Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Plant Production Research

Print ISSN: 2322-2050
Online ISSN: 2322-2778

(OPEN ACCESS)

Investigation of some quantitative and qualitative characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using natural compounds

Zahra Ziaei Ghahnavieh[1], Mohammadreza Raji[*2], Abdollah Ehteshamnia[3], Seyed Sajad Sohrabi[4]

1. Ph.D. Student of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: zahrazahra7356@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: raji.m@lu.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Horticultural Science Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran. E-mail: sohrabi.s@lu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 03.18.2025
Revised: 04.09.2025
Accepted: 06.10.2025

Keywords:
Button mushroom,
Nanochitosan,
Nanohydroxyapatite,
Natural coating,
Shelf life

ABSTRACT

Background and Objectives: Today, the technology of preparing nanomaterials with different morphologies has emerged one after another. Nanos have versatile applications in agriculture due to their outstanding biocompatibility properties. Encapsulating compounds in nano-size represents an advantageous technique for increasing their biological activity. Therefore, it increases the antimicrobial effect, forms a natural barrier on the outer surface of food to prevent water evaporation and control the exchange of oxygen and carbon dioxide resulting from product respiration, and does not pose a risk to humans and the environment. Therefore, the present study was conducted with the aim of investigating the effect of nanochitosan and nanohydroxyapatite, as well as their combined effects, on increasing the shelf life of button mushrooms.

Materials and Methods: For this purpose, the effect of these coatings was evaluated in a factorial experiment in a completely randomized design with three replications on the quality of button mushrooms. The experimental treatments included coating button mushrooms with different concentrations of nanochitosan (0, 1%, and 2%) and nanohydroxyapatite (0, 40, and 80 mg) for 28 days. The mushrooms were immersed in each of the coating solutions for five minutes according to the desired treatment. The mushrooms were removed from the solutions and placed on a mesh basket (at laboratory temperature) for 15 to 30 minutes to allow the excess coating to drip off. The mushrooms were then individually weighed and six in triplicate were transferred into disposable plastic containers with perforated lids. They were then transferred to a refrigerator at a temperature of four degrees Celsius. The control sample was immersed in distilled water for 5 minutes. After coating, the traits of weight loss percentage, texture firmness, cap opening, cap diameter changes, decay, shrinkage, pH, water reabsorption, color index parameters and sensory evaluation of the mushrooms were recorded and analyzed during 28 days of storage.

Results: Based on the results, the lowest percentage of weight loss, cap opening, cap diameter changes, decay, shrinkage, a, b and ΔE parameters of color index and viscosity parameter in sensory evaluation were obtained in nanochitosan coating containing 40 mg of nanohydroxyapatite, and the highest percentage of L parameter of color index and parameters of taste, color, odor, firmness and marketability of sensory evaluation during 28 days of storage compared to the control. In the control treatment (without coating), the highest percentage of weight loss, cap opening, cap diameter changes, decay, shrinkage, a, b and ΔE parameters of color index and viscosity in sensory evaluation were obtained and the lowest percentage of tissue firmness, water reabsorption, L parameter of color index, parameters of taste, color, odor, firmness and marketability of sensory evaluation index were obtained during 28 days of storage.

Conclusion: Finally, according to the findings of this study, it can be stated that the combined coating of 1% nanochitosan containing 40 mg nanohydroxyapatite can increase the post-harvest shelf life of button mushrooms up to 28 days, which is marketable by day 14.

Cite this article: Ziaei Ghahnavieh, Zahra, Raji, Mohammadreza, Ehteshamnia, Abdollah, Sohrabi, Seyed Sajad. 2026. Investigation of some quantitative and qualitative characteristics of button mushroom (*Agaricus bisporus*) using natural compounds. *Journal of Plant Production Research*, 33 (1), 185-212.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jopp.2025.23098.3212
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۵۰
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۷۸

بررسی برخی ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با استفاده از ترکیبات طبیعی

زهرا ضیائی قهنویه[۱]، محمدرضا راجی*[۲]، عبدالله احتشام‌نیا[۳]، سید سجاد سهرابی[٤]

۱. دانشجوی دکتری مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: zahrazahra7356@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: raji.m@lu.ac.ir
۳. دانشیار گروه مهندسی علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: ehteshamnia.ab@lu.ac.ir
٤. استادیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. رایانامه: sohrabi.s@lu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۳/۱۲/۲۸
تاریخ ویرایش: ۱٤۰٤/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰٤/۰۳/۲۰

واژه‌های کلیدی:
پوشش طبیعی،
زمان ماندگاری،
قارچ خوراکی،
نانوکیتوزان،
نانوهیدروکسی آپاتیت

چکیده

سابقه و هدف: امروزه فناوری تهیه ترکیبات نانومواد، با مورفولوژی‌های مختلف یکی پس از دیگری پدید آمده است. ترکیبات نانو دارای کاربردهای چندمنظوره در کشاورزی به‌دلیل خواص زیست‌سازگاری برجسته می‌باشند. محصور کردن ترکیبات در اندازه نانو نشان‌دهنده یک تکنیک مزیت برای افزایش فعالیت بیولوژیکی آن‌ها است. بنابراین باعث افزایش اثر خاصیت ضدمیکروبی، مانعی طبیعی در سطح بیرونی موادغذایی برای جلوگیری از تبخیر آب و کنترل تبادل اکسیژن و دی‌اکسیدکربن ناشی از تنفس محصول شده و خطری برای انسان و محیط‌زیست ایجاد نمی‌نمایند. از این‌رو پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت و هم‌چنین اثرات ترکیبی آن‌ها بر افزایش عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این آزمایش اثر پوشش‌های نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت و هم‌چنین اثرات ترکیبی آن‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار بر کیفیت نگه‌داری قارچ دکمه‌ای ارزیابی شد. تیمارهای آزمایش شامل پوشش‌دهی قارچ دکمه‌ای با غلظت‌های مختلف نانوکیتوزان (صفر، ۱ درصد و ۲ درصد) و نانوهیدروکسی آپاتیت (۰، ٤۰، ۸۰ میلی‌گرم) به‌مدت ۲۸ روز بود. قارچ‌ها به روش غوطه‌وری طبق تیمار مورد نظر داخل هر کدام از محلول‌های پوشش‌دهی به‌مدت پنج دقیقه قرار گرفتند. بعد از اعمال تیمار قارچ‌ها از محلول خارج شدند و به‌مدت ۱۵ تا ۳۰ دقیقه روی سبد مشبک (در دمای آزمایشگاه) قرار گرفتند تا مقدار اضافه ماده پوشش‌دهنده چکه کند. سپس قارچ‌ها به صورت انفرادی توزین شده و تعداد شش عدد در سه تکرار درون ظروف پلاستیکی بسته‌بندی یک بار مصرف دارای

درب سوراخ‌دار منتقل شدند. سپس به یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس منتقل گردیدند. نمونه شاهد به‌مدت ۵ دقیقه داخل آب مقطر غوطه‌ور شد. بعد از پوشش‌دهی ویژگی صفات، درصد کاهش وزن، سفتی بافت، بازشدن کلاهک، تغییرات قطر کلاهک، پوسیدگی، چروکیدگی، pH، بازجذب آب، پارامترهای شاخص رنگ و ارزیابی حسی قارچ‌ها طی ۲۸ روز نگه‌داری یادداشت‌برداری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

یافته‌ها: براساس نتایج در پوشش نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤٠ میلی‌گرم کم‌ترین میزان درصد کاهش وزن، باز شدن کلاهک، تغییرات قطر کلاهک، پوسیدگی، چروکیدگی، پارامترهای a^* (قرمزی)، b^* (زردی) و ΔE^* شاخص رنگ و پارامتر لزجی در ارزیابی حسی و نیز بیش‌ترین میزان پارامتر L^* (روشنایی) شاخص رنگ و پارامترهای طعم، رنگ، بو، سفتی و بازارپسندی ارزیابی حسی در طی ۲۸ روز ذخیره‌سازی نسبت به شاهد حاصل شد. در تیمار کنترل (بدون پوشش) بیش‌ترین میزان درصد کاهش وزن، باز شدن کلاهک، تغییرات قطر کلاهک، پوسیدگی، چروکیدگی، پارامترهای a^*، b^* و ΔE^* شاخص رنگ و لزجی در ارزیابی حسی و کم‌ترین میزان سفتی بافت، بازجذب آب، پارامتر L^* شاخص رنگ، پارامترهای طعم، رنگ، بو، سفتی و بازارپسندی شاخص ارزیابی حسی در طی ۲۸ روز ذخیره‌سازی حاصل شد.

نتیجه‌گیری: در نهایت با توجه به یافته‌های این مطالعه می‌توان چنین بیان نمود که پوشش‌دهی ترکیبی نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤٠ میلی‌گرم می‌تواند ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را تا ۲۸ روز بهبود ببخشد که تا روز ١٤ قابلیت بازارپسندی را دارد.

استناد: ضیائی قهنویه، زهرا، راجی، محمدرضا، احتشام‌نیا، عبدالله، سهرابی، سید سجاد (۱۴۰۵). بررسی برخی ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) با استفاده از ترکیبات طبیعی. *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۳۳ (۱)، ۲۱۲-۱۸۵.
DOI: 10.22069/jopp.2025.23098.3212

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

قارچ *Agaricus bisporus*، یکی از پرکاربردترین قارچ‌های خوراکی در سراسر جهان است. *A. bisporus* به‌عنوان یک غذای سالم با مقادیر فراوانی از اسیدهای آمینه، ویتامین‌ها، موادمعدنی، پلی‌فنول‌ها، پروتئین‌ها و فیبرهای غذایی مورد استقبال قرار می‌گیرد (۱). *A. bisporus* دارای خواص بیولوژیکی بسیار ارزشمندی، مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدباکتریایی، ضدالتهابی، ضدتوموری و سیستم ایمنی است (۲). با این‌حال، به‌دلیل سرعت تنفس بالا و آسیب‌پذیری آن در برابر قهوه‌ای شدن و حمله میکروبی، بسیار فاسد شدنی است و معمولاً ماندگاری کوتاهی در عرض ۳–۵ روز در دمای اتاق دارد (۳).

امروزه استفاده از پوشش‌های طبیعی به‌عنوان یک فناوری به نسبت جدید و ساده در جلوگیری از تغییرات نامطلوب کیفی محصولات مختلف بسیار مؤثر می‌باشد (٤). پوشش‌های طبیعی و خوراکی بـه پوشش‌های پروتئینی، پلی‌ساکاریدی، لیپیدی و یا ترکیبی از آن‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند و می‌توانند با به تاخیر انداختن در کاهش از دست‌دهی آب، حفظ ترکیبات معطر، کاهش تنفس و تاخیر در تغییرات ساختاری میوه، موجب افزایش نگه‌داری محصولات باغبانی گردند (۵). توسعه فناوری تهیه نانومواد، نانوهیدروکسی آپاتیت و نانوکیتوزان با مورفولوژی‌های مختلف یکی پس از دیگری پدید آمده است (٦). محصور کردن ترکیبات فعال زیستی در اندازه نانومتریک نشان‌دهنده یک تکنیک مزیت برای افزایش فعالیت بیولوژیکی آن‌ها است (۵).

کیتوزان یک پلی‌ساکارید کاتیونی است که از استیل‌زدایی کیتین، که جزء اصلی اسکلت بیرونی سخت‌پوستان و دومین پلی‌ساکارید فراوان در طبیعت است، به‌دست می‌آید (۷). نانوکیتوزان به‌دلیل زیست تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری و غیرسمی بودن به‌عنوان یک جزء ایده‌آل برای پوشش‌های طبیعی در نظر گرفته می‌شود (۵). نانوکیتوزان به‌طورکلی دارای خواص مکانیکی خوب و نفوذپذیری انتخابی در برابر گازها است. علاوه براین، ادغام ترکیبات ضدمیکروبی و یا آنتی‌اکسیدانی در پوشش نانوکیتوزان می‌تواند خواص فیزیکی، مکانیکی و بیولوژیکی پوشش را بیش‌تر بهبود بخشد (۸).

نانوهیدروکسی آپاتیت به‌دلیل خواص زیست‌سازگاری، کاربردهای چندمنظوره در صنایع زیست پزشکی و کشاورزی دارد (۹). هیدروکسی آپاتیت یکی از حیاتی‌ترین مواد زیستی، با فرمول شیمیایی [Ca10(Po4)6(OH)2] پایدارترین و زیست‌سازگارترین شکل فسفات کلسیم است که ماده‌معدنی اصلی استخوان انسان است (۱۰). نانوهیدروکسی آپاتیت برای حفظ ساختار خود باید پایداری مکانیکی خوبی داشته باشد (۱۱). نانوهیدروکسی آپاتیت دارای اندازه ذرات کوچک، سرعت تلفات کم و خواص کند رهش است که می‌تواند انحلال کودها را با جذب محصول هماهنگ کند (۹). هیدروکسی آپاتیت به‌دست آمده از منابع طبیعی یا زباله‌های زیستی، از صدف، استخوان گاو، استخوان دهنه، استخوان ماهی و استخوان شتر، فعالیت متابولیکی بهتر و افزایش فعالیت زیستی را در مقایسه با نمونه‌های مصنوعی دارد (۱۰). هم‌چنین کارایی بالاتر نانوهیدروکسی آپاتیت نسبت به کودهای فسفر معمولی و کاهش اثرات زیست‌محیطی پیشنهاد شده است (۱۱). در مطالعه‌ای به بررسی اثر نانوکیتوزان حاوی اسانس زیره سبز (CEO-CSNPs) بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای طی ۲۰ روز نگه‌داری در سردخانه پرداختند و نتیجه گرفتند که در مقایسه با

نمونه‌های کنترلی که پس از ۱۰ روز ذخیره‌سازی کیفیت خود را از دست می‌دهند، به کیفیت کلی قابل‌قبول اشاره کرد (۱۲). در پژوهشی اثر روغن زردچوبه (TEO) و نانوکیتوزان حاوی روغن زردچوبه (TEO-CSNPs) بر افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای سفید مورد ارزیابی قرار دادند. به طور کلی، تیمار TEO-CSNPs پذیرش کلی میوه‌ها را تا روز ۱۵ حفظ کرد، اما قارچ‌های دکمه‌ای کنترلی قبل از روز ۱۰ پذیرش خود را از دست دادند (۱۳). مهار طویل شدن هیپوکوتیل جوانه‌های ماش به حضور نانوساختارها در سلول‌ها و افزایش غلظت کلسیم نسبت داده شد (۱٤).

با توجه به اهمیت اقتصادی قارچ دکمه‌ای و ضرورت ارائه راهکارهای مطلوب افزایش ماندگاری پس‌ازبرداشت، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر ترکیبات طبیعی بر طول دوره نگه‌داری قارچ دکمه‌ای، از نانوکیتوزان، نانوهیدروکسی آپاتیت و ترکیب این دو جهت پوشش‌دار نمودن قارچ دکمه‌ای استفاده شده است. با مدنظر قرار دادن فسادپذیری بالای قارچ دکمه‌ای، به‌کار بردن پوشش طبیعی در راستای حفظ کیفیت و ماندگاری موادغذایی منجر به کاهش ضایعات و سود اقتصادی می‌شود.

مواد و روش‌ها

ابتدا قارچ دکمه‌ای در مهرماه ۱٤۰۲ از کارگاه پرورش قارچ واقع در شهرک صنعتی استان لرستان تهیه شد. کیتوزان با مشخصات (وزن مولکولی: ۱۹۰–۳۱۰ کیلو دالتون براساس ویسکوزیته؛ ویسکوزیته: ۲۰۰–۸۰۰ cP؛ درجه استیلاسیون: ۷۵–۸۵ درصد) و نانوهیدروکسی آپاتیت با مشخصات (وزن مولکولی: ۱۰٤/٦ گرم بر مول؛ اندازه ذرات: ۳۰–۱۰ نانومتر؛ چگالی ۳/۰۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب)، از شرکت تماد کالا تهران تهیه گردید.

تهیه محلول‌های پوشش‌دهی: برای تهیه تیمار محلول پوشش‌دهی نانوکیتوزان ابتدا باید محلول پوشش‌دهی کیتوزان تهیه شود. بنابراین برای تهیه محلول پوشش‌دهی کیتوزان ابتدا با افزودن یک گرم پودر کیتوزان، ۹۹ سی‌سی آب مقطر و یک سی‌سی استیک اسید و هم زدن بدون حرارت‌دهی انجام شد و برای تهیه کیتوزان دو درصد هم به همین ترتیب انجام گرفت با این تفاوت که دو گرم پودر کیتوزان اضافه شد. برای تهیه محلول پوشش‌دهی نانوکیتوزان یک درصد ابتدا ۰/۵ گرم پودر سدیم تری‌پلی‌فسفین در ۱۵۰ سی‌سی آب مقطر حل شد و سپس در بورت ریخته شد و قطره قطره به محلول کیتوزان یک درصد اضافه شد و به‌طور مکرر سونیک و هم‌زدن بدون حرارت‌دهی انجام شد. تهیه محلول پوشش‌دهی نانوکیتوزان دو درصد نیز به همین ترتیب انجام شد (۵). در نهایت pH محلول به ۵/۵ رسانده شد و سپس فقط محلول پوشش‌دهی نانوکیتوزان برای اعمال تیمار استفاده شد. از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدان (FE-SEM, Mara3 Tescan, Czech Republic) برای بررسی اندازه نانو و خصوصیات مورفولوژیکی نانوکیتوزان استفاده شد. برای تهیه محلول‌های پوشش‌دهی میکس، نانوکیتوزان یک درصد را با اضافه کردن ۵ سی سی توین ۸۰ درصد و ۱۰ قطره گلیسرول ۸۵ درصد بار دیگر تهیه کرده و سپس ۱۰۰ سی‌سی از آن را برداشته و با افزودن ٤۰ میلی‌گرم نانوهیدروکسی آپاتیت به ۱۰۰ سی‌سی آب مقطر مخلوط کردیم و در نهایت درون ۳ لیتر آب مقطر حل کرده و دو قطره توین به آن اضافه شد. سپس برای غلظت نانوکیتوزان یک درصد حاوی ۸۰ میلی‌گرم

نانوهیدروکسی آپاتیت نیز به همین ترتیب عمل کردیم. تهیه محلول میکس نانوکیتوزان دو درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت به همین ترتیب صورت گرفت. برای تهیه محلول پوشش‌دهی غلظت‌های مختلف نانوهیدروکسی آپاتیک، ابتدا نانوهیدروکسی آپاتیت در غلظت ٤٠ میلی‌گرم وزن گردید و سپس به ١٠٠ سی‌سی آب مقطر اضافه شد و برای حل شدن، استیرر صورت گرفت. در نهایت غوطه‌وری قارچ‌ها در محلول به‌دست آمده، ٣ لیتر آب مقطر و اضافه کردن دو قطره تویین انجام شد. تهیه محلول پوشش‌دهی برای غلظت نانوهیدروکسی آپاتیت ٨٠ میلی‌گرم نیز مانند غلظت ٤٠ میلی‌گرم انجام شد.

آماده‌سازی نمونه و پوشش‌دهی قارچ‌ها: قارچ‌های دکمه‌ای برداشت شده با اندازه کلاهک ٥-٤ سانتی‌متر (عدم باز شدن چتر زیر کلاهک) از چین دوم در کم‌ترین زمان به آزمایشگاه انتقال داده شدند سپس با آب مقطر شست و شو و ساقه آن‌ها کوتاه شد و برای غوطه‌وری در تیمارهای مورد مطالعه آماده شدند. قارچ‌هایی که برای پوشش‌دهی آماده شدند به ٩ گروه تقسیم شدند. یک نمونه بدون پوشش و ٨ نمونه حاوی پوشش با درصدهای متفاوت نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت تهیه و کدگذاری شدند. قارچ‌های خوراکی به روش غوطه‌وری طبق تیمار موردنظر داخل هر کدام از محلول‌های پوشش‌دهی به‌مدت پنج دقیقه قرار گرفتند. قارچ‌ها از محلول‌ها خارج شدند و به‌مدت ١٥ تا ٣٠ دقیقه بر روی سبد مشبک (در دمای آزمایشگاه) قرار گرفتند تا مقدار اضافه ماده پوشش‌دهنده چکه کند. سپس قارچ‌ها به‌صورت انفرادی توزین شده و تعداد شش عدد در سه تکرار درون ظروف پلاستیکی بسته‌بندی یک بار مصرف دارای درب سوراخ‌دار منتقل شدند. سپس به یخچال با دمای چهار درجه سلسیوس منتقل گردیدند. نمونه شاهد به مدت ٥ دقیقه داخل آب مقطر غوطه‌ور شد. اندازه‌گیری داده‌ها در روزهای صفر، ٧، ١٤، ٢١ و ٢٨ انجام گرفت.

درصد کاهش وزن و سفتی بافت: وزن قارچ‌ها پس از پوشش‌دهی و قبل از انتقال به یخچال و هم‌چنین در روزهای صفر، ٧، ١٤، ٢١ و ٢٨ نگه‌داری با ترازوی دیجیتال با دقت ٠/٠٠١ گرم اندازه‌گیری شد (١٥). درصد کاهش وزن در روزهای مختلف طبق رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{کاهش وزن (درصد)} = W_0-W_1/W_0 \times ١٠٠ \qquad (١)$$

در معادله فوق W_0 و W_1 به ترتیب بیانگر وزن اولیه قارچ در روز اول بعد از پوشش‌دهی و وزن قارچ در روزهای صفر، ٧، ١٤، ٢١ و ٢٨ است.

میزان سفتی بافت قارچ‌ها با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج (Lutron, FG5020) اندازه‌گیری شد. قطر پروب مورد استفاده ٣ میلی‌متر، سرعت نفوذ ١٠ میلی‌متر بر ثانیه و عمق نفوذ در مرکز کلاهک قارچ ٥ میلی‌متر در نظر گرفته شد. سفتی به صورت حداکثر نیروی وارده (بر حسب نیوتون) برای ایجاد سوراخ و نفوذ به این عمق ثبت گردید (١٦).

بازشدن کلاهک و تغییرات قطر کلاهک: باز شدن کلاهک جزء شاخص‌های اندازه‌گیری می‌باشد و برای اندازه‌گیری از کولیس استفاده شد. معیار باز شدن کلاهک، دیدن تیغه‌های زیر کلاهک (به عبارت دیگر باز شدن چتر زیر کلاهک قارچ دکمه‌ای) بود، که فاصله بین پایه و کلاهک جدا شده از آن به کمک کولیس اندازه‌گیری می‌شد (١٧). برای اندازه‌گیری قطر کلاهک از کولیس استفاده شد. برای این کار با استفاده از کولیس قطر کلاهک اندازه‌گیری شد (١٨).

پوسیدگی و چروکیدگی: پس از هر بار خارج کردن نمونه‌ها از یخچال پوسیدگی و چروکیدگی به‌صورت

چشمی یادداشت شد و به‌صورت درصد بیان شد. معیار پوسیدگی و چروکیدگی، قارچ‌هایی بودند که حالت لزج پیدا کرده بودند.

pH و بازجذب آب: ابتدا برای عصاره‌گیری، قارچ‌ها با رنده ریز، رنده شدند سپس در پارچه‌ای سفید رنگ و نازک و کاملاً تمیز ریخته شدند و با فشار دادن پارچه عصاره آن خارج شد، و سپس نمونه‌ها بااستفاده از دستگاه pH متر دیجیتال خوانده شد (۱۹). دو گرم از نمونه خشک شده همراه با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر در بشر ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به‌مدت دو ساعت در دمای اتاق قرار گرفت. پس از آبکشی مجدداً توزین گردید. سپس میزان بازجذب آب با رابطه زیر محاسبه شد (۲۰).

(۲) ۱۰۰ × (وزن نمونه خشک شده / (وزن نمونه خشک شده – خیسانده شد وزن نمونه خیسانده‌شده)) = آب درصد بازجذب

ارزیابی تغییرات رنگ: تصویرگیری با استفاده از تجهیزات عکس‌برداری متشکل از اتاقک تاریک (جهت جلوگیری از ایجاد نوسان در عکس‌برداری و عدم بازتاب نور) و دو لامپ فلورسانت انجام گرفت. عکس‌برداری با استفاده از دوربین (cannon power shot 1000D) انجام گرفت. میزان تغییر رنگ (ΔE^*) نمونه‌های تیمار شده با قارچ تازه با نرم‌افزار jcpicker و با استفاده از رابطه زیر به‌دست آمد. a^*، b^* و L^* به ترتیب میزان پارامتر قرمزی از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت)، زردی از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) و روشنایی از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰) را در نمونه‌های تحت آزمون نشان می‌دهد (۱۶).

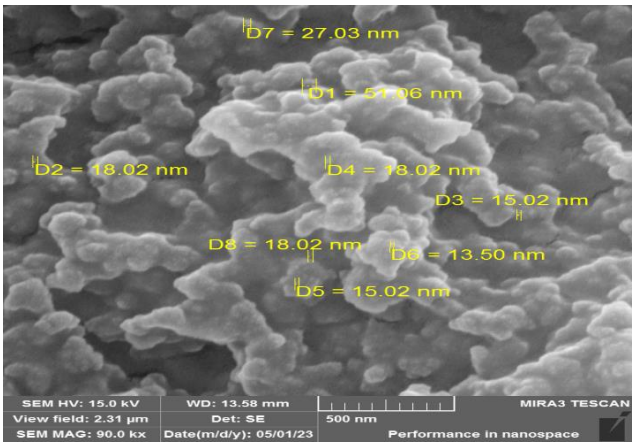
$$\Delta E = [(L-97)^2 + (a-(-2))^2+b^2]^{1/2} \quad (۳)$$

ارزیابی حسی ظاهر قارچ دکمه‌ای: ارزیابی حسی برای نمونه‌های پوشش داده شده و بدون پوشش قارچ در ابتدا و پایان مرحله نگه‌داری، با استفاده از روش هدونیک ۵ نقطه‌ای براساس میزان پذیرش رنگ، بو، سفتی، لزجی بافت، طعم و بازارپسندی با قضاوت ۱۰ نفر فرد آموزش دیده به‌عنوان داور در ۵ نقطه مقیاس انجام شد. این مقیاس‌ها شامل ۱= خیلی ضعیف، ۲= ضعیف، ۳= متوسط، ٤= خوب و ۵= عالی بودند. به این صورت که به هر داور فرم حاوی جدول مربوط به امتیازدهی و مقدار کافی از نمونه به‌صورت تصادفی در ظروف متداول بسته‌بندی قارچ به‌صورت کدگذاری شده داده شد. ارزیابی حسی پارامترهای رنگ، بو، سفتی، لزجی و بازارپسندی به‌صورت خام و پارامتر طعم به‌صورت پخته انجام شد. برای پختن تنها از نمک و ادویه و روغن استفاده شد (۲۱).

طرح آماری و آنالیز داده‌ها: آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. از نرم‌افزار SAS جهت تجزیه و تحلیل آماری استفاده گردید.

نتایج و بحث

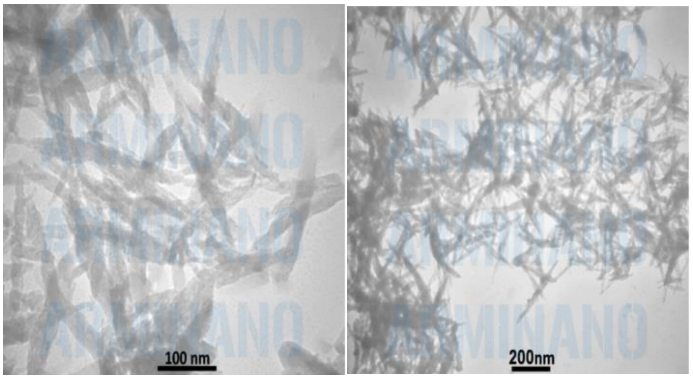
مورفولوژی نانوکیتوزان توسط یک میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدان (FESEM) آنالیز شد. تصاویر FESEM از نانوکیتوزان یک شکل کروی و توزیع منظم را نشان دادند. اندازه متوسط نانوکیتوزان بین ۱۳ و ۵۱ نانومتر توزیع شد (شکل ۱).



شکل ۱- میکروگراف FESEM از نانوکیتوزان تهیه شده.

Fig. 1. FESEM micrograph of prepared nanochitosan.

نانوهیدروکسی آپاتیت از شرکت تماد کالا تهران خریداری شد. تصاویر آنالیز مورفولوژی نانوهیدروکسی آپاتیت در شکل ۲ نشان داده شده است. اندازه متوسط نانوهیدروکسی آپاتیت بین ۲۰۰ و ۱۰۰ نانومتر است.



شکل ۲- میکروگراف TEM از نانوهیدروکسی آپاتیت خریداری شده.

Fig. 2. TEM micrograph of purchased nanohydroxyapatite.

جدول ۱، تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر صفات، سفتی بافت، افت وزنی، بازشدن کلاهک، تغییرات قطر کلاهک، پوسیدگی، چروکیدگی، pH و بازجذب آب بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول اثرات یگانه، دوگانه و اثر سه‌گانه تیمارها بر اندازه‌گیری صفات ذکرشده بر عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای.

Table 1. Analysis of variance of the effect of nanochitosan and nanohydroxyapatite on post-harvest shelf life of button mushrooms.

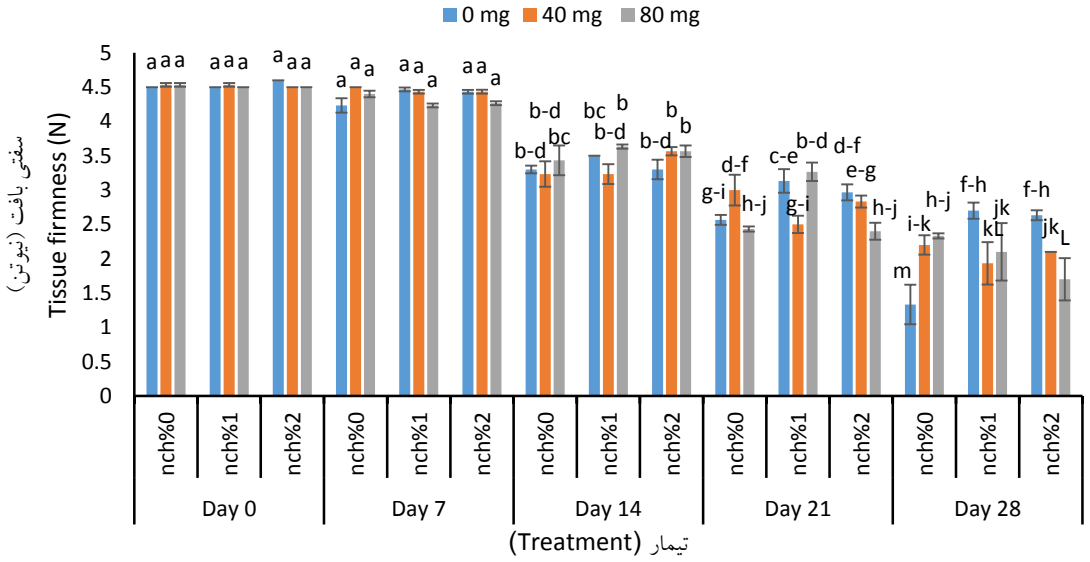
منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی df	سفتی بافت Tissue firmness	افت وزنی Weight loss	باز شدن کلاهک Opening the cap	پوسیدگی rot	چروکیدگی Wrinkling	تغییرات قطر کلاهک Cap diameter changes	بازجذب آب Water reabsorption	pH
روز Day	4	28.55**	269.74**	4260.62**	179.65**	172.11**	1507.12**	82576.19**	4.43**
نانوکیتوزان Nanochitosan	2	0.23**	269.98**	166.09**	9.27**	15.02**	60.94**	4969.20**	0.59**
نانوهیدروکسی آپاتیت Nanohydroxyapatite	2	0.04**	149.99**	155.21**	0.31**	10.89**	56.16**	4369.20**	0.01**
روز × نانوکیتوزان Day × Nanochitosan	8	0.062**	37.24**	15.33**	1.14**	4.41**	13.86**	3293.01**	0.12**
روز × نانوهیدروکسی آپاتیت Day × Nanohydroxyapatite	8	0.071**	25.01**	11.68**	0.49**	2.28**	5.31**	469.66**	0.04**
نانوکیتوزان × نانوهیدروکسی آپاتیت Nanochitosan× Nanohydroxyapatite	4	0.56**	4.40**	80.24**	1.60**	1.16**	86.37**	2190.91**	0.37**
روز × نانوکیتوزان × نانوهیدروکسی آپاتیت Day×Nanochitosan× Nanohydroxyapatite	16	0.24**	3.97**	23.12**	0.82**	0.51**	12/10**	1077.38**	0.11**
خطا Error	90	0.044	0.42	3.48	0.25	0.007	1.09	81.81	0.01
کل Total	134	–	–	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)	–	6.11	5.71	12.01	16.80	3.51	1.62	5.50	1.51

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح آماری یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار است

**, * and ns are significant at the one and five percent statistical levels, respectively, and are not significant

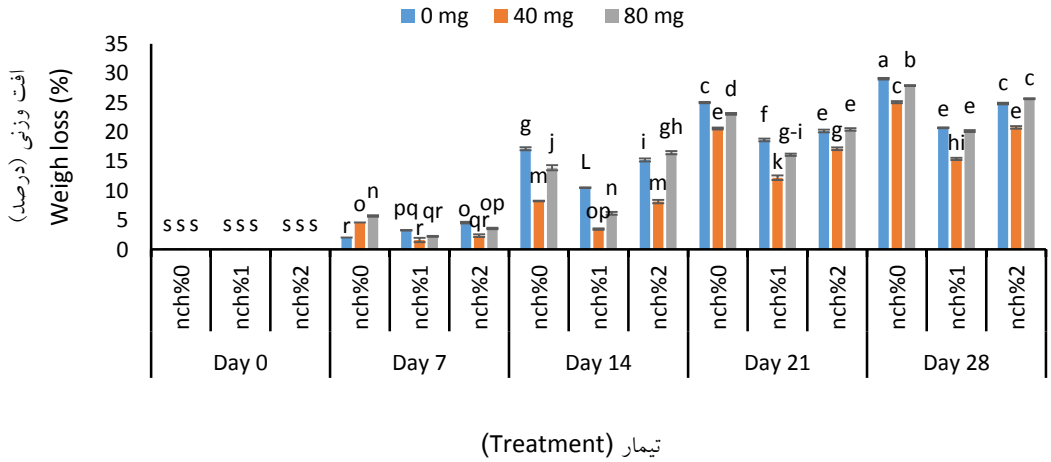
سفتی بافت و درصد کاهش وزن: همان‌طور که در شکل‌های ۳ و ٤ نشان داده شده است، کاهش تدریجی سفتی بافت و افزایش تدریجی افت وزن در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از برخی غلظت‌های پوشش‌های نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی یا همراه با نانوکیتوزان منجر به افزایش سفتی بافت و کاهش افت وزن در مقایسه با گروه کنترل شد. بیش‌ترین میزان سفتی بافت در تیمار نانوکیتوزان دو درصد روز صفر نگه‌داری با میزان

(٤/٦٠٠) بود. بیش‌ترین میزان افت وزن در تیمار کنترل (بدون پوشش) روز ۲۸ نگه‌داری با میزان (۲۹/۰۷) بود. به‌طور خاص، در تیمار کنترل (بدون پوشش) روز ۲۸ نگه‌داری، کم‌ترین سفتی بافت با میزان (۱/۳۳۳) مشاهده شد. در تمام تیمارهای روز صفر نگه‌داری، کم‌ترین افت وزن مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. کم‌ترین افت وزن در سایر روزها در تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤٠ میلی‌گرم مشاهده شد. این نتایج تأثیر قابل‌توجهی از تیمار ترکیبی نانوکیتوزان یک درصد و نانوهیدروکسی آپاتیت را برجسته می‌کند.



شکل ۳- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای سفتی بافت نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 3. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the tissue stiffness content of button mushroom samples.



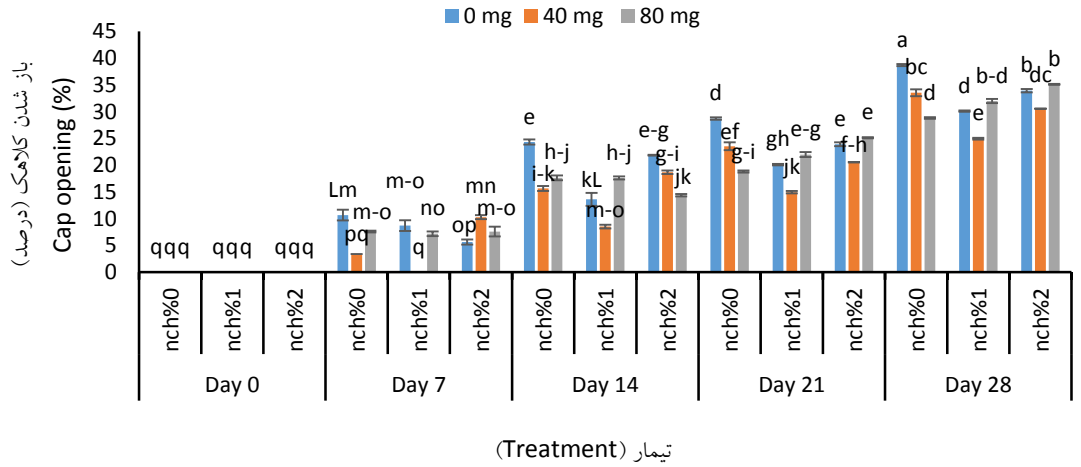
شکل ٤- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای افت وزنی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 4. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the weight loss content of button mushroom samples.

از آن‌جایی‌که نرم شدن بافت در نتیجه متابولیسم کربوهیدرات دیواره‌سلولی می‌تواند توسط عفونت قارچی در طول ذخیره‌سازی ایجاد شود، حفظ سفتی قارچ‌های تیمار شده با نانوهیدروکسی آپاتیت می‌تواند به‌واسطه فعالیت ضدمیکروبی و ضدباکتریایی آن باشد (۲۲). پیری قارچ‌ها منجر به بافت نرم و اسفنجی می‌شود که با نرم شدن بافت قارچ مشخص می‌شود. بنابراین، سفتی عامل مهمی است که کیفیت قارچ را منعکس می‌کند (۸). کاهش وزن قارچ به این دلیل است که ساختار اپیدرمی نازک قارچ نمی‌تواند از کم‌آبی سریع سطحی و سرعت تعرق زیاد آن جلوگیری کند (۸). اندازه قطرات کوچک‌تر و توزیع اندازه قطرات همگن‌تر در پوشش احتمالاً مقاومت در برابر انتشار مولکول‌های آب مشابه پوشش (نانوکیتوزان یک درصد با نانوهیدروکسی آپاتیت میلی‌گرم) ایجاد کرده است. کاهش وزن کم تولید شده توسط این پوشش‌ها هم‌چنین می‌تواند نتیجه کاهش سرعت تنفس باشد.

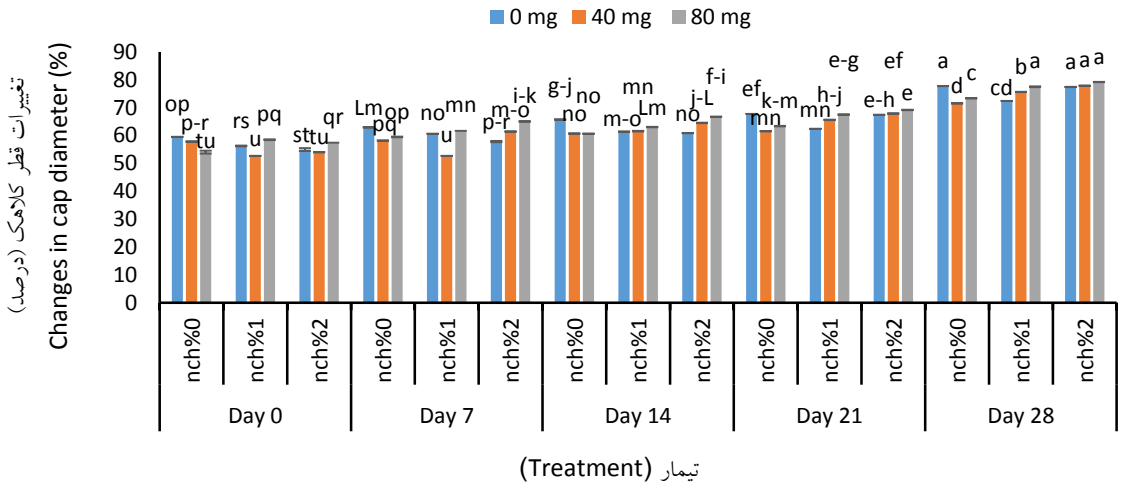
در مطالعه‌ای، سفتی بالاتر برای قارچ‌های تیمار شده با روغن کیتوزان و اسطوخودوس به دست آمد. روغن اسطوخودوس فعالیت ضدباکتریایی و ضدقارچی از خود نشان داده است. جالب توجه است که این آزمایش اثربخشی اسانس اسطوخودوس را بر حفظ سفتی قارچ نیز نشان داد (۲۲). طی مطالعه‌ای دریافتند که، تیمار پوشش کیتوزان دو درصد باعث حفظ سفتی بافت در طول نگه‌داری در مقایسه با سایر کاربردهای پوشش شد. نتایج نشان داد که پوشش کیتوزان، به ویژه استفاده از محلول کیتوزان با نسبت بالا به‌عنوان عامل پوشش، پتانسیل بهبود کیفیت بافت قارچ دکمه‌ای را دارد (۲۳). در مطالعه‌ای دریافتند که پوشش آلوئه‌ورا کاهش وزن برای تمام تیمارها در طول ذخیره‌سازی قارچ دکمه‌ای را افزایش داد، اما تمام تیمارهای ژل آلوئه‌ورا وزن بیش‌تری (آب) نسبت به تیمارهای شاهد حفظ کردند. در تمام زمان‌های ارزیابی، هر دو تیمار ژل آلوئه‌ورا (۵۰ و ۷۵ درصد ژل آلوئه‌ورا) کم‌ترین کاهش وزن را داشتند، در حالی که تیمار ژل آلوئه‌ورا با ۲۵ درصد بین بالاترین غلظت‌ها و شاهد حد واسط بود (۲٤). در مطالعه‌ای افزایش فوق‌العاده‌ای در طول دوره نگه‌داری به‌ویژه برای نمونه‌های شاهد پس از ۱۲ روز مشاهده شد. کاهش وزن را می‌توان به سرعت به‌دلیل عوامل متعددی مانند تنفس و تعرق آب کاهش داد. مشخص شد که کیتوزان/ نانوتیتانیوم و کیتوزان/نانوسیلیس درصد کاهش وزن را به‌ترتیب ۸۰/۱۱ و ٦۹/۱۲ درصد حفظ کردند (۲۵).

باز شدن کلاهک و تغییرات قطر کلاهک: همان‌طور که در شکل‌های ۵ و ٦ نشان داده شده است، افزایش تدریجی بازشدن کلاهک و تغییرات قطر کلاهک در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از پوشش‌های نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی یا همراه با نانوکیتوزان منجر به تاخیر در باز شدن کلاهک و کاهش تغییرات قطر کلاهک در مقایسه با گروه کنترل شد. بیش‌ترین میزان باز شدن کلاهک در تیمار کنترل (بدون پوشش) روز ۲۸ نگه‌داری با میزان (۳۸/۷۱) بود. بیش‌ترین میزان تغییرات قطر کلاهک در تیمار کنترل (بدون پوشش) و تیمار نانوکیتوزان دو درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۸۰ میلی‌گرم بود. به‌طور خاص، در تمام تیمارهای روز صفر نگه‌داری، کم‌ترین بازشدن کلاهک را داشتیم. کم‌ترین در صد کلاهک باز در سایر روزها در تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤۰ میلی‌گرم مشاهده شد. پوشش نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤۰ میلی‌گرم و نانوهیدروکسی آپاتیت ٤۰ و ۸۰ به تنهایی کم‌ترین تغییرات قطر کلاهک را در طی روزهای مختلف نگه‌داری نشان دادند. و پوشش نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤۰ میلی‌گرم در روز صفر و هفت نگه‌داری نسبت به سایر روزها به میزان کم‌تر (۵۲/٦٦) بود. که تأثیر قابل‌توجهی از تیمار ترکیبی نانوکیتوزان با غلظت یک درصد و نانوهیدروکسی آپاتیت را برجسته می‌کند.



شکل ۵- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای باز شدن کلاهک نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 5. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the cap opening content of button mushroom samples.



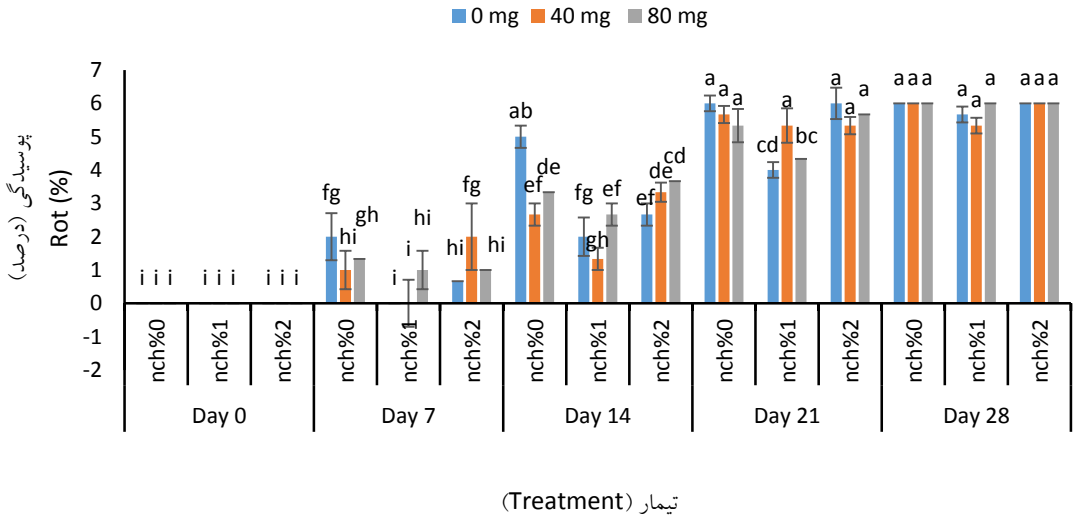
شکل ٦- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای تغییرات قطر کلاهک نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 6. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the content of changes in cap diameter of button mushroom samples.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش زمان نگه‌داری، باز شدن کلاهک نیز افزایش می‌یابد (۲٦). دلیل باز شدن کلاهک در تیمارهایی که بیش‌تر از سایر تیمارها بود ممکن است به عایق بودن نسبی نانوپوشش‌ها نسبت داده شود که از خروج بخار آب از پوشش‌ها جلوگیری می‌کند (۲۷). در مطالعه‌ای روی ماندگاری قارچ دکمه‌ای مشاهده شد که، نمونه‌های شاهد و کیتوزان افزایش‌هایی را در باز شدن کلاهک ایجاد کردند (۷٦/٤۲ و ٤٦/۸۰ درصد)، در حالی‌که تیمار کیتوزان/نانوتیتانیوم کم‌ترین مقدار (۱۹/۵۸درصد) را تا دوازدهمین روز از دوره نگه‌داری نشان داد (۲۵). افزایش قطر کلاهک یکی از معیارها و شاخص‌های رسیدگی قارچ دکمه‌ای می‌باشد و با افزایش رسیدگی، قطر کلاهک افزایش می‌یابد. علت این‌که در برخی از نمونه‌ها قارچ دکمه‌ای دارای پوشش با گذشت زمان قطر کلاهک کاهش یا افزایش

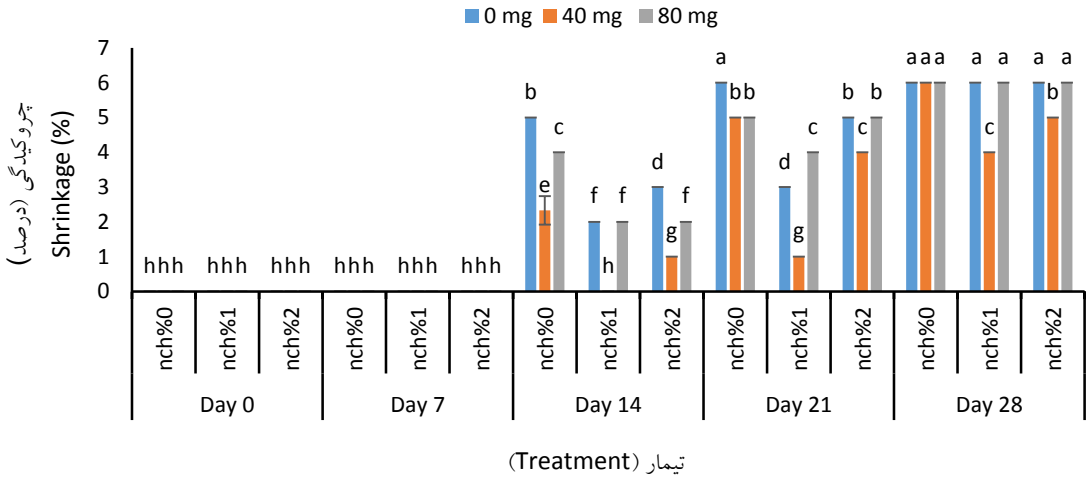
می‌یابد، ممکن است به رسیدگی قارچ مربوط باشد. اگر قارچ دکمه‌ای مراحل رسیدگی را طی کرده باشد، با گذشت زمان قطر کلاهک کاهش می‌یابد ولی در قارچ‌های نارس، با گذشت زمان، قطر کلاهک افزایش می‌یابد. علت تغییر قطر کلاهک قارچ پوشش داده شده با پوشش حاوی نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت، احتمالاً به‌دلیل تأثیری است که این پوشش‌ها روی بافت و ساختار قارچ می‌گذارند، بدین ترتیب با گذشت زمان قطر کلاهک تغییر می‌یابد (۲۸).

پوسیدگی و چروکیدگی: همان‌طورکه در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است، افزایش تدریجی پوسیدگی و چروکیدگی در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از تیمارهای پوشش‌دار منجر به کاهش پوسیدگی و چروکیدگی در مقایسه با گروه کنترل (بدون پوشش) شد. در تمام تیمارهای روز صفر نگه‌داری هیچ پوسیدگی و در روز صفر و هفت نگه‌داری هیچ چروکیدگی مشاهده نشد و بین تیمارها در این روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان پوسیدگی در تیمار کنترل (بدون پوشش) و نانوکیتوزان دو درصد روز ۲۱ نگه‌داری و تمام تیمارهای روز ۲۸ نگه‌داری بجز تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم با میزان (۶) بود. بیش‌ترین میزان چروکیدگی در تیمار کنترل (بدون پوشش) روز ۱۴ و ۲۱ نگه‌داری به‌ترتیب با میزان (۵) و (۶) و تمام تیمارهای روز ۲۸ نگه‌داری به‌جز تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم با میزان (۶) بود. به‌طور خاص، در تمام روزهای نگه‌داری، نمونه نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم، کم‌ترین پوسیدگی و چروکیدگی را نشان داد. و در روزهای اول تا هفتم نگه‌داری نسبت به سایر روزها به میزان کم‌تر (صفر) شد که تأثیر قابل‌توجهی از تیمار ترکیبی نانوکیتوزان با غلظت یک درصد و نانوهیدروکسی آپاتیت را برجسته می‌کند.



شکل ۷- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای پوسیدگی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 7. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on decay content of button mushroom samples.

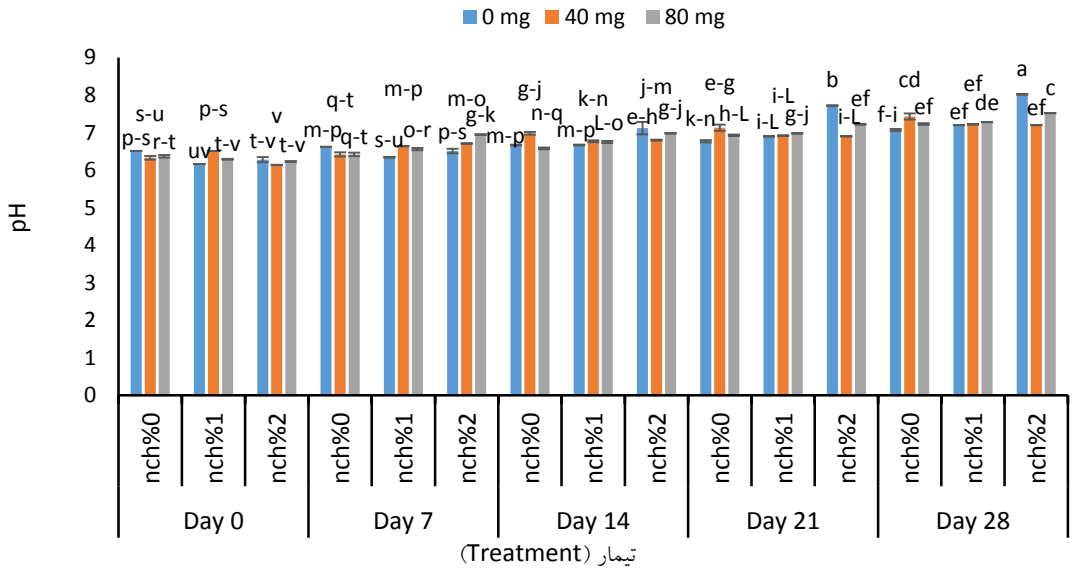


شکل ۸- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای چروکیدگی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 8. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the shrinkage content of button mushroom samples.

افزایش پوسیدگی در طول انبار ممکن است به‌دلیل تجمع رطوبت در سطح میوه، شرایط غیرهوازی و شکستن آنزیم‌ها باشد (۲۹). کاهش پوسیدگی می‌تواند به‌دلیل کاهش نفوذپذیری به گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن و بخار آب باشد که باعث فرآیندهای فیزیولوژیکی در میوه می‌شود (۲۹). کیتین و کیتوزان از مواد تجزیه‌پذیر زیستی که فعالیت ضدمیکروبی دارد تشکیل شده است که باعث کنترل بیماری‌های پس‌ازبرداشت می‌شود و در مطالعات قبلی نیز تأثیر بازدارندگی آن روی بیماری‌های پس‌ازبرداشت بیان شد (۲۶). پژوهش‌گران زیادی تأثیر کیتوزان را بر میزان پوسیدگی بررسی کرده‌اند. آن‌ها گزارش کرده‌اند که کیتوزان باعث کاهش پوسیدگی می‌شود (۳۰). در مطالعه‌ای استفاده ترکیبی اسانس خوشاریزه در فیلم نانوکامپوزیت رس کم‌ترین پوسیدگی و چروکیدگی بافت را داشته است. کم‌ترین پوسیدگی و چروکیدگی توسط ترکیب تیماری اسانس ۵۰ پی‌پی‌ام در فیلم نانوکامپوزیت رس به‌دست آمد. کاربرد اسانس خوشاریزه به همراه کاربرد فیلم‌های بسته‌بندی توانست از پوسیدگی و چروکیدگی بافت در طی زمان به‌طور معنی‌داری جلوگیری کند (۳۰). در مطالعه‌ای که بر روی تأثیر پوشش طبیعی کیتوزان بر افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای انجام شد، نتایج نشان داد که روند تغییرات پوسیدگی و چروکیدگی قارچ خوراکی با گذشت زمان به طور ناگهانی از روز ۲۱ افزایش می‌یابد و افزایش غلظت کیتوزان بر روی درصد پوسیدگی بی‌تأثیر بود (۲۹).

pH: همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، افزایش تدریجی pH در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از برخی پوشش‌های نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی یا همراه با نانوکیتوزان منجر به کاهش pH در مقایسه با گروه کنترل (بدون پوشش) شد. افزایش تدریجی pH در تیمارهای دارای پوشش در طول ذخیره‌سازی با شدت کم‌تری نسبت به گروه کنترل صورت گرفت. بیش‌ترین میزان pH در تیمار نانوکیتوزان دو درصد روز ۲۸ نگه‌داری با میزان (۸/۰۲) بود که با تمام تیمارها در طی دوره نگه‌داری تفاوت معنی‌داری را نشان داد که تأثیر قابل‌توجهی از کاربرد پوشش‌ها را برجسته می‌کند.

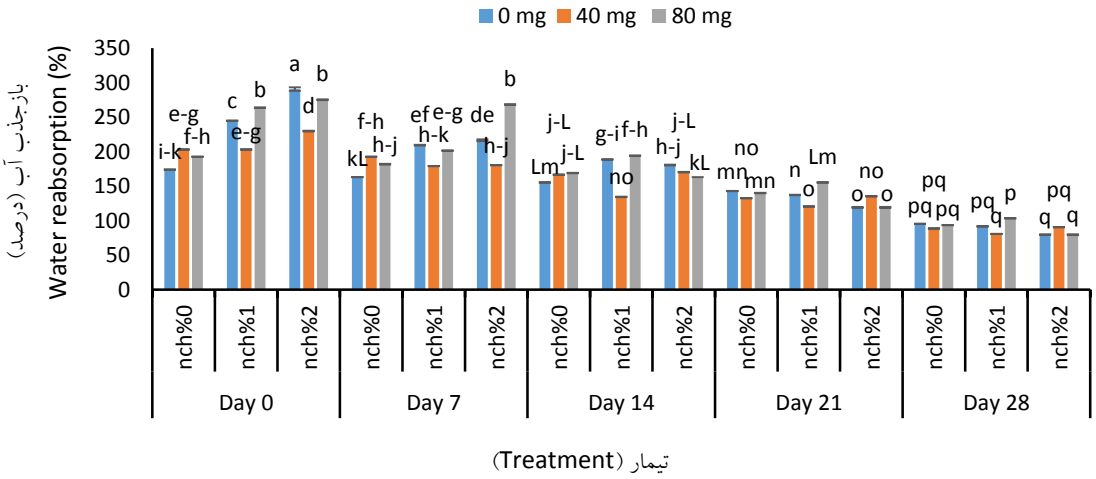


شکل ۹- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای pH نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 9. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the pH content of button mushroom samples.

شرایط بازدارنده تیمارهای پوشش‌دار باعث کاهش سرعت تنفس محصولات کشاورزی می‌شود، کاهش سرعت تنفس پیری را به تعویق می‌اندازد. بنابراین، pH در طول ذخیره‌سازی کنترل می‌شود. کنترل pH به حفظ شرایط اولیه کمک می‌کند و محصول را پس از برداشت تازه نگه می‌دارد. پوشش‌ها تغییرات سطح pH را کاهش می‌دهند و در نتیجه فساد میوه را به تاخیر می‌اندازند (۸). در مطالعه‌ای روی ماندگاری قارچ دکمه‌ای با پوشش کیتوزان و اسانس اسطوخودوس مشاهده کردند که، پوشش کیتوزان خوراکی روند افزایشی pH را در طول ماندگاری به تعویق می‌اندازد که به نوبه خود بیانگر کاهش اسید آلی و افزایش عصاره در طول ذخیره‌سازی سرد است (۲۲). در پژوهشی دیگر مقدار pH قارچ‌ها پس از پوشش‌دهی و در طی انبارداری تغییر معنی‌دار و محسوسی نسبت به شاهد نشان نداد (۳۱).

بازجذب آب: همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، کاهش تدریجی بازجذب آب در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از برخی پوشش‌های نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی یا همراه با نانوکیتوزان منجر به افزایش بازجذب آب در مقایسه با گروه کنترل (بدون پوشش) شد. بیش‌ترین میزان بازجذب آب در تیمار نانوکیتوزان دو درصد روز صفر نگه‌داری با میزان (۲۹۰/۶۵) بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها طی روزهای نگه‌داری داشت. به‌طور خاص، در بعضی روزهای نگه‌داری، نمونه کنترل (بدون پوشش) کم‌ترین بازجذب آب را نسبت به برخی تیمارهای پوشش‌دهی شده نشان داد. که تأثیر قابل‌توجهی از کاربرد استفاده از این پوشش‌ها برای افزایش عمر پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را برجسته می‌کند.



شکل ۱۰- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر محتوای بازجذب آب نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 10. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on water reabsorption content of button mushroom samples.

با افزایش زمان نگه‌داری نمونه‌ها در آب، میزان جذب آب نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. با توجه به آن‌که با گذشت زمان میزان نفوذ محلول اسمزی افزایش می‌یابد، بنابراین در نمونه‌های خشک شده در هنگام بازجذب آب، فشار اسمزی ایجاد شده بالاتر بوده، بنابراین آب بیش‌تری جذب نمونه‌ها گردیده و درصد بازجذب افزایش خواهد یافت (۲۰). طی مطالعه‌ای روی قارچ دکمه‌ای نتایج نشان داد که، قارچ‌های پوشش‌دار CMC بیش‌ترین تأثیر را بر بازجذب آب داشته است. هم‌چنین با افزایش زمان، بازجذب آب افزایش یافته است (۳۲).

جدول ۲، تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر صفات، پارامترهای شاخص رنگ بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول اثرات یگانه، دوگانه و اثر سه‌گانه تیمارها بر اندازه‌گیری صفات ذکر شده بر عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر پارامترهای شاخص رنگ بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای.

Table 2. Analysis of variance of the effect of nanochitosan and nanohydroxyapatite on color index parameters on post-harvest shelf life of button mushrooms.

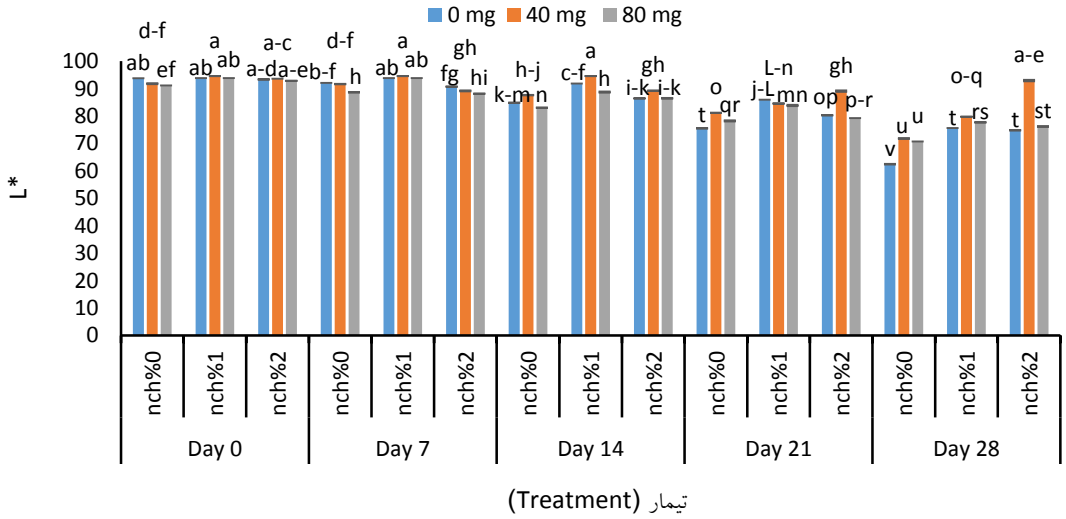
ΔE^*	b^*	a^*	L^*	درجه آزادی df	منابع تغییرات Sources of variations
2881.06**	1228.54**	273.83**	1389.30**	4	روز Day
966.31**	597.56**	50.03**	359.37**	2	نانوکیتوزان Nanochitosan
314.90**	169.77**	19.73**	181.76**	2	نانوهیدروکسی آپاتیت Nanohydroxyapatite
85.77**	47.42**	5.56**	76.20**	8	روز*نانوکیتوزان Day*Nanochitosan
50.67**	20.65**	2.13**	47.35**	8	روز* نانوهیدروکسی آپاتیت Day* Nanohydroxyapatite
48.40**	67.39**	0.44**	26.24**	4	نانوکیتوزان* نانوهیدروکسی آپاتیت Nanochitosan* Nanohydroxyapatite
12.78**	8.62**	0.31**	19.97**	16	روز* نانوکیتوزان* نانوهیدروکسی آپاتیت Day*Nanochitosan*Nanohydroxyapatite
0.61	0.60	0.04	0.96	90	خطا Error
-	-	-	-	134	کل Total
4.49	7.06	3.90	1.14	-	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation (%)

**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح آماری یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار است

**, * and ^{ns} are significant at the one and five percent statistical levels, respectively, and are not significant

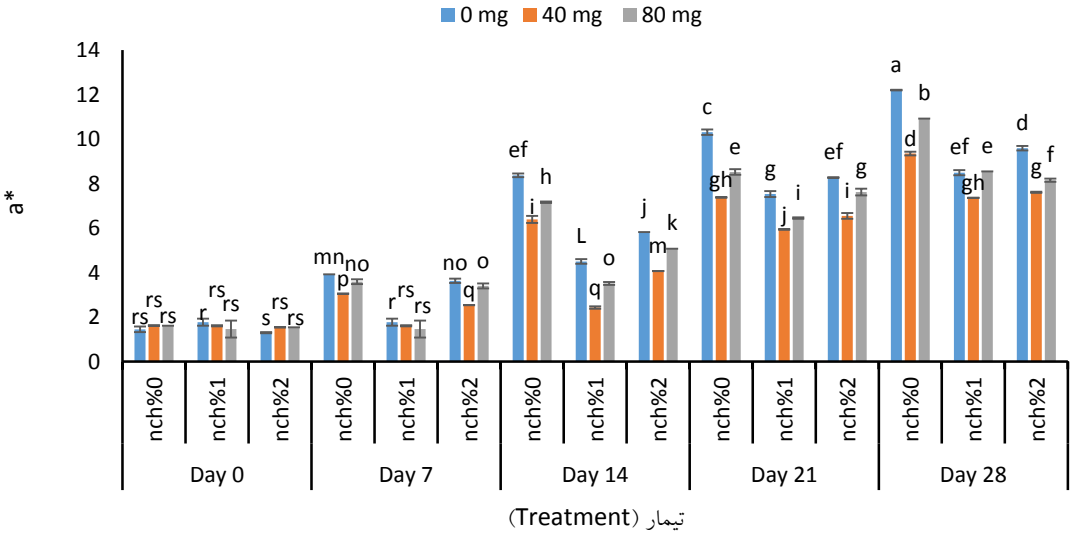
ارزیابی پارامترهای رنگ

L^*، a^*، b^* و ΔE^*: همان‌طور که در شکل‌های ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است، کاهش تدریجی مقادیر L^* (روشنایی) و افزایش تدریجی مقادیر a^* (قرمزی)، b^* (زردی) و ΔE^* در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، استفاده از پوشش‌های نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی یا همراه با نانوکیتوزان منجر به افزایش مقادیر L^* (روشنایی) و کاهش مقادیر a^* (قرمزی)، b^* (زردی) و ΔE^* در مقایسه با گروه کنترل (بدون پوشش) شد. بیش‌ترین میزان مقادیر L^* (روشنایی) در روزهای اول تا ۱۴ نگه‌داری در تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم بود و در روز ۲۱ تا ۲۸ در تیمار نانوکیتوزان دو درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم بود. بیش‌ترین میزان مقادیر a^* (قرمزی)، b^* و ΔE^* در تیمار گروه کنترل (بدون پوشش) روز ۲۸ نگه‌داری به ترتیب با میزان (۱۲/۲۰)، (۳۳/۲۶) و (۵۰/۰۳) بود. در مقابل، نمونه نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم کم‌ترین میزان a^*، b^* و ΔE^* را در طی روزهای نگه‌داری نسبت به شاهد نشان داد که تأثیر قابل‌توجهی از تیمار ترکیبی نانوکیتوزان با غلظت یک درصد و نانوهیدروکسی آپاتیت را برجسته می‌کند.



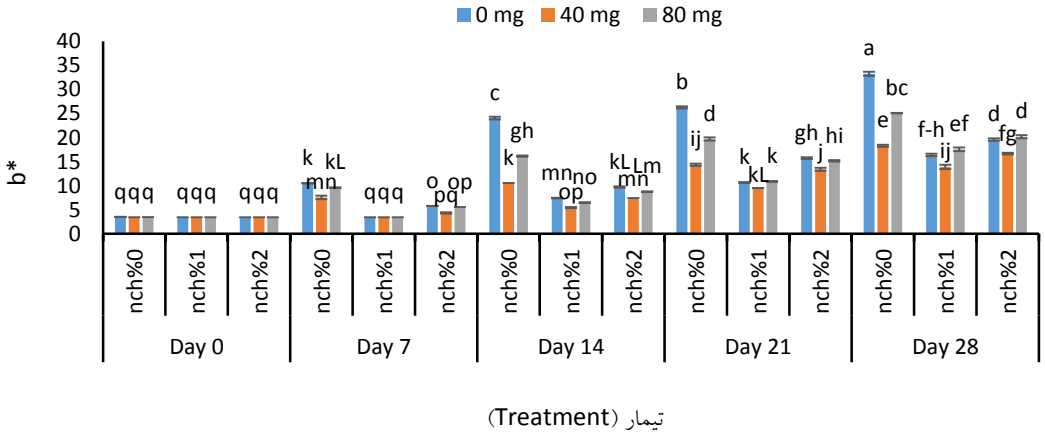
شکل ۱۱- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان L^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 11. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the L^* content of button mushroom samples.



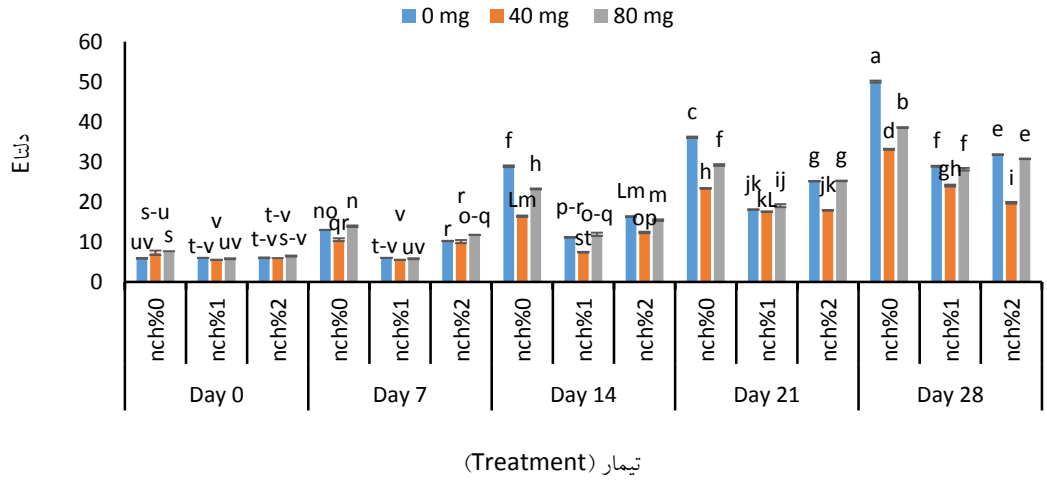
شکل ۱۲- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان a^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 12. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the a^*-value of button mushroom samples.



شکل ۱۳- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان b^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 13. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the b^* content of button mushroom samples.



شکل ۱۴- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان ΔE^* نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 14. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the ΔE^* level of button mushroom samples.

پس‌ازبرداشت، رنگ قارچ به تدریج از سفید به قهوه‌ای تغییر می‌کند که نشانه از دست دادن ارزش غذایی آن است (۳۳). مقدار L^* (روشنایی) کم‌تر نشان‌دهنده تیره شدن قارچ است (۳٤). در مطالعه حاضر، پوشش‌های نانوکیتوزان همراه با نانوهیدروکسی آپاتیت، قهوه‌ای شدن قارچ را به‌طور موثری کاهش داد. این اثربخشی می‌تواند مربوط به اندازه قطرات کوچک‌تر نانو و نیز ظرفیت ضدمیکروبی، ضدباکتری و آنتی‌اکسیدانی این پوشش‌ها باشد. با کاهش اندازه ذرات، ثابت شده است که بازده میکروبی آن‌ها به‌دلیل انتشار و نفوذ بیش‌تر به سلول‌های میکروبی افزایش می‌یابد (۳٤). از سوی دیگر یکی از دلایل اصلی کاهش تغییرات شاخص‌های رنگی با استفاده از این ترکیبات را می‌توان حفظ ظرفیت نگه‌داری آب توسط سلول‌ها در طی زمان نگه‌داری عنوان کرد (۳۵). شاخص‌های رنگی a^*، b^*، L^* و ΔE^* مورد ارزیابی

قرار گرفتند. فضای رنگی a^*، b^*، L^* کامل‌ترین فضای رنگی و یک استاندارد بین‌المللی برای اندازه‌گیری رنگ غذاها است که توسط کمسیون بین‌المللی روشنایی CIE (commission international d'eclairage) در سال ۱۹۷٦ ارائه شد. این پارامترها شامل میزان روشنایی یا L از رنگ سیاه (۰) تا سفید (۱۰۰)، میزان قرمزی یا a از سبز (مقادیر منفی) تا قرمز (مقادیر مثبت) و میزان زردی یا b از آبی (مقادیر منفی) تا زرد (مقادیر مثبت) است (۳۵). شاخص رنگی a^* میزان تمایل رنگ نمونه‌های قارچ به سمت قرمز بودن را نشان می‌دهد که نتایج تغییرات این شاخص رنگی در طی ۲۸ روز نگه‌داری افزایش تدریجی را نشان داد که نشان‌دهنده تأثیر فرایندهای فیزیولوژیکی و میکروبی بر تغییرات این شاخص می‌باشد که با توجه به نوع پوشش مورد استفاده میزان تغییرات متفاوت بود. شاخص رنگی b^* یکی دیگر از شاخص‌های رنگی است که میزان تمایل به زرد بودن نمونه‌های قارچ را نشان می‌دهد (۳۵). نتایج مطالعه‌ای روی ماندگاری قارچ دکمه‌ای نشان داد که مقادیر L^* گروه کنترل و گروه پوشش‌دار به تدریج کاهش یافت و مقدار ΔE^* با طولانی شدن زمان نگه‌داری روند صعودی را نشان داد. تیمار پوشش به‌طور قابل‌توجهی افزایش ارزش ΔE^* را کاهش داد. مقدار L^* نمونه‌های تیمار شده با کاغذ بدون پوشش از ۹٦/۲۳ به ۸۰/۸۷ پس از ذخیره‌سازی روز چهارم کاهش یافت. مقدار L^* قارچ‌های تیمار شده با کاغذ نگهدارنده کامپوزیت بالاترین میزان بود، که نشان می‌دهد طراوت قارچ به بهترین شکل حفظ شده است. این نشان داد که MCP-۱ و غربال مولکولی اصلاح شده می‌تواند از دست دادن ارزش L^* *Agaricus bisporus* را به تاخیر بیندازد. نمونه در گروه‌های تیمار شده طراوت را بهتر حفظ کرد (۳۳). نتایج مطالعه‌ای بر روی نگه‌داری قارچ دکمه‌ای با پوششی مبتنی بر آلژینات حاوی نانو امولسیون اسانس سینامالدئید نشان داد که، قارچ‌های پوشش داده شده و بدون پوشش در طول ذخیره‌سازی به‌دلیل کاهش مقادیر L^*، قهوه‌ای شدن را تجربه کردند. در طول ۸ روز اول، تفاوت معنی‌داری بین قارچ پوشش داده شده و بدون پوشش مشاهده نشد. در بقیه مدت نگه‌داری، قارچ‌های بدون پوشش قهوه‌ای شدن سریع نشان دادند در مقابل، قارچ‌های پوشش داده شده با آلژینات قهوه‌ای شدن تا حدی مهار شده را نشان دادند. قارچ‌های بدون پوشش فقط تا روز ۱۲ قابل‌قبول بودند، در حالی‌که قارچ‌های پوشش داده شده با آلژینات تا روز ۱٦ قابل‌قبول بودند و قارچ‌های پوشش داده شده با آلژینات حاوی نانو امولسیون اسانس سینامالدئید برای بیش از ۱٦ روز قابل پذیرش بودند. این نتایج نشان می‌دهد که این پوشش‌ها می‌توانند از قهوه‌ای شدن قارچ‌ها، به‌ویژه زمانی که حاوی نانو امولسیون اسانس سینامالدئید باشند، جلوگیری کنند (۳٤).

جدول ۳، تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر صفات، ارزیابی حسی بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول اثرات یگانه، دوگانه و اثر سه‌گانه تیمارها بر اندازه‌گیری صفات ذکر شده بر عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر صفات ارزیابی حسی بر ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای.

Table 3. Analysis of variance of the effect of nanochitosan and nanohydroxyapatite on sensory evaluation traits on post-harvest shelf life of button mushrooms.

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی df	طعم Flaver	رنگ Color	بو Smell	سفتی firmness	لزجی Lizji	بازارپسندی Marketability
روز Day	1	146.68**	146.68**	143.40**	167.12**	136.96**	188.90**
نانوکیتوزان Nanochitosan	2	3.35**	2.35**	2.74**	1.46**	3.62**	0.90**
نانوهیدروکسی آپاتیت Nanohydroxyapatite	2	0.51**	0.51**	0.57**	0.29**	0.79**	0.24**
روز*نانوکیتوزان Day*Nanochitosan	2	3.35**	2.35**	2.74**	1.46**	3.62**	0.9**
روز* نانوهیدروکسی آپاتیت Day* Nanohydroxyapatite	2	0.51**	0.51**	0.57**	0.29**	0.79**	0.24**
نانوکیتوزان* نانوهیدروکسی آپاتیت Nanochitosan* Nanohydroxyapatite	4	0.18**	0.18**	0.15**	0.12**	0.21**	0.24**
روز* نانوکیتوزان* نانوهیدروکسی آپاتیت Day*Nanochitosan*Nanohydroxyapatite	4	0.18**	0.18**	0.15**	0.12**	0.21**	0.24**
خطا Error	35	0.018	0.019	0.018	0.019	0.018	0.019
کل Total	53	–	–	–	–	–	–
ضریب تغییرات Coefficient of variation	–	4.03	4.11	4.008	4.25	5.21	4.40

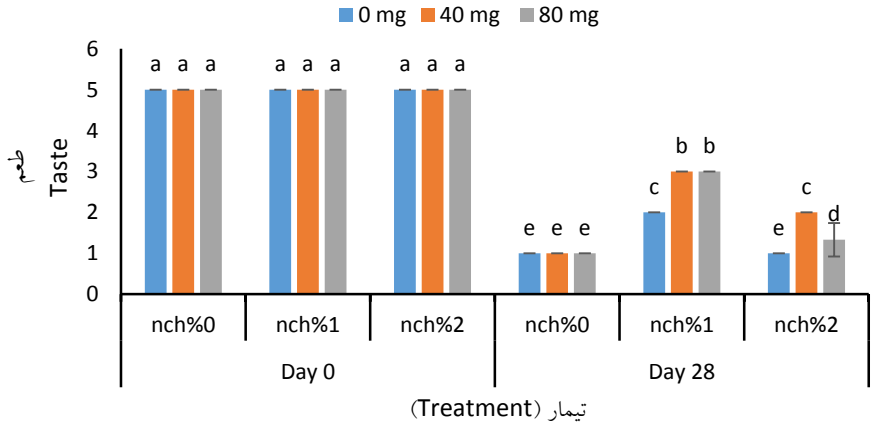
**، * و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح آماری یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار است

**, * and ^{ns} are significant at the one and five percent statistical levels, respectively, and are not significant

ارزیابی حسی

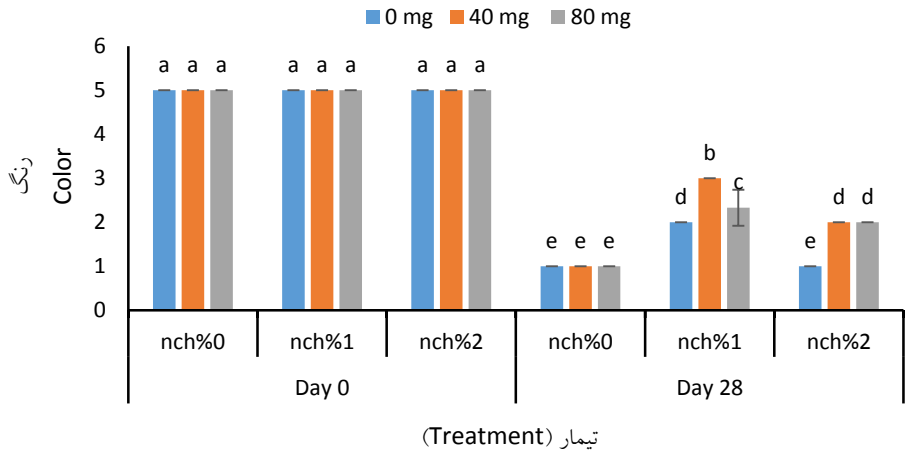
طعم، رنگ، بو، سفتی، بازارپسندی و لزجی: همان‌طور که در شکل‌های ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹ و ۲۰ نشان داده شده است، کاهش، طعم، رنگ، بو، سفتی و بازارپسندی و افزایش لزجی در قارچ‌های بدون پوشش و پوشش داده شده در طول ذخیره‌سازی مشاهده شد. با این وجود، تنها استفاده از پوشش‌های نانوکیتوزان حاوی غلظت‌های مختلف نانوهیدروکسی آپاتیت منجر به افزایش مقادیر صفات ذکر شده و کاهش مقادیر لزجی در مقایسه با گروه کنترل (بدون پوشش) شد. در روز صفر نگه‌داری تیمارها دارای بالاترین میزان طعم، رنگ، بو، سفتی و بازارپسندی بودند که تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند. در روز ۲۸ نگه‌داری بیش‌ترین میزان این صفات در تیمار نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ۴۰ میلی‌گرم بود که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشتند. بیش‌ترین میزان لزجی در تیمار کنترل (بدون پوشش) و تیمار غلظت‌های مختلف نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی و نیز نانوکیتوزان دو درصد روز ۲۸ نگه‌داری بود. در مقابل، نمونه کنترل و پوشش‌های

نانوهیدروکسی آپاتیت به تنهایی و نیز پوشش نانوکیتوزان دو درصد کم‌ترین میزان این صفات را در روز ۲۸ نگه‌داری و هم‌چنین نمونه نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤٠ و ٨٠ میلی‌گرم کم‌ترین میزان لزجی را در روز ۲۸ نگه‌داری نشان داد که تأثیر قابل‌توجهی از تیمار ترکیبی نانوکیتوزان با غلظت یک درصد و نانوهیدروکسی آپاتیت را برجسته می‌کند.



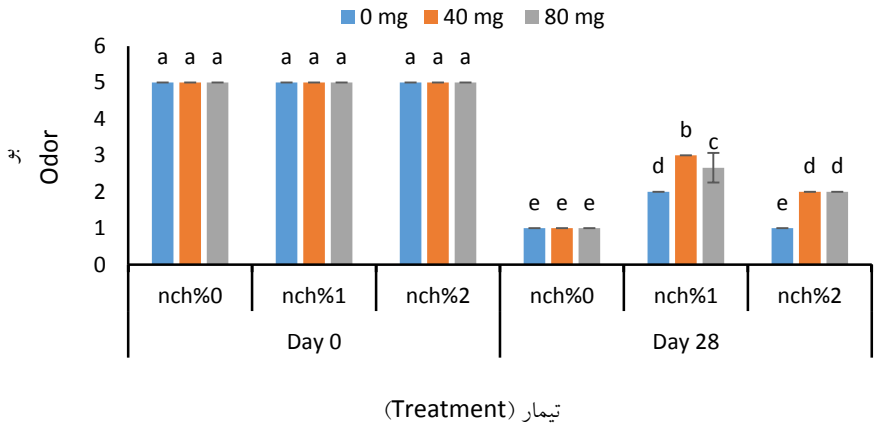
شکل ۱۵- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان طعم نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 15. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the taste of button mushroom samples.



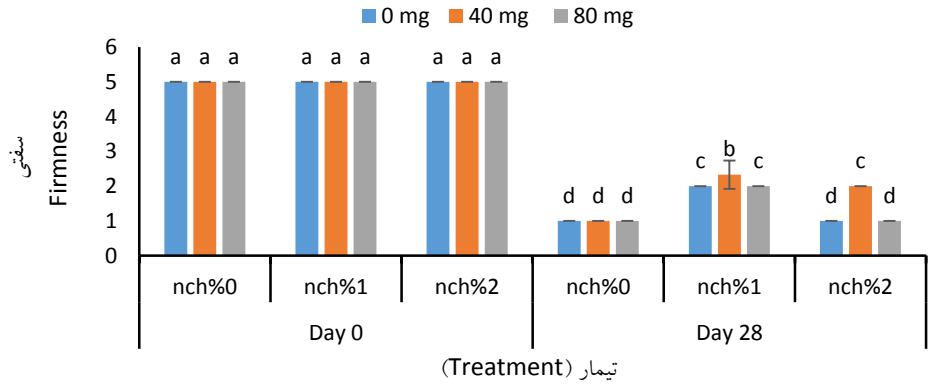
شکل ١٦- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان رنگ نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 16. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the color of button mushroom samples.



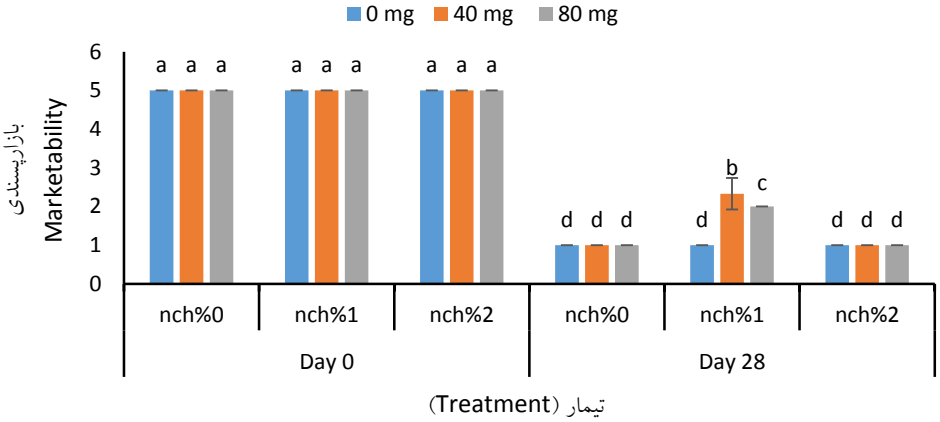
شکل ۱۷- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان بو نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 17. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the odor of button mushroom samples.



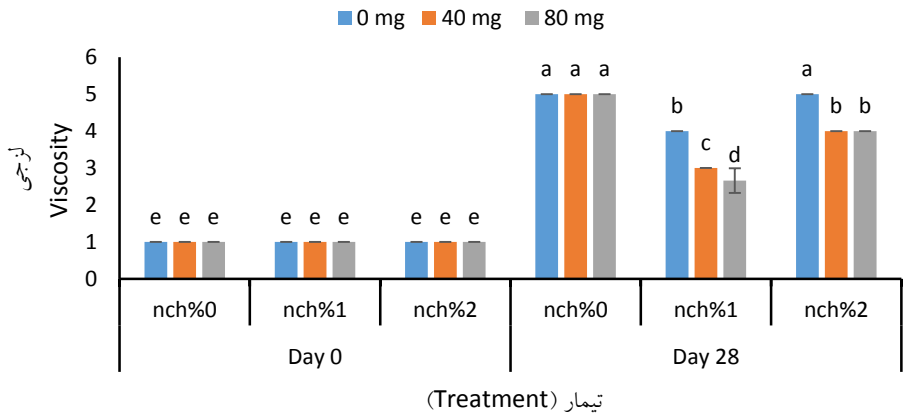
شکل ۱۸- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان سفتی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 18. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the stiffness of button mushroom sample.



شکل ۱۹- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان بازارپسندی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 19. Evaluation of coating with nanochitosan and nanohydroxyapatite on the marketability of button mushroom samples.



شکل ۲۰- ارزیابی پوشش‌دهی با نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت بر میزان لزجی نمونه‌های قارچ دکمه‌ای.

Fig. 20. Evaluation of nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on the viscosity of button mushroom samples.

در مطالعه‌ای بر ماندگاری قارچ دکمه‌ای با پوشش‌های خوراکی بر پایه پلیمرهای طبیعی نتایج نشان داد که کیفیت کلی قارچ (رنگ، بافت و پذیرش کلی) در طول ۱۵ روز به‌طور معنی‌داری برای همه نمونه‌ها کاهش یافت. براساس نتایج حاصل از رنگ در ارزیابی حسی در نمونه شاهد بیانگر یک روند کاهشی با گذر زمان بود و از روز ٤ با شدت بیش‌تری کاهش یافت. در حالی که در نمونه‌های پوشش داده شده با شدت کم‌تری کاهش یافته و در بعضی روزها ثابت ماند. نتایج حاصل از ارزیابی بافت قارچ نشان می‌دهد تغییرات بافت نمونه‌های پوشش‌دار در مقایسه با نمونه شاهد در طول ۱۵ روز کم‌تر می‌باشد (۲۱). در پژوهشی بر افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای با اسانس خوشاریزه و بسته‌بندی نانوکامپوزیت پلی‌اتیلن-رس نتایج ارزیابی حسی نشان داد که در تمام بسته‌بندی‌ها با افزایش دوره نگه‌داری، بازارپسندی کاهش یافته است. این نتایج بیان می‌کند که کاربرد فیلم‌های نانوکامپوزیتی و پوشش‌دادن قارچ‌های دکمه‌ای با اسانس خوشاریزه به نحو کارامد زوال قارچ‌ها را در ارزیابی حسی به تاخیر انداخته است (۳۰).

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه ارزیابی اثر نانومواد بر افزایش عمر ماندگاری قارچ دکمه‌ای بود. به این منظور از پوشش نانوکیتوزان (صفر، ۱ درصد، ۲ درصد)، نانوهیدروکسی آپاتیت (صفر، ٤٠، ۸۰ میلی‌گرم)، ترکیب نانوکیتوزان با نانوهیدروکسی آپاتیت در غلظت‌های ذکر شده استفاده گردید. به‌طورکلی نتایج نشان داد که پوشش ترکیبی نانوکیتوزان یک درصد حاوی نانوهیدروکسی آپاتیت ٤٠ میلی‌گرم بیش‌ترین تأثیر را بر ویژگی صفات، pH، پارامتر L^* شاخص رنگ و پارامترهای طعم، رنگ، بو، سفتی و بازارپسندی ارزیابی حسی نسبت به نمونه کنترل داشت و باعث کاهش ویژگی‌های صفات، درصد کاهش وزن، باز شدن کلاهک، تغییرات قطر کلاهک، پوسیدگی، چروکیدگی، پارامترهای a^*، b^* و ΔE^* شاخص رنگ و پارامتر لزجی ارزیابی حسی نسبت به نمونه کنترل بدون پوشش در طی روزهای نگه‌داری شده است و می‌تواند ماندگاری پس‌ازبرداشت قارچ دکمه‌ای را تا روز ۲۸ بهبود ببخشد که تا ١٤ روز قابلیت بازارپسندی دارد. بنابراین استفاده از این پوشش برای افزایش عمر انبارمانی قارچ دکمه‌ای توصیه می‌شود.

منابع

1.Rathore, H., Prasad, S., & Sharma, S. (2017). Mushroom nutraceuticals for improved nutrition and better human health: A review. *Pharma Nutrition*, 5(2), 35-46.

2.Muszynska, B., Kala, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W. (2018). Composition and Biological Properties of *Agaricus bisporus* Fruiting Bodies-a Review. *Poland Journal of Food Nutrition Science*, 67, 173-181.

3.Singh, O., Kushwaha, K., Pathak, S., & Kumar Kushwaha, A. (2021). Evaluation of yield performance and morphological characteristics of different strains of *Agaricus bisporus* (Lange) Sing. *The Pharma Innovation Journal*, 10(7), 190-192.

4.Qian, X., Hou, Q., Liu, J., Huang, Q., Jin, Z., Zhou, Q., Jiang, T., & Zheng, X. (2021). Inhibition of browning and shelf life extension of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by ergothioneine treatment. *Scientia Horticulturae*, 288, 1-8.

5.Karimirad, R., Behnamian, M., & Dezhsetan, S. (2020). Bitter orange oil incorporated into chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and their potential application on antioxidant and antimicrobial characteristics of white button mushroom. *Food Hydrocolloids*. 100, 105387.

6.Liu, x., Sun, R., Zhou, Z., & Tang, Y. (2024). In situ growth of nano-hydroxyapatite on multilayered Ti C T MXene as a drug carrier with superior-performance. *Journal of Materials Science and Technology*, 180, 91-101.

7.Elsabee, M. Z., & Abdou, E. S. (2013). Chitosan based edible films andcoatings: areview. *Materials Science and Engineering C-Mater*, 33, 1819-1841.

8.Liu, J., Liu, S., Zhang, X., Kan, J., & Jin, C. (2019). Effect of gallic acid grafted chitosan film packaging on the postharvest quality of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*. 147, 39-47.

9.Huang, R., Mao, P., Xiong, L., Qin, G., Zhou, J., Zhang, J., Li, Z., & Wu, J. (2023). Negatively charged nano-hydroxyapatite can be used as a phosphorus fertilizer to increase the efficacy of wollastonite for soil cadmium immobilization. *Journal of Hazardous Materials*, 443, 130291.

10.Sharifianjazi, F., Esmaeilkhanian, A., Moradi, M., Pakseresht, A., Shahedi Asl, M., Won Jang, H., & Varma, R. S. (2021). Biocompatibility and mechanical properties of pigeon bone waste extracted natural nano-hydroxyapatite for bone tissue engineering. *Materials Science and Engineering*: B, 264, 114950.

11.Victor Aberea, D., Sammy A. Ojob, Oyatogunc, G. M., Belen Paredes-Epinosaa, M., Carmalita Dharsika Niluxsshuna, M., & Hakamid, A. (2022). Mechanical and morphological characterization of nano-hydroxyapatite (nHA) for bone regeneration: A mini review. *Biomedical Engineering Advances*, 4, 100056.

12.Karimirad, R., Behnamian, M., & Dezhsetan, S. (2019). Application of chitosan nanoparticle scontaining Cuminum cyminum oil asa deli very system for shelfl ifeextension of *Agaricus bisporus*. *LWT-Food Science and Technology*, 106, 218-228.

13.Valizadeh, M., Behnamian, M., Dezhsetan, S., & Karimirad, R. (2021). Controlled release of turmeric oil from chitosan nanoparticles extends shelf life of *Agaricus bisporus* and preserves its postharvest quality. *Food Bioscience*, 44 (101401), 1-3.

14.Jiang, H., Liu, J. K., Wang, J. D., Lu, Y., Zhang, M., Yang, X. H., & Hong, D. J. (2014). The biotoxicity of hydroxyapatite nanoparticles to the plant growth. *Journal of Hazardous Materials*, 270, 71-81.

15.Mohebbi, M., Ansarifar, E., Hasanpour, N., & Amiryousefi, M. (2012). Suitability of aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. *Food and Bioprocess Technology*, 5, 31933202.
16.Jiang, T., Feng, L., & Li, J. (2013). Changes in microbial and postharvest quality of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*) treated with chitosan – glucose complex coating under cold storage. *Food Chemistry*, 131(3), 780-786.
17.Gao, M., Feng, L., & Jiang, T., (2014). Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chemistery*, 149, 107-113.
18.Rezaei, P. (2016). The role of polylactic acid packaging coating based on clay nanoparticles on the quality characteristics and shelf life of edible mushrooms. *Dissertation to receive a master's degree in the field of food engineering*, food technology. Islamic Azad University, Quds branch. 1-98. [In Persian]
19.Eissa, H. A. (2007). Effect of chitosan coating on shelf life and quality of fresh-cut mushroom. *Journal of Food Quality*, 30, 623-645.
20.Raoult wack, A. L. (1994). Recent advances in the osmotic dehydartion of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 5(8), 255-260.
21.Shamlou, S., Vaziri, A., Shekarabi, A., & Safekordi, A. A. (2019). Extending the shelf life of edible button mushroom (*Agaricus bisporus*) by edible coatings on the basis of natural polymers. *Food Science and Industry*, 91, 16. (In Persian)
22.Farokhian, F., Jafarpouri, M., Goli, M., & Askari-Khorasgani, O. (2016). Quality preservation of air-dried sliced button mushroom (*Agaricus bisporus*) by lavender (*Lavendula angustifolia MILL.*) essential oil. *Journal of Food Process Engineering*, 1745-4530.
23.Nakilcioğlu-taş, E., & Ötleş, S. (2020). Kinetics of colour and texture changes of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) coated with chitosan during storage at low temperature. *Engineering Sciences*, 92, 1678-2690.
24.Mirshekari, A., Madani, B., & Golding, J. B. (2019). Aloe vera gel treatment delays postharvest browning of white button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of Food Measurement and Characterization*. 11, 1-7.
25.Rokayya, S., Ebtihal, K., Abeer, E., Nada, B., Murthy, C., Kambhampati, V., Abdullah, I., & Mahmoud, H. (2021). Investigating the Nano-Films Effect on Physical, Mechanical Properties, Chemical Changes, and Microbial Load Contamination of White Button Mushrooms during Storage. *Coatings*, 11(1), 44-53.
26.Zhang, H., Li, R., & Liu, W. (2011). Effects of chitin and Its derivative chitosan on postharvest decay of fruits: a Review. *International Journal of Molecular Science*, 12, 917-934.
27.Gholami, R., Ahmadi, E., & Farris, S. (2019). Shelf life extension of white mushrooms (*Agaricus bisporus*) by low temperatures conditioning, modified atmosphere, and nanocomposite packaging material. *Food Packaging Shelf Life*, 14, 88-95.
28.Saver Sefli, Y. (2013). Investigating the effect of carboxymethyl cellulose coating containing hop extract and malic acid on shelf life of button mushroom. *Master thesis of food science and industry*. Gorgan University. 1-67.
29.Aminzadeh, R. (2012). The effect of different types of packaging films and coating with chitosan on the storage life of button mushroom. *Horticultural Master thesis*. Isfahan University of Technology. 1-62. [In Persian]
30.Duan, J., Wu, R., Strik, B. C., & Zhao, Y. (2011). "Effect of edible coatings on the quality of fresh blueberries (Duke and Elliott) under commercial storage conditions." *Postharvest Biology and Technology*, 59(1), 71-79.

31. Syahroudi, S., Aryaei, P., & Fatahi, A. (2015). The effect of aloe vera gel coating with nettle plant extract on the storage life of edible button mushroom in cold conditions. *23st National Congress of Food Science and Technology*, 4(1), 58-68. [In Persian]
32. Arianfar, A., Sarabi Jamab, M., & Niazmand, A. (2011). Effect of edible coating and treatment condition on osmotic dehydration of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food science and industry*, 8(30), 45-56. [In Persian]
33. Ni, X., Yu, J., Shao, P., Yu, J., Chen, H., & Gaob, H. (2021). Preservation of Agaricus bisporus freshness with using innovative ethylene manipulating active packaging paper. *Food Chemistry*, 345, 128757.
34. Louis, E., Villalobos-Carvajal, R., Reyes-Parra, J., Jara-Quijada, E., Ruiz, C., Andrades, P., Gacitúa, J., & Beldarraín-Iznaga, T. (2021). Preservation of mushrooms (*Agaricus bisporus*) by an alginate-based-coating containing a cinnamaldehyde essential oil nanoemulsion. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 1-10.
35. Gharejelo, A. (2024). Evaluation of extending the shelf life of button mushroom (*Agaricus Bisporous*) using chitosan and Ferulago angulate essential oil. *A Thesis Submited in Partial Fultillment of the Requirments for the Degree of M.Sc Science and Food Science Engineering – Food Science*, 45-60.