانعی در مقابل عبور گازها و بخار آب محسوب می‌شود، سبب کاهش تنفس و از دست رفتن آب و در نتیجه باعث کاهش افت وزن قارچ می‌شوند. اثر مثبت پوشش‌های خوراکی بر پایه پلی‌ساکاریدها در کنترل افت وزن دربسیاری از تحقیقات گزارش شده است.

در مطالعه ای توسط تقی زاده و همکاران در سال ۱۳۹۲ اثر پوشش خوراکی بر پایه کربوکسی متیل سلولز بر افزایش ماندگاری سیب رد *دلیشز*[1] بررسی شد. نتایج نشان داد که سیب‌های پوشش‌دار بعد از ۴۰ روز میزان کاهش وزن کمتری درمقایسه با سیب‌های بدون پوشش داشتند که با نتایج این تحقیق منطبق است. در مطالعه‌ای توسط Jiang و همکاران در سال ۲۰۱۲ کیفیت پس از برداشت قارچ پوشش‌داده‌شده با کیتوزان- گلوکز را تحت نگهداری سرد بررسی کردند. بعد از شانزده روز نگهداری نتایج نشان داد که میزان کاهش وزن قارچ پوشش‌داده‌شده با کیتوزان-گلوکز ۴۱/۳ درصد و قارچ شاهد ۳/۷۱ درصد می‌باشد. بنابراین پوشش‌دهی با کیتوزان موجب کاهش افت وزن گردید. از آنجاکه مهم‌ترین علت افت وزن ضمن نگهداری، تنفس و تعریق است، استفاده از بسته‌بندی مناسب می‌تواند موجب کاهش افت وزن گردد، از آنجا که فیلم پلی‌اتیلنی حاوی پارافین کوتاه زنجیر است، به دلیل کنترل تاثیر نوسانات دمای محیط نگهداری، موجب کنترل تنفس و در نتیجه افت وزن می‌گردد [۱۱، ۱۵].



شکل (۱): مقایسه میانگین درصد افت وزن تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

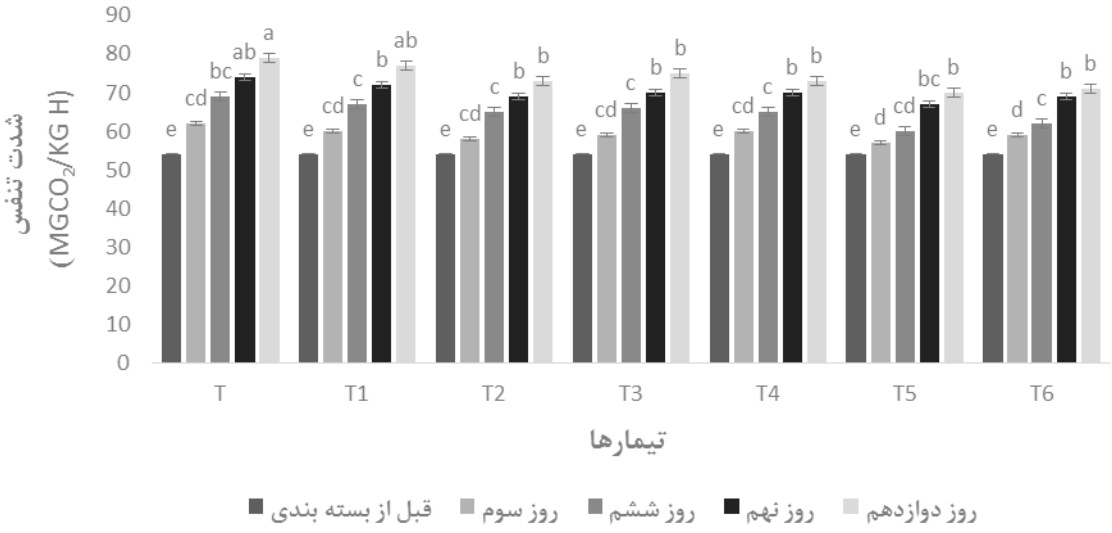
T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است).

[1] Red Delicious

۳-۲- نتایج اندازه گیری شدت تنفس قارچ

با توجه به شکل (۲) مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میزان میانگین درصد افزایش شاخص شدت تنفس تیمارهای قارچ کنترل و سایر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵).

طی زمان نگهداری روند افزایش معنی‌داری در میزان شاخص شدت تنفس تیمارهای قارچ مشاهده شد که بیشترین میزان تغییرات افزایشی شاخص شدت تنفس در تیمار قارچ کنترل و در روز نهم و دوازدهم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). به‌طورکلی میزان شاخص شدت تنفس در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول و پوشش با درصد کیتوزان بیشتر، همچنین در تیمارهای با بسته‌بندی نوین کمتر است. تنفس فرآیند زیستی غیر قابل اجتناب است. این فرآیند یکی از مشخصه‌های بارز پس از برداشت است که طی آن ذخایر قندی به آهستگی کم شده و محصول دچار تغییرات برگشت ناپذیری می گردد. با افزایش شدت تنفس فرآیند پیری با سرعت بیشتر به جریان می‌افتد و هر عاملی که شدت تنفس را به تعویق بیاندازد سبب افزایش عمر انبارمانی محصول می‌گردد [۱۶]. وجود پارافین کوتاه زنجیر در فیلم پلی‌اتیلنی به دلیل گرمای نهان بالا موجب کنترل نوسانات دمای محصول می‌شود از آنجا که یکی از دلایل افزایش شدت تنفس در مرحله پس از برداشت، افزایش دمای نگهداری و نوسانات دما ضمن حمل‌ونقل و نگهداری است استفاده از این بسته‌بندی نوین به دلیل کنترل نوسانات دما باعث کنترل تنفس می‌گردد [۱۱].



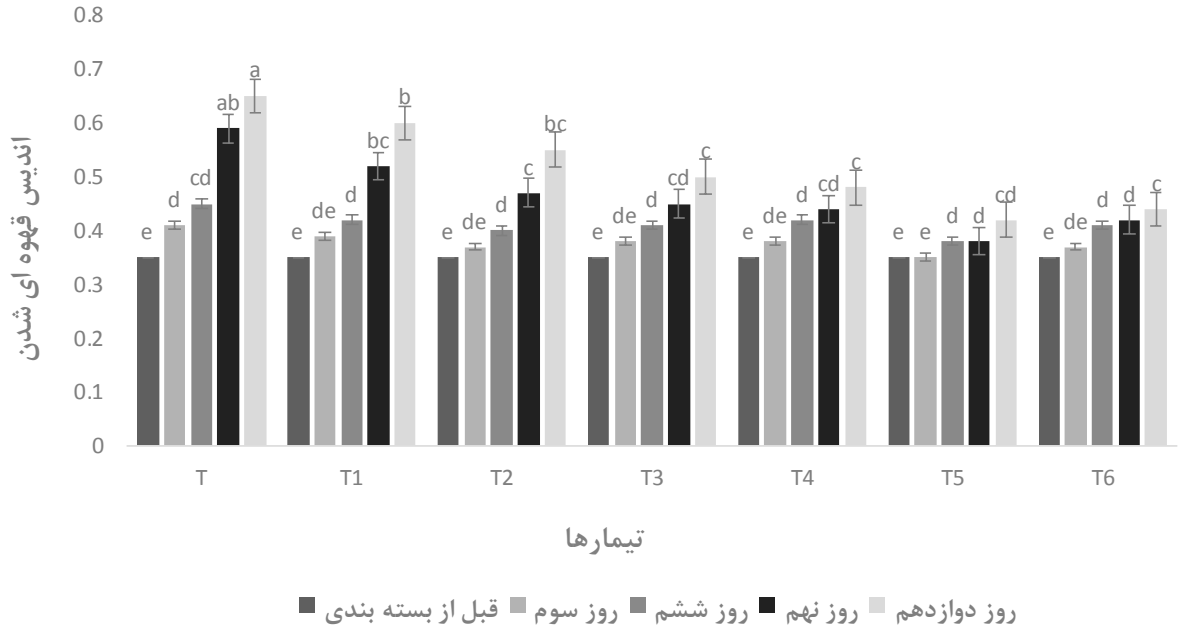
شکل (۲): مقایسه میانگین شدت تنفس تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است).

۳-۳- نتایج اندازه گیری ضریب قهوه‌ای شدن

با توجه به شکل (۳) مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میزان میانگین ضریب قهوه‌ای شدن تیمارهای قارچ کنترل و سایر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). طی زمان نگهداری روند افزایش معنی‌داری در میزان شاخص ضریب قهوه‌ای شدن تیمارهای قارچ مشاهده شد که بیشترین میزان تغییرات افزایشی شاخص ضریب قهوه‌ای شدن در تیمار قارچ کنترل و در روز نهم و دوازدهم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). به‌طورکلی میزان شاخص ضریب قهوه‌ای شدن در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول بالاتر از تیمارهای با بسته‌بندی نوین بود ($p\leq$۰/۰۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین درصد افزایش شاخص ضریب قهوه‌ای شدن تیمارهای قارچ مشاهده شد که با استفاده از پوشش‌دهی محلول کیتوزان در هر دو بسته‌بندی میزان شاخص ضریب قهوه‌ای شدن تیمارهای قارچ در هر دو بسته‌بندی متداول و نوین کاهش می‌یابد. به‌طورکلی میزان شاخص قهوه‌ای شدن در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول و پوشش با درصد کیتوزان بیشتر (۲٪)، همچنین در تیمارهای با بسته‌بندی نوین کمتر است. قهوه‌ای شدن قارچ یکی از علل مهم کاهش کیفیت طی نگهداری پس از برداشت است. قارچ‌های دکمه‌ای حاوی آب، نمک‌های معدنی، ویتامین‌ها، ترکیبات فنلی و آنزیم‌های مختلف از جمله پلی‌فنل اکسیدازها هستند. ماندگاری قارچ‌ها در صورتی که حداقل فرآوری را متحمل شده باشند به سبب قهوه‌ای شدن آنزیمی به چند روز محدود می‌شود. این واکنش‌های قهوه‌ای شدن به آسیبهای مکانیکی در حین نقل و انتقال

و فرآوری، خراش، شستشو، پیری و عفونت‌های باکتریایی مربوط می‌شود و کیفیت غذاهای فرآوری شده را کاهش می‌دهد. در قارچ پلی‌فنل‌اکسیداز[1] آنزیم اصلی مسئول قهوه‌ای شدن در نظر گرفته می‌شود. کنترل شرایط دمایی و تنفس منجر به کنترل واکنش‌های قهوه‌ای شدن می‌گردد.



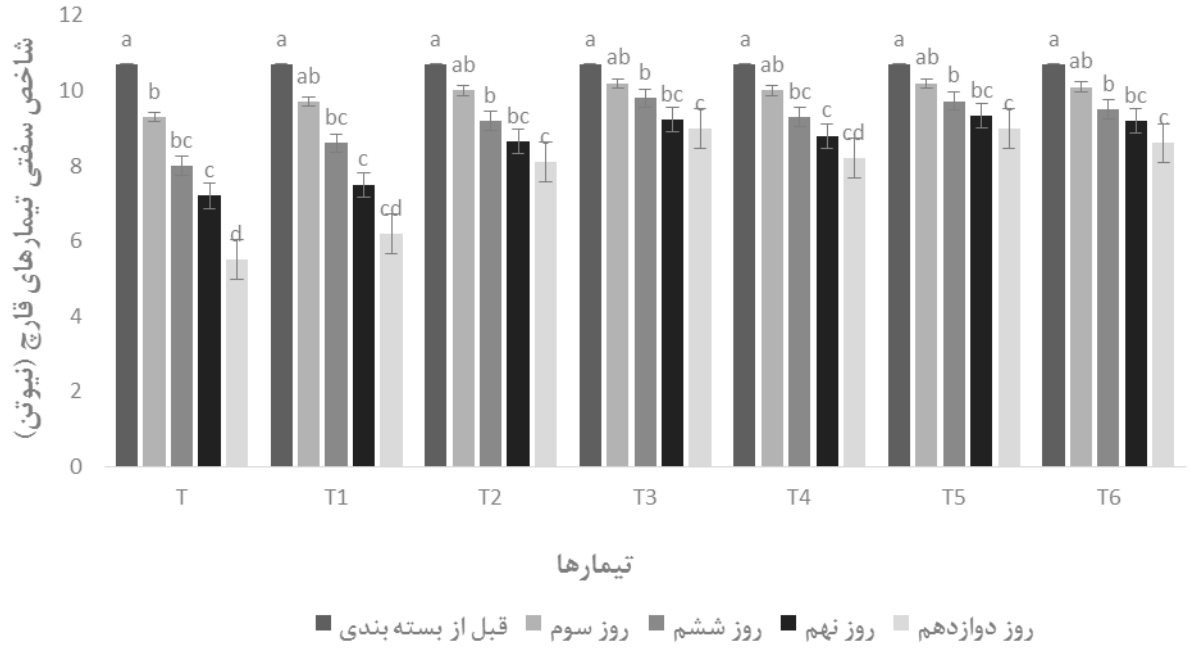
شکل (۳): مقایسه میانگین ضریب قهوه‌ای شدن تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

۳-۴- نتایج بررسی خصوصیات بافتی

با توجه به شکل (۴) مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میانگین درصد افت شاخص سفتی تیمارهای قارچ کنترل و سایر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). طی زمان نگهداری روند کاهشی معنی‌داری در میزان شاخص سفتی تیمارهای قارچ مشاهده شد که بیشترین میزان تغییرات شاخص سفتی در تیمار قارچ کنترل و در روز دوازدهم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). به‌طورکلی میزان افت شاخص سفتی در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول و پوشش با درصد کیتوزان بیشتر، همچنین در تیمارهای با بسته‌بندی نوین کمتر است ($p\leq$۰/۰۵). طی نگهداری قارچ بافت آن نرم و دچار آسیب‌دیدگی می‌شود و دلیل کاهش استحکام بافت ممکن است فرایندهای آنزیمی و تخریب دیواره سلول‌ها، از بین رفتن بافت پارانشیم و حل شدن پکتین در مایع داخل سلولی، کاهش میزان رطوبت قارچ‌ها و رشد باکتری‌ها باشد [۱۶]. از آنجا که تنفس و تعریق محصولات کشاورزی در مرحله پس از برداشت دو عامل مهم کاهش تردی بافت هستند استفاده از بسته‌بندی که این دو عامل را کنترل کند، موجب حفظ بافت و کیفیت به نحو مؤثرتری خواهدبود [۱۱].

[1] polyphenol oxidase



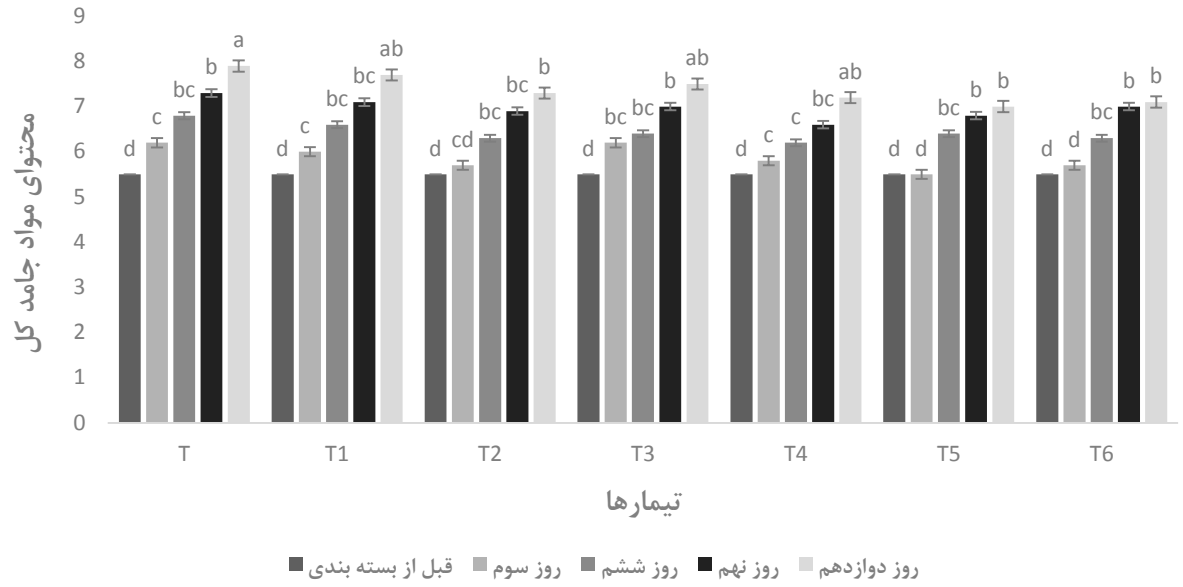
شکل (۴): مقایسه میانگین شاخص سفتی تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

۳-۵- نتایج ارزیابی محتوای مواد جامد کل (بریکس)

با توجه به شکل (۵) مشاهده شد که اختلافات معنی‌داری بین میانگین شاخص محتوای مواد جامد کل تیمارهای قارچ کنترل و سایر تیمارها در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت ($p\leq$۰/۰۵). طی زمان نگهداری روند افزایش معنی‌داری در میزان شاخص محتوای مواد جامد کل تیمارهای قارچ مشاهده شد که بیشترین میزان تغییرات افزایشی شاخص محتوای مواد جامد کل در تیمار قارچ کنترل و در روز دوازدهم نگهداری مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). به‌طورکلی میزان درصد افزایش شاخص محتوای مواد جامد کل در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول بالاتر از تیمارهای با بسته‌بندی نوین بود ($p\leq$۰/۰۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین درصد افزایش بریکس[1] در تیمارهای با پوشش حاوی درصد بیشتر کیتوزان و همچنین بسته‌بندی نوین به‌طور معنی‌داری کمتر است. مواد جامد محلول به علت شکسته شدن کربوهیدرات پلیمری به مولکول‌های کوچک‌تر محلول در آب، در هنگام رسیدن افزایش می‌یابد و در نتیجه این مقدار مواد جامد محلول در میزان آب کمتری قرار می‌گیرند که منجر به افزایش بریکس می‌شود. به عبارت دیگر در مدت زمان نگهداری هر چه میوه آب کمتری از دست دهد، بریکس میوه به میزان کمتری افزایش می‌یابد. اثر پوشش‌دهی همچنین بسته‌بندی نوین در کنترل افزایش مواد جامد محلول به دلیل کاهش سرعت تنفس و کاهش فرایندهای متابولیکی می‌باشد، از این رو فرایند پیری را به تأخیر می‌اندازد. پوشش‌ها با ایجاد یک غشاء نیمه تراوا در اطراف قارچ باعث کاهش از دست دادن آب شده و در نتیجه بریکس مقدارکمتری افزایش می‌یابد. مشابه نتایج این تحقیق توسط Jiang در سال ۲۰۱۲ به‌دست آمد. او گزارش کرد با گذشت زمان میزان مواد جامد محلول در قارچ‌های دکمه‌ای پوشش‌داده‌شده با سدیم آلژینات نگهداری شده در دمای ۴ درجه سلسیوس به میزان کمتری در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت [۱۵].

[1] Brix

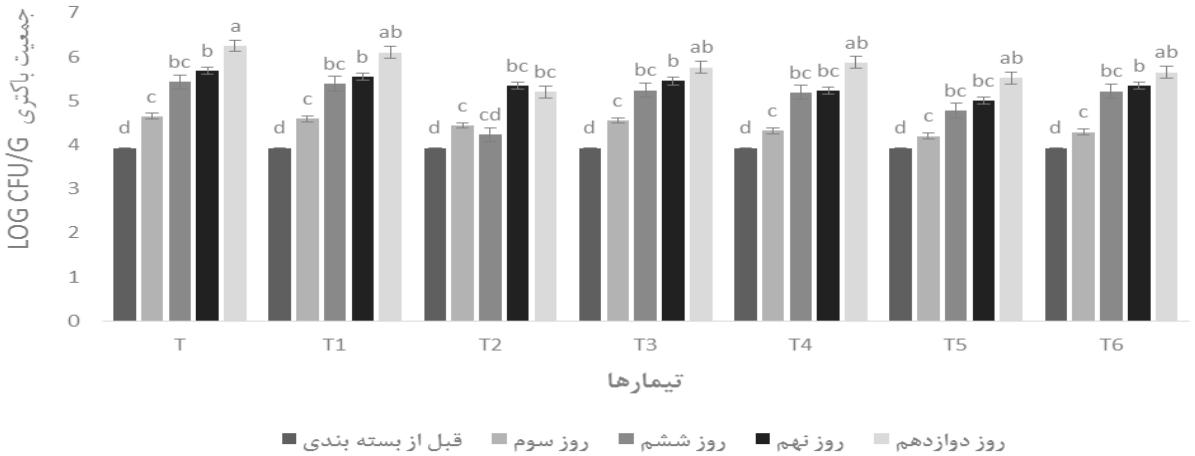


شکل (۵): مقایسه میانگین شاخص محتوای مواد جامد کل تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

۳-۶- نتایج ارزیابی خصوصیات ضدمیکروبی (شمارش باکتری‌های سرمادوست)

با توجه به شکل (۶) مشاهده شد که طی زمان نگهداری روند افزایش معنی‌داری در میزان شاخص جمعیت باکتری‌های سرمادوست *سودوموناس* مشاهده شد ($p\leq$۰/۰۵). بر اساس نتایج مقایسه میانگین درصد افزایش جمعیت *سودوموناس* در تیمارهای قارچ مشاهده شد که با استفاده از پوشش‌دهی محلول کیتوزان در هر دو بسته‌بندی میزان شاخص جمعیت *سودوموناس* در تیمارهای قارچ در هر دو بسته‌بندی متداول و نوین به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد اما در تیمار دارای ۱/۵ درصد کیتوزان کنترل جمعیت میکروبی مؤثرتر است. مقایسه نمونه شاهد (T) با نمونه دارای پوشش کیتوزان نشان می‌دهد که از کیتوزان ۱/۵ درصد (T2) اختلاف در روز ۱۲ نگهداری معنی‌دار می‌شود. مطالعات متعددی فعالیت ضد میکروبی کیتوزان را ضد باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی تایید کرده‌اند که احتمالاً ناشی از واکنش بین مولکول‌های کیتوزان با بار مثبت و غشای سلولی باکتری با بار منفی است [۱۷].



شکل (۶): مقایسه میانگین جمعیت باکتری‌های سرمادوست تیمارهای قارچ در طی دوازده روز نگهداری

T: فاقد پوشش خوراکی و با بسته‌بندی متداول،T1 پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T2، پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی متداول، T3پوشش ۲ دزصد کیتوزن و بسته‌بندی متداول، T4پوشش ۱ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین،T5 پوشش ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین، T6 پوشش ۲ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین (حروف مقایسه میانگین متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای اعمال شده در هر زمان نگهداری در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است)

۴- نتیجه گیری

بسته‌بندی فعال به سامانه‌ای اطلاق می‌شود که در آن ماده غذایی، ماده بسته‌بندی و اتمسفر داخل بسته در تعامل با هم می‌باشند تا بر ماندگاری و کیفیت محصول تأثیر مثبت داشته باشد. از اثرات این نوع بسته بندی به ویژه در مرحله پس از برداشت، کنترل نرخ تنفس است [۱۸]. نتایج این پژوهش نشان داد درصد افزایش *سودوموناس*، ضریب قهوه‌ای شدن، شدت تنفس قارچ، افت وزن و بریکس در تیمارهای قارچ با بسته‌بندی متداول محصولات کشاورزی (فیلم پلیمری) بالاتر از تیمارهای با بسته‌بندی نوین (فیلم پلیمری حاوی پارافین کوتاه زنجیر با گرمای نهان بالا) بود ($p\leq$۰/۰۵). در تیمار دارای ۱/۵ درصد پوشش کیتوزان میزان درصد افزایش شاخص جمعیت میکروبی تیمارهای قارچ به‌طور معنی‌داری کمتر از شاهد بود. از آنجا که انتخاب درصد کمتر و درعین‌حال، دارای تأثیر بیشتر به لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه بوده و امکان استفاده در مقیاس صنعتی را فراهم می‌آورد. در نتیجه قارچ پوشش‌دهی شده با ۱/۵ درصد کیتوزان و بسته‌بندی نوین به عنوان تیمار بهینه انتخاب گردید.

۵- مراجع

[۱] شاملو، ص، وزیری، ع، شکرابی، آ، سیف کردی، ع، افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی دکمه ای با پوشش‌های خوراکی بر پایه پلیمرهای طبیعی، علوم و صنایع غذایی ایران، دوره شانزدهم، شماره ۹۱، ۱۳۹۸.

[۲] وزیری، ع، سیف کردی، ه، شکرابی، ا، شاملو، ص، افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی دکمه‌ای با پوشش‌های خوراکی بر پایه پلیمرهای طبیعی، مجله علوم و صنایع غذایی ایران، سال شانزدهم، شماره ۶ (پیاپی ۹۱)، ۱۳۹۸

[3] M. Kozarski, A. Klaus, D. Jakovljevic, et al, "Antioxidants of Edible Mushrooms. Molecules," vol. 20, pp. 19489-19525, 2015. doi: 10.3390/molecules201019489

[۴] خضرایی م، جهادی م، فاضل م، علامه آ، بررسی تاثیر پوشش کیتوزان -اسانس لیمو بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای (آگاریکوس بیسپوروس) کامل، علوم غذایی و تغذیه، سال سیزدهم، شماره ۱، ۴۶-۳۵، ۱۳۹۳.

[۵] یاری، ف، میرزایی، س. بهبود ماندگاری قارچ تازه با استفاده ازخواص آنتی اکسیدانی اسانس‌های گیاهی، سومین کنگره ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم. ۱۳۹۴.

[6] K.M. Kim, H.J. Park, M.A. Hanna, "Effect of modified atmosphere packaging on the shelf-life of coated, whole and sliced mushrooms," vol. 39, pp. 365-372, 2006.

[7] A. Simon, E. Gonzalez-Fandos, "Ways of prolonging the shelf – life of fresh mushrooms," vol. 6, pp. 463-474, 2005.

[8] V.P. Mahajan, A. Motel, A. Leonhard, "Development of a moisture absorber for packaging of fresh mushrooms (Agaricus bisporous)," vol. 48, pp. 408-414, 2008.

[9] X. Zhao, M. Xia, X. Wei, C. Xu, Z. Luo, L. Mao, "Consolidated cold and modified atmosphere package system for fresh strawberry supply chains," vol. 109, pp. 207-215, 2019. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.032.

[10] A. Riahi, H. Mabudi, E. Tajbakhsh, L. Roomiani, H. Momtaz, "Optimizing chitosan derived from Metapenaeus affinis: a novel anti-biofilm agent against Pseudomonas aeruginosa," 2024. https://doi.org/10.1186/s13568-024-01732-1.

[11] F. Vahabi, S. Bahrami, M. Moslehishad, "The efect of novel packaging containing phase change material on broccoli quality during storage," vol. 23, pp. 207-215, 2022.

[12] M. Oliveira, M. Abadias, J. Usall, R. Torres, N. Teixidó, I. Viñas, "Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables – A review," vol. 46, pp. 13-26, 2015.

[13] S. Bahrami, M. Mizani, M. Honarvar, M. Noghabi, "Low molecular weight paraffin, as phase change material in physical and microstructural changes of novel LLDPE/LDPE/ paraffin composite pellets and films," vol. 26, pp. 885-893, 2017.

[14] A. López-Gómez, M. Ros-Chumillas, A. Navarro-Martínez, M. Barón, L. Navarro-Segura, A. Taboada-Rodríguez, F. Marín-Iniesta, G.B. Martínez-Hernández, "Packaging of Fresh Sliced Mushrooms with Essential Oils Vapours: A New Technology for Maintaining Quality and Extending Shelf Life," vol. 10, p. 1196, 2021. https://doi.org/10.3390/foods10061196.

[15] T. Jiang, L. Feng, J. Li, "Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (Lentinus edodes) treated with chitosan-glucose complex coating under cold storage," vol. 131, pp. 780-786, 2012.

[16] Y. Feng, H. Xu, Y. Sun, R. Xia, Z. Hou, Y. Li, Y. Wang, S. Pan, Y. Fan, J. Zhu, G. Xin, "Review of packaging for improving storage quality of fresh edible mushrooms," vol. 36, pp. 629-646, 2023. https://doi.org/10.1002/pts.2737.

[17] M. Nasaj, M. Chehelgerdi, B. Asghari, A. Ahmadieh-Yazdi, M. Asgari, S. Kabiri-Samani, E. Sharifi, M. Arabestani, "Factors influencing the antimicrobial mechanism of chitosan action and its derivatives: A review," vol. 277, p. 134321, 2024. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134321.

[۱۸] حاجی‌غفارلو، م، جوکی، م، بسته‌بندی هوشمند مواد غذایی: معرفی، مطالعه امکان‌سنجی طراحی و تولید در کشور، فصلنامه علوم و فنون بسته‌بندی، سال یازدهم، شماره ۴۴، ۶۷-۵۴، ۱۳۹۹.