

Evaluation of Quality Attributes and Antioxidant Changes of Button Mushrooms Coated with Gum Arabic, Starch and Ascorbic Acid during Cold Storage

F. Amighi^{1*}, F. Heidari Dalfard¹, A. Sadeghi¹

1- Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran

(* - Corresponding Author Email: Fatemeh.Amighi@ujiroft.ac.ir)

Received: 09.10.2025
Revised: 29.10.2025
Accepted: 09.11.2025
Available Online: 16.11.2025

How to cite this article:

Amighi, F., Heidari Dalfard, F., & Sadeghi, A. (2025). Evaluation of quality attributes and antioxidant changes of button mushrooms coated with gum Arabic, starch and ascorbic acid during cold storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(5), 549-567. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.95873.1487>

Introduction

The white button mushroom (*Agaricus bisporus*) is one of the most widely consumed edible fungi worldwide due to its high nutritional value, pleasant flavor, and rich of bioactive compounds such as proteins, essential amino acids, vitamins, minerals, and phenolic substances. However, because of its soft texture, high water activity, and lack of a natural protective cuticle, it is extremely perishable and exhibits a short postharvest shelf life. Therefore, developing effective strategies to maintain quality and extend its storage life is essential. In recent years, the application of natural biopolymer-based edible coatings has emerged as a novel, safe, and biodegradable approach for controlling physiological and oxidative changes in fresh produce.

Materials and Methods

This study aimed to evaluate the effects of edible coatings formulated from gum Arabic (GA), corn starch (CS), and their combinations with ascorbic acid (AS) on the quality attributes, antioxidant activity, and phenolic content of button mushrooms during 14 days of storage at 4 ± 1 °C. Fresh mushrooms were procured, washed, and air-dried before being divided into six treatments: control (uncoated), GA, CS, AS, GA + AS (GAAS), and CS + AS (CSAS). Coatings were applied by immersion, and samples were stored in polyethylene containers under refrigeration. Quality indices including weight loss, color parameters (L^* and Browning Index), firmness, total soluble solids (TSS), total phenolic content (TPC), antioxidant activity (DPPH assay), and sensory analysis were determined on days 1, 4, 7, 11, and 14. Statistical analysis was performed using ANOVA and Duncan's multiple range test at a 95% confidence level ($p < 0.05$).

Results and Discussion

The results revealed that all coating treatments significantly reduced weight loss and delayed browning compared to the control. After 14 days, the highest weight loss occurred in the control (33.06%), while the lowest was observed in GAAS-coated mushrooms (16.47%), indicating the superior ability of this combined coating to minimize moisture evaporation. Regarding textural changes, firmness decreased in all samples during storage, but the GAAS treatment maintained the highest firmness (17.43 N), demonstrating its synergistic effect in preserving cell structure and reducing tissue degradation.

Color measurements showed a gradual decrease in lightness (L^*) for all samples; however, GAAS and CSAS treatments retained significantly higher lightness and exhibited the lowest Browning Index values (25.70 and 26.73, respectively). This outcome can be attributed to the antioxidative role of ascorbic acid, which inhibits polyphenol oxidase activity, and the physical barrier effect of the coatings, which limits oxygen diffusion. The



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2025.95873.1487>

TSS values increased during storage, but the increase was less pronounced in coated samples particularly GAAS most likely related to reduced metabolic respiration due to the semi-permeable nature of the coatings.

Antioxidant activity (DPPH radical scavenging) decreased progressively during cold storage, yet the decline was markedly slower in combined coatings. At the end of storage, GAAS maintained the highest antioxidant activity (~36%), whereas the control sample dropped to ~22%. A similar pattern was found in total phenolic content: GAAS-coated mushrooms retained the highest phenolic level (0.52 mg GAE/g fw) compared with the control (0.32 mg GAE/g fw). These findings highlight the synergistic effects of gum Arabic and ascorbic acid in reducing oxidative degradation and preserving phenolic compounds, which are essential contributors to antioxidant potential.

Overall, all sensory attributes including color, flavor, texture, and overall acceptability decreased during the storage period, but the decline was less pronounced in treatments containing antioxidant compounds, especially the GAAS coating. The results demonstrated that the addition of antioxidants and natural coatings such as Arabic gum significantly preserved the sensory quality and extended the shelf life of button mushrooms. Similar findings have reported that coatings with Arabic gum combined with ascorbic acid reduce browning, maintain fresh taste, and improve overall product acceptability.

Conclusion

Overall, this research demonstrates that natural edible coatings, especially the GA + AS formulation, effectively maintained the physicochemical, antioxidant, and visual qualities of button mushrooms during refrigerated storage. The mechanism involves reducing respiration rate, limiting water vapor and gas exchange, and inhibiting oxidative enzyme activity. Owing to its biodegradability, safety, affordability, and high efficacy, the GAAS coating can serve as an environmentally friendly alternative to synthetic packaging or chemical preservatives. Hence, the combined use of gum Arabic and starch with ascorbic acid represents a promising, low-cost, and sustainable strategy for extending the shelf life of button mushrooms and potentially other perishable horticultural products in the fresh food supply chain. Sensory evaluation results showed that important sensory attributes including color, flavor, texture, and overall acceptability of button mushrooms decreased during 14 days of storage. However, this decline was significantly less in samples treated with composite antioxidant-containing coatings, particularly the GAAS coating. These findings indicate that coatings based on Arabic gum and antioxidant additives effectively protect sensory quality, preventing undesirable changes during storage. Additionally, better retention of texture and overall acceptability confirms the positive impact of these coatings on freshness and consumer satisfaction. Therefore, designing natural composite coatings offers an efficient strategy for improving the shelf-life and sensory quality of button mushrooms in the food industry.

Keywords: Edible coating, Mushroom texture, Natural biopolymers, Phenolic content, Shelf life

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۵، آذر- دی ۱۴۰۴، ص. ۵۶۷-۵۴۹

بررسی ویژگی‌های کیفی و تغییرات آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای پوشش داده شده با صمغ عربی، نشاسته و اسید آسکوربیک در طول نگهداری سرد

فاطمه آمیغی^{۱*} - فاطمه حیدری دلفار^۱ - عارفه صادقی^۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۸

چکیده

هدف این پژوهش، بررسی اثر پوشش‌های خوراکی طبیعی بر پایه صمغ عربی، نشاسته ذرت و ترکیب آن‌ها با اسید آسکوربیک بر ویژگی‌های کیفی قارچ دکمه‌ای در طی نگهداری سرد (1 ± 4 درجه سلسیوس) به مدت ۱۴ روز بود. قارچ‌های تازه پس از شستشو با آب مقطر، به مدت سه دقیقه در محلول‌های پوششی مختلف غوطه‌ور شدند. تیمارهای مورد بررسی شامل شاهد، اسید آسکوربیک (۵٪)، نشاسته ذرت، صمغ عربی، نشاسته به همراه اسید آسکوربیک و صمغ عربی به همراه اسید آسکوربیک بودند. پارامترهای ارزیابی شده شامل افت وزن، سفتی بافت، شاخص‌های رنگ و قهوه‌ای شدن، مواد جامد محلول، محتوای فنولی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ارزیابی حسی بودند. کمترین کاهش وزن ($16/47\%$) در نمونه‌های تیمار شده با پوشش صمغ عربی حاوی اسید آسکوربیک (GAAS) مشاهده شد، در حالی که نمونه شاهد بیشترین افت وزن ($33/06\%$) را داشت. بیشترین سفتی بافت ($17/43$ نیوتن) در همان تیمار مشاهده گردید. نمونه GAAS همچنین پایین‌ترین شاخص قهوه‌ای شدن ($25/70$) و بیشترین شاخص روشنایی را حفظ کرد. این تیمار بالاترین مقدار محتوای فنولی ($0/52 \text{ mg GAE/gfw}$) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ($36/57 \text{ mg}$) را نیز نشان داد. نتایج ارزیابی حسی نشان داد که استفاده از پوشش‌های خوراکی ترکیبی بر پایه صمغ عربی و اسید آسکوربیک موجب حفظ بهتر ویژگی‌های حسی قارچ دکمه‌ای شامل رنگ، طعم، بافت و پذیرش کلی طی دوره نگهداری ۱۴ روزه در دمای سرد شد. تیمارهای پوشش‌دهی شده کاهش کمتری در کیفیت حسی نسبت به نمونه‌های شاهد داشتند و این امر منجر به افزایش رضایت مصرف‌کننده و حفظ تازگی محصول گردید. به‌طور کلی، نتایج حاکی از آن است که استفاده از پوشش‌های خوراکی ترکیبی، به‌ویژه صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک، نسبت به سایر تیمارها اثربخشی بیشتری در حفظ تازگی و کنترل قهوه‌ای شدن از خود نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بافت قارچ، بیوپلیمرهای طبیعی، پوشش خوراکی، ماندگاری، محتوای فنولی

مقدمه

قارچ‌های تازه و فرآوری شده از زمان‌های قدیم به دلیل خواص حسی، ارزش تغذیه‌ای و دارویی مورد توجه انسان بوده‌اند. قارچ دکمه‌ای^۲ به دلیل طعم مطلوب و ارزش غذایی بالا، پرمصرف‌ترین نوع قارچ خوراکی در جهان محسوب می‌شود. این قارچ‌ها هر چند ارزش کالری اندکی دارد، اما منبع غنی از پروتئین باکیفیت بالا، اسیدهای آمینه ضروری، فیبر غذایی، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات فنولی است که در ارتقای سلامت انسان نقش مؤثری دارند (Pleșoianu & Nour, 2022).

(2022). با وجود این مزایا، قارچ دکمه‌ای به علت بافت نرم، فعالیت آبی بالا و نبود پوشش محافظ طبیعی، بسیار آسیب‌پذیر بوده و دارای طول عمر ماندگاری کوتاهی در شرایط انبارداری است (Vaziri, Kordi, Shokrabi zadeh, & Shamloo, 2019). پوشش‌های خوراکی به عنوان لایه‌های نازک، خوراکی و زیست‌تخریب‌پذیر، جایگزین مناسب برای پوشش‌های مومی محسوب می‌شوند و با ایجاد مانعی در برابر O_2 ، رطوبت و مواد محلول، می‌توانند از افت کیفیت محصولات تازه جلوگیری کنند (Dhall, 2013). این پوشش‌ها بر اساس ترکیب سازنده

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران
(*)- نویسنده مسئول: (Email: Fatemeh.Amighi@ujiroft.ac.ir)

فیزیکوشیمیایی میوه‌ها به تأخیر انداخته و از قهوه‌ای شدن و فساد میکروبی آن‌ها بکاهند (El-Gioushy *et al.*, 2022; Huang *et al.*, 2021a).

به طور مشابه، نشاسته به عنوان بیوپلیمری زیست تخریب پذیر و کم هزینه، با ایجاد لایه‌ای نیمه تراوا، در کنترل تبخیر رطوبت و کاهش افت وزن محصولات تازه مؤثر است (Oyom, Zhang, Bi, & Tahergorabi, 2022). افزون بر این، اسید آسکوربیک یا ویتامین C با مهار عملکرد آنزیم‌های اکسیداتیو مانند پلی فنول اکسیداز، از قهوه‌ای شدن آنزیمی جلوگیری کرده و کیفیت ظاهری و ارزش تغذیه‌ای محصولات تازه را حفظ می‌کند (Najjari & Bodaghi, 2024). ترکیب این مواد می‌تواند اثرات هم‌افزایی ایجاد کند، به گونه‌ای که صمغ عربی و نشاسته نقش ساختاری و بازدارندگی فیزیکی ایفا کرده و اسید آسکوربیک از طریق خاصیت آنتی‌اکسیدانی خود، از تخریب اکسیداتیو جلوگیری نماید (Wu, Zhang, & Fan, 2024).

توجه به نفوذپذیری افزودنی‌ها در محلول پوشش و سازگاری آن‌ها با مواد پوشش هنگام انتخاب مواد افزودنی مناسب برای فرمولاسیون پوشش‌های خوراکی ضروری است. سمیت یکی دیگر از عوامل ضروری برای اطمینان از ایمن بودن افزودنی برای مصرف است. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل دقیق غلظت افزودنی مورد استفاده در یک پوشش در طول فرآیند فرمولاسیون بسیار مهم است (Huang, Wan, Zhang, 2021b; Chen, & Chen, 2021b).

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی اثر انواع پوشش‌های خوراکی را بر حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای بررسی کرده‌اند؛ با این حال، اکثر این پژوهش‌ها بر استفاده از یک نوع بیوپلیمر متمرکز بوده و به اثرات ترکیبی چند ماده طبیعی به صورت هم‌زمان کمتر پرداخته‌اند (Vaziri *et al.*, 2019). از این رو، نوآوری پژوهش حاضر در به کارگیری پوشش‌های خوراکی ترکیبی بر پایه صمغ عربی و نشاسته در حضور اسید آسکوربیک به عنوان عامل ضد قهوه‌ای بر ویژگی‌های کیفی قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس است. در این راستا، شاخص قهوه‌ای شدن، افت وزن، میزان مواد جامد محلول، محتوای ترکیبات فنولی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ارزیابی حسی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

مواد و روش‌ها

مواد

ماتنول، معرف فولین-سیوکالتیو^۲، اسید گالیک، ۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH)، کربنات سدیم و مابقی مواد شیمیایی

در سه گروه هیدروکلوئیدی (پلی ساکاریدها و پروتئین‌ها)، لیپیدی و کامپوزیتی طبقه‌بندی می‌شوند. هیدروکلوئیدها پلیمرهای آب دوستی هستند که از منابع میکروبی، حیوانی یا گیاهی به دست می‌آیند و به دلیل شفافیت و طعم خنثی، کاربرد فراوانی در صنایع غذایی دارند. ترکیبات کامپوزیتی نیز از ترکیب فازهای لیپیدی و هیدروکلوئیدی برای بهره‌مندی از مزایای هر دو گروه ساخته می‌شوند (Kalita *et al.*, 2025; Tiamiyu, Adebayo, & Yusuf, 2023).

در سال‌های اخیر، استفاده از پوشش‌های خوراکی مبتنی بر بیوپلیمرهای طبیعی مانند صمغ عربی، نشاسته و مواد آنتی‌اکسیدانی نظیر اسید آسکوربیک، به دلیل ایمنی مصرف، زیست تخریب پذیری و توانایی حفظ ویژگی‌های حسی و فیزیکی محصولات مورد توجه قرار گرفته‌اند (Siahroodi, Ariayi, & Fattahi, 2016). این پوشش‌ها با ایجاد مانع برای انتقال آب و اکسیژن و تثبیت مواد مغذی، نقش مؤثری در کاهش افت کیفیت قارچ ایفا می‌کنند. مطالعات متعدد بر کاربرد این پوشش‌ها تأکید دارند؛ برای نمونه، پوشش کربوکسی متیل سلولز و متابی سولفیت سدیم موجب کاهش افت وزن، حفظ رنگ، افزایش ماده خشک و کنترل رشد میکروبی در انبارداری شده است (Rad, Ghafouri, & Gholami, 2020). همچنین اثربخشی پوشش‌های کیتوزان با درجات مختلف استیل‌زدایی، به شکل کاهش افت وزن، افزایش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و حفظ بافت اثبات شده است (Ghorbanzadeh, Mohammad Zadeh, & Motamed Zadeh, 2025).

در پژوهش‌های اخیر، استفاده از ترکیبات نانویی مانند نانوکیتوزان و نانوهیدروکسی آپاتیت، راهکاری نوین و مؤثر برای حفظ ویژگی‌های زیستی و بهبود خصوصیات حسی قارچ طی نگهداری شناخته شده است. یافته‌های مطالعه‌ی اخیر نشان داده است که قارچ‌های پوشیده شده با ۱٪ نانوکیتوزان و ۴۰ میلی گرم نانوهیدروکسی آپاتیت، کمترین افت وزنی، بیشترین محتوای زیست فعال، کاهش پوسیدگی و بالاترین امتیاز حسی را تا ۲۸ روز انبارداری داشته‌اند (Huang, Wan, Zhang, 2021a; Ziaei Ghahnooyeh, Raji, Chen, & Chen, 2021a; Ehteshamnia, & Sohrabi, 2025).

در کنار این ترکیبات، صمغ عربی (GA) و نشاسته به دلیل دسترسی آسان، قیمت پایین و عملکرد مناسب، گزینه‌هایی مطلوب برای تهیه پوشش‌های خوراکی به شمار می‌روند. صمغ عربی بیوپلیمری طبیعی است که از درخت اقاقیا استخراج می‌شود و ترکیبی از قندهای رامنوز، گالاتکتوز، آرابینوز و اسید گلوکورونیک همراه با یون‌های معدنی است. این بیوپلیمر به دلیل خاصیت فیلم‌سازی، پایداری امولسیون و ایمنی بالا، در صنایع غذایی کاربرد گسترده‌ای دارد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که پوشش‌های حاوی GA می‌توانند تغییرات

قارچ‌های انتخاب شده پس از شستشو و خشک شدن، و به صورت تصادفی به شش گروه تقسیم شدند و سپس در محلول‌های تیماری غوطه‌ور گردیدند. نمونه‌های شاهد فقط در آب مقطر غوطه‌ور شدند، درحالی‌که بقیه بعد از شستشو و خشک شدن در محلول‌های پوششی آماده شده غوطه‌ور شدند. برای این منظور به صورت زیر عمل شد. محلول ضد قهوه‌ای شدن با غلظت ۵ درصد با استفاده از اسید آسکوربیک در دمای محیط تهیه شد. یک سری از قارچ‌ها ابتدا در محلول ضد قهوه‌ای به مدت سه دقیقه غوطه‌ور شدند تا واکنش‌های قهوه‌ای شدن سطحی مهار گردد. سپس با آب مقطر شسته شده تا اسید اضافی پاک شود، پس از آن قارچ‌ها را روی کاغذ جاذب قرار گرفتند تا رطوبت اضافی را جذب گردد. در مرحله بعد، قارچ‌های تیمار شده با اسید با یکی از محلول‌های پوششی صمغ عربی و نشاسته پوشش داده شدند. (جدول ۱). پوشش‌دهی با روش غوطه‌وری برای سه دقیقه انجام شد. همچنین، گروهی از قارچ صرفاً با محلول‌های پوششی صمغ عربی و نشاسته بدون مرحله ضد قهوه‌ای شدن پوشش‌دهی شدند. قارچ‌های پوشش‌دار شده روی یک سبد به مدت ۵ دقیقه قرار داده شدند تا محلول پوشش باقیمانده چکه کند و پوشش تثبیت شود. در نهایت، قارچ‌ها در ظروف پلاستیکی یک‌بار مصرف پلی‌اتیلنی به میزان ۶ تا ۱۰ قارچ در هر بسته قرار گرفتند و از روی هم قرار گرفتن قارچ‌ها، اجتناب شد. همه نمونه‌ها تا زمان انجام آزمون‌های مختلف در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۹۰-۸۵ درصد به مدت ۱۴ روز نگهداری گردیدند.

از شرکت مرک^۱ آلمان خریداری شد. قارچ دکمه‌ای سفید از یک سوپرمارکت محلی (با اطمینان از کنترل دقیق فرآیند برداشت و اطلاعات مربوط به زمان برداشت تا تحویل نمونه‌ها) خریداری شد و سعی شده در کوتاه‌ترین زمان ممکن انتقال انجام شود. همچنین نمونه‌ها بلافاصله پس از دریافت در آزمایشگاه تحت شرایط بهینه نگهداری شدند. قارچ‌هایی با اندازه مشابه، با کلاهک کاملاً بسته، بدون علائم قهوه‌ای شدن و آسیب مکانیکی برای آزمایش‌ها انتخاب شدند. نمونه‌ها در مدت ۱ ساعت به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸۵ درصد تا زمان استفاده در آزمایش نگهداری شدند.

آماده‌سازی پوشش‌ها

برای پوشش‌دهی با نشاسته از محلول نشاسته با غلظت ۲۰ g/L استفاده شد. محلول آماده‌شده تا زمان شفاف شدن روی همزن مغناطیسی مجهز به گرم‌کن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس همزنی شد. سپس تا دمای محیط سرد شد (Cruz-Monterrosa et al., 2023). برای پوشش‌دهی با صمغ عربی از محلول با غلظت 100 g/L استفاده شد. محلول آماده‌شده تا زمان شفاف شدن روی همزن مغناطیسی مجهز به گرم‌کن در دمای ۴۰ درجه سلسیوس همزنی شد. سپس تا دمای محیط سرد شد.

تیمارها

جدول ۱- فرمولاسیون تیمارها و کدهای مربوطه

Table 1- Treatment formulations and respective codes

تیمارها	ترکیبات
Treatments	Components
C	Distilled water (Control)
GA	Gum Arabic
GAAS	Gum Arabic + Ascorbic acid
AS	Ascorbic acid
CS	Corn starch
CSAS	Corn starch + Ascorbic acid

افت وزن، رنگ، شاخص قهوه‌ای شدن، کل مواد جامد محلول، محتوای فنولی کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH، ارزیابی حسی و بافت در روزهای ۱، ۴، ۷، ۱۱ و ۱۴ در طول نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. تمام آزمایش‌ها سه بار تکرار شدند.

افت وزن

افت وزن قارچ‌ها با استفاده از تراز دیجیتال دقت ۰/۰۱ گرم اندازه گیری شد. قارچ‌ها پس از پوشش‌دهی، بسته‌بندی (زمان صفر، وزن اولیه) و سپس در روزهای ۱، ۴، ۷، ۱۱ و ۱۴ نگهداری توزین شدند. افت وزن به عنوان درصد کاهش وزن اولیه قارچ گزارش شد و با استفاده

از رابطه (۱) محاسبه شد (Mohebbi, Ansarifar, Hasanpour, & Amiryousefi, 2012):

$$(۱) \quad \text{افت وزن} = \frac{(\text{وزن روز خاص} - \text{وزن اولیه})}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

بافت

آزمایش نفوذ بر روی کلاهی قارچ با استفاده از تحلیلگر بافت CT3 (بروکفیلد، ایالات متحده)، با استفاده از پروب استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متر نمونه‌ها در عمق ۵ میلی‌متری نفوذ کردند، سرعت پروب در طول پیش‌آزمون و نفوذ ۲ میلی‌متر بر ثانیه بود، از منحنی نیرو در مقابل زمان، سفتی به‌عنوان حداکثر نیرو تعریف شد.

شاخص رنگ و قهوه‌ای شدن (BI^۱)

رنگ سطح کلاهی قارچ در روزهای ۱، ۴، ۷، ۱۱ و ۱۴ نگهداری با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (METER COLOR A-135TES، تایوان) اندازه‌گیری شد. رنگ به‌صورت مقادیر بازتاب L* (روشنی)، a* (قرمزی) و b* (زردی) سیستم رنگی CIEL*a*b* بیان شد، تجزیه و تحلیل بر روی سه نمونه به‌طور تصادفی انتخاب‌شده از هر تیمار با سه قرائت بر روی هر نمونه انجام شد. شاخص قهوه‌ای شدن به‌عنوان شاخص شدت رنگ قهوه‌ای استفاده شد و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$BI = 100 \frac{(X - 0.31)}{0.17} \quad (2)$$

که در آن X از رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$X = \frac{(a + 1.75 L)}{5.645 L + a - 3.012 b} \quad (3)$$

مواد جامد محلول کل (TSS^۲)

قارچ‌ها رنده شده و با فشار دست فشرده می‌شوند، محتوای مواد جامد محلول کل در آب‌میوه با استفاده از رفاکتومتر دیجیتال (Hanna Instruments, Woonsocket, RI, USA) تعیین شد و نتایج برحسب درصد بیان شد.

محتوای فنولی کل

نمونه‌های قارچ (۱/۵ گرم) در ۱۰ میلی‌لیتر متانول همگن شدند، سپس استخراج به‌مدت ۶۰ دقیقه در دمای محیط انجام شد، پس از استخراج، نمونه‌ها به‌مدت ۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند، مواد روایی جمع‌آوری و تا زمان آزمون در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند، محتوای فنولی کل در عصاره قارچ طبق روش فولین-سیوکالتیو همان‌طور که توسط سینگلتون و همکاران (Singleton & Rossi, 1965) توضیح داده شد اندازه‌گیری شد. مقدار کمی از عصاره (۰/۱ میلی‌متر) با ۵ میلی‌متر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌متر از معرف فولین-سیوکالتیو مخلوط شد، پس از ۳ دقیقه، ۱/۵ میلی‌متر

کربنات سدیم (۲۰ درصد وزنی) اضافه شد و مخلوط با آب مقطر به ۱۰ میلی‌متر رسید، نمونه‌ها تکان داده شدند و به‌مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند، سپس جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر Halo Xb-10UV Vis (شرکت Dynamica، انگلیس) در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری شد، محتوای فنولی کل به‌صورت میلی‌گرم معادل اسید گالیک (GAE^۳) در هر ۱۰۰ گرم وزن تازه بیان شد، برای هر نمونه سه تکرار انجام شد (Pleșoianu & Nour, 2022).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

اثر مهار رادیکال‌های آزاد عصاره‌های قارچ بر رادیکال ۲،۲-دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH^۴) طبق روش توصیف شده توسط داولیورا و همکاران اندازه‌گیری شد (Mainardes, & Khalil, 2018). ابتدا ۳ میلی‌لیتر محلول متانولی DPPH با غلظت ۰/۰۰۴٪ به ۵۰ میکرولیتر عصاره قارچ اضافه شد، پس از تکان دادن و آنکوباسیون در تاریکی به‌مدت ۳۰ دقیقه، جذب مخلوط واکنش در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر Halo Xb-10UV Vis (شرکت Dynamica، انگلیس) در برابر متانول خالی بدون معرف DPPH قرائت شد، مهار رادیکال DPPH توسط عصاره نمونه بر اساس رابطه (۴) محاسبه شد (Pleșoianu & Nour, 2022).

$$DPPH = \frac{\text{جذب نمونه - جذب شاهد}}{\text{جذب شاهد}} \times 100 \quad (4)$$

ارزیابی حسی

برای اندازه‌گیری ویژگی‌های حسی نمونه‌های دارای پوشش، از آزمون هدونیک پنج‌مرحله‌ای بهره گرفته شد. این ارزیابی براساس معیارهایی شامل پذیرش رنگ، بافت و پذیرش کلی انجام شد. در این تحقیق، تعداد ده نفر ارزیاب نیمه‌حرفه‌ای که مصرف‌کنندگان معمولی بودند، شرکت کردند. نمونه‌ها به‌صورت تصادفی کدگذاری شده و در ظروف استاندارد بسته‌بندی قارچ عرضه شدند. هر ارزیاب فرم ارزیابی شامل جدول امتیازدهی را به همراه نمونه‌ها دریافت کرد و بر اساس معیارهای تعیین‌شده، به هر ویژگی امتیازی بین ۱ (کمترین سطح پذیرش) تا ۵ (بالاترین سطح پذیرش) اختصاص داده شد. کلیه نمونه‌ها تحت شرایط کنترل‌شده نور، دما و زمان در اختیار داوران قرار گرفتند. همچنین به ارزیابان توصیه شد که بین آزمون‌ها برای بهبود حس چشایی و بویایی خود، از آب معدنی استفاده کنند تا تأثیر ارزیابی نمونه قبلی بر نمونه بعدی خنثی شود. محیط آزمایش نیز به دقت از نظر نور

3- Galic Acid Equivalent

4- 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl

1- Browning Index

2- Total Soluble Solid

و دما تنظیم گردید تا عوامل محیطی در قضاوت داوران اختلال ایجاد نکند (Vaziri et al., 2019).

تجزیه و تحلیل آماری

طراحی آزمایش‌ها پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار صورت پذیرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، از تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با روش آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت. کلیه محاسبات با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۷ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

افت وزن

نتایج آنالیز واریانس در **جدول ۲** نشان داد که افت وزن قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس در تیمارهای مختلف به‌طور معنی‌داری متفاوت بود ($p < 0.05$). با توجه به **شکل ۱** در پایان دوره نگهداری، بیشترین افت وزن مربوط به نمونه شاهد با ۳۳/۰۶ درصد و کمترین آن مربوط به تیمار پوشش‌دهی شده با صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک (GAAS) با ۱۶/۴۷ درصد بود. پوشش‌های خوراکی به‌طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش افت وزن در قارچ‌ها نسبت به شاهد شدند که این اثر به‌دلیل تشکیل لایه محافظ و خاصیت هیگروسکوپیک پوشش‌ها است که مانع از تبخیر سریع آب می‌شود (Daisy, Nduko, Joseph, & Richard, 2020). همچنین ترکیب پوشش‌ها با اسید آسکوربیک به خاطر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی، پیری قارچ را به تأخیر می‌اندازد. تیمارهای GA، CSAS و GAAS به‌طور مشخصی در کنترل میزان کاهش وزن مؤثرتر از سایر تیمارها بودند. این تفاوت‌ها به‌دلیل ماهیت پلیمر پایه و تأثیر اسید آسکوربیک بر فشردگی و شبکه برهم‌کنش‌های بین‌مولکولی

فیلیم است که منجر به کاهش معنی‌دار افت رطوبت می‌شود. یافته‌ها با نتایج مطالعات پیشین (Labib, Dey, & Hasan, 2025; Martins, Pintado, Morais, & Morais, 2024) هم‌راستا است.

کاهش وزن بیشتر به ساختار اپیدرمی نازک محافظت نشده قارچ نسبت داده می‌شود که منجر به کم‌آبی سریع از سطح می‌شود. کاهش کمتر وزن قارچ‌های پوشش داده شده احتمالاً به‌دلیل ویژگی‌های پوشش به‌عنوان یک مانع نیمه‌تراوا در برابر انتقال O_2 ، CO_2 ، رطوبت و یون‌ها است. این به نوبه خود باعث کاهش سرعت تنفس، از دست دادن آب و سرعت واکنش اکسیداسیون می‌شود.

کاهش وزن تأثیر مهمی بر کیفیت و تازگی قارچ دارد، چرا که افت وزن بیش از ۶-۴٪ معمولاً با بروز علائم ظاهری مانند پژمردگی یا چروکیدگی همراه است (Mohebbi et al., 2012). در تحقیق حاضر نیز کاهش وزن قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس مشاهده شد که این کاهش در نمونه‌های پوشش داده شده به‌طور معنی‌داری کمتر از نمونه شاهد بود. این امر نشان‌دهنده کارآمدی پوشش‌های خوراکی در به تعویق انداختن فرآیند پیری و کاهش تبخیر رطوبت است.

پوشش‌های خوراکی استفاده شده در مطالعه، علاوه بر مهار انتقال رطوبت، با ایجاد لایه‌ای محافظ، نقش هیگروسکوپیک داشته و از انتشار آب به محیط جلوگیری کردند که منجر به حفظ بهتر وزن و کیفیت محصول گردید. همچنین، ترکیب پوشش‌ها با اسید آسکوربیک به‌دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی، به کند شدن واکنش‌های اکسیداتیو و در نتیجه تأخیر در پیری قارچ کمک شایانی نمود (Cavusoglu et al., 2021; Sogvar, Koushesh Saba, & Emamifar, 2016). بنابراین نتایج مطالعه حاضر به وضوح اهمیت استفاده از پوشش‌های خوراکی حاوی آنتی‌اکسیدان‌ها برای حفظ تازگی و کیفیت قارچ‌ها را تأیید می‌کند و موید نقش مؤثر این پوشش‌ها در کاهش وزن و افزایش طول عمر نگهداری محصول می‌باشد.

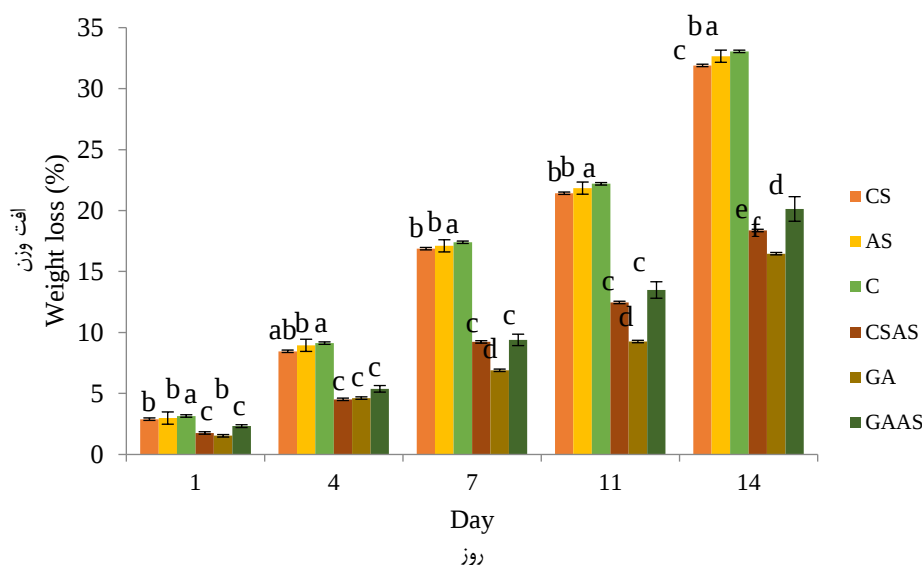
جدول ۲- نتایج آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) برای آزمون افت رطوبت نمونه‌های پوشش‌دهی شده

Table 2- Results of the analysis of variance (ANOVA) test for the moisture loss test of coated sample

		مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean square	آماره F F	سطح معنی‌داری Sig.
CS	Between groups بین گروه‌ها	1533.589	4	383.397	1763.936	.000
	Within groups درون گروه‌ها	2.174	10	.217		
	Total کل	1535.763	14			
CSAS	Between groups بین گروه‌ها	1651.066	4	412.767	5009.303	.000
	Within groups درون گروه‌ها	.824	10	.082		
	Total کل	1651.890	14			
C	Between groups بین گروه‌ها	2004.138	4	501.035	680.575	.000
	Within groups درون گروه‌ها	7.362	10	.736		
	Total کل	2011.500	14			
GA	Between groups بین گروه‌ها	515.552	4	128.888	285.297	.000
	Within groups درون گروه‌ها	4.518	10	.452		
	Total کل	520.069	14			
GAAS	Between groups بین گروه‌ها	586.036	4	146.509	564.727	.000
	Within groups درون گروه‌ها	2.594	10	.259		
	Total کل	588.631	14			
AS	Between groups بین گروه‌ها	382.230	4	95.557	595.621	.000
	Within groups درون گروه‌ها	1.604	10	.160		
	Total کل	383.834	14			

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.



شکل ۱- اثر تیمارها بر افت وزن (%) قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 °C درجه سلسیوس

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Fig. 1. Effects of treatments on the weight loss (%) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

پوشش‌دهی شده با CS و CSAS در تمام دوره ذخیره‌سازی میزان سفتی مشابهی داشتند و اختلاف معنی‌داری در بافت این نمونه‌ها مشاهده نشد. اما در بین نمونه‌های پوشش‌دهی شده با AS، GA و GAAS از روز چهارم تفاوت معنی‌دار مشاهده شد ($p < 0.05$). میزان سفتی پس از ۱۴ روز انبارداری در دمای ۴ درجه سلسیوس در نمونه شاهد، AS، CS، GA، CSAS و GAAS به ترتیب $13/45$ ، $15/43$ ، $16/34$ و $17/43$ نیوتن بود که اختلاف آن‌ها معنی‌دار ($p < 0.05$) بود. وجود پوشش دسترسی آنزیم‌ها به اکسیژن را تحت تأثیر قرار می‌دهد که ممکن است فعالیت آنزیم‌ها را محدود کرده و اجازه حفظ سفتی در طول ذخیره‌سازی را بدهد. با توجه به شکل ۲ تفاوت در میزان سفتی قارچ‌ها از روز چهارم شروع شده است. نمونه‌های GAAS بیشترین میزان سفتی و نمونه‌های شاهد کمترین میزان سفتی را در بین تیمارها داشتند. نمونه‌های پوشش داده‌شده با GA و GAAS نسبت به مابقی تیمارها میزان سفتی بیشتری را در دوره نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس نشان دادند. قارچ‌های پوشش داده‌شده با GA و CAAS از نظر بافت تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند که در بین این سه تیمار تیمارهای پوشش‌دهی شده با صمغ عربی به همراه اسید آسکوربیک بافت سفت‌تری داشتند.

در پژوهشی که محبی و همکاران (Mohebbi et al., 2012) انجام دادند به ترتیب ۳۰٪، ۳۲٪ و ۳۵٪ کاهش وزن در دمای ۴ درجه سلسیوس پس از ۱۳ روز نگهداری در صمغ کتیرا، صمغ آلوه‌ورا و پوشش آلوه‌ورا و همچنین ۴۷٪ کاهش وزن در قارچ شاهد گزارش کردند. در مطالعه‌ای دیگر میانگین کاهش وزن $44/13$ ، $43/59$ و $33/12$ درصد در قارچ‌های بدون پوشش، صمغ عربی و کربوکسی متیل سلولز پس از ۱۰ روز نگهداری در دمای ۷ درجه سلسیوس گزارش شده است (Sedaghat & Zahedi, 2012).

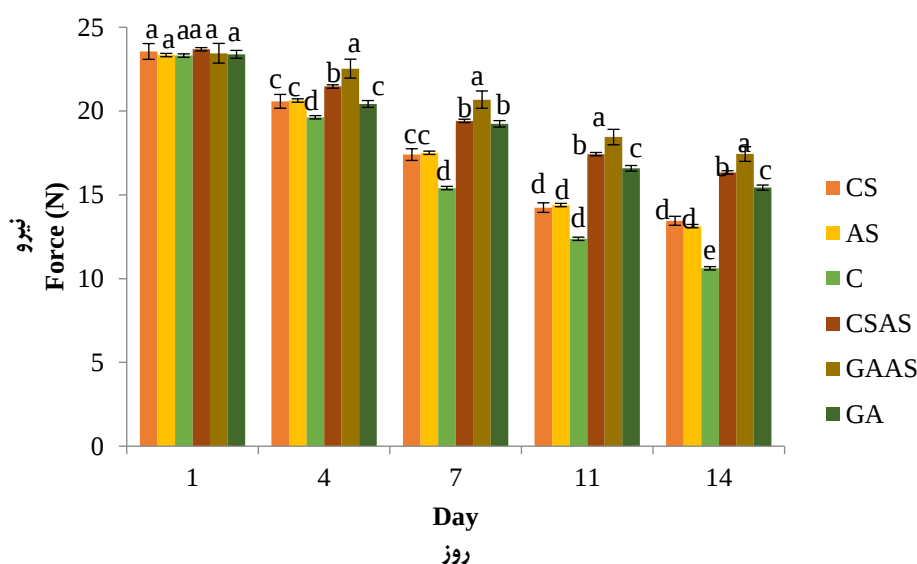
بافت

در طی دوران نگهداری نمونه شاهد و نمونه‌های پوشش داده شده کاهش سفتی در تمام نمونه‌ها مشاهده شد. تغییرات بافتی قارچ شاهد و نمونه‌های تیمار شده طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس در شکل ۲ نشان داده شده است. در طی دوره نگهداری، نمونه‌های پوشش‌دهی شده کمترین میزان کاهش سفتی را نسبت به نمونه شاهد نشان دادند که این امر بیانگر نقش محافظتی پوشش‌ها در حفظ یکپارچگی و کیفیت مکانیکی بافت قارچ است. با توجه به شکل ۲ تفاوت معنی‌داری در بافت نمونه شاهد و نمونه‌های پوشش‌دهی شده در روز اول مشاهده نشد. از روز چهارم تفاوت قابل توجهی بین نمونه شاهد و نمونه‌های پوشش‌دهی شده مشاهده شد. نمونه‌های

مکانیکی بافت قارچ است. در مجموع، تیمار GAAS مؤثرترین عملکرد را در حفظ بافت و کاهش افت سفتی نشان داد.

مطالعات نشان داده است که پوشش‌های شامل صمغ عربی غنی شده با آنتی‌اکسیدان مانند اسید آسکوربیک می‌توانند به‌طور معنی‌داری استحکام بافت و مقاومت مکانیکی میوه‌های تازه را در طول نگهداری حفظ کنند (Golmohammadi et al., 2024). این یافته مشابه نتایج به‌دست آمده است که ترکیب GAAS بهترین پوشش برای حفظ بافت است. همچنین پژوهش‌های منتشر شده در سال‌های اخیر تأکید دارند که افزودن مواد عملکردی مانند آنتی‌اکسیدان‌ها (اسید اسکوربیک) به پوشش‌های زیستی به تثبیت ساختار پروتئینی و سلولی میوه کمک می‌کند و موجب حفظ بهتر مقاومت مکانیکی و بافت می‌شود (Cavusoglu et al., 2021; Yahyaee, Bahman, & Blaabjerg, 2020).

در روز نخست، سفتی یا نیروی بافتی تمام نمونه‌ها در محدوده ۲۳ تا ۲۴ نیوتن بود که نشان‌دهنده تازگی و استحکام بالایی بافت قارچ‌هاست. با گذشت زمان، میزان این نیرو در تمامی تیمارها کاهش یافت که بیانگر نرم شدن بافت و افت کیفیت بافتی است. در بین تیمارها، پوشش‌های حاوی صمغ عربی و اسید آسکوربیک (GAAS) و همچنین نشاسته همراه با اسید آسکوربیک (CSAS)، در اغلب روزها نیروی بالاتری نسبت به سایر تیمارها نشان دادند؛ این امر بیانگر نقش مؤثر این پوشش‌ها در حفظ استحکام و یکپارچگی بافت قارچ در طول دوره نگهداری است. در مقابل، نمونه‌های شاهد و تیمارهای حاوی تنها اسید آسکوربیک، بیشترین کاهش نیرو را تجربه کردند. تفاوت معنی‌دار میان تیمارها از روز چهارم به بعد مشاهده شد (بر اساس حروف متفاوت در جدول)، که نمایانگر تفاوت عملکرد پوشش‌ها در حفظ کیفیت



شکل ۲- اثر تیمارها بر بر سفتی (N) قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 °C درجه سلسیوس

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Fig. 2. Effects of treatments on the firmness (N) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

رنگ

قهوه‌ای شدن بود. این واکنش‌های قهوه‌ای شدن به آسیب‌های مکانیکی در حین نقل و انتقال و فرآوری، خراش، شستشو، پیری و فساد میکروبی مربوط می‌شود. مقدار L^* نمونه GAAS تقریباً در همه‌ی روزها بیشترین بود. در روز ۱۴ نمونه‌های GACS و CAAS با روشنایی ۸۸/۸۴ و ۸۷/۵۹ کمترین تغییرات رنگ را داشتند. ما در این

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در جدول ۳، مقدار روشنایی (L^*) در تمام نمونه‌ها با گذشت زمان کاهش یافت. این کاهش در نمونه‌های پوشش‌دار به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) کمتر از نمونه شاهد بود که به دلیل عدم پوشش‌دهی نمونه‌ها در برابر اکسیژن هوا و انجام واکنش‌های

مواد جامد محلول

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۳) میزان مواد جامد محلول در نمونه‌های پوشش‌دار و شاهد باگذشت زمان افزایش یافته است. میزان مواد جامد محلول در نمونه شاهد از روز ۷ به بعد به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بیش‌تر از نمونه‌های پوشش‌دار بود و از روز ۱۱ با شدت بیشتری افزایش یافت، در حالی‌که در نمونه‌های پوشش‌دار این افزایش با شدت کمتری بود. بین پوشش‌ها نیز در پایان دوره نگهداری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت ($p > 0.05$) و به‌طور کلی کمترین تغییرات میزان مواد جامد محلول در طول ۱۴ روز در تیمار CS و بیشترین تغییرات در نمونه شاهد مشاهده شد.

افزایش میزان مواد جامد محلول در طی فرایند رسیدن میوه‌ها عمدتاً ناشی از تجزیه کربوهیدرات‌های پلیمری به قندهای ساده و ترکیبات محلول در آب است. در نتیجه، با کاهش محتوای آب بافت، غلظت این ترکیبات در واحد حجم افزایش یافته و مقدار بریکس نیز بیشتر می‌شود. به بیان دیگر، در دوره نگهداری، هر چه میزان از دست‌دهی آب توسط میوه کمتر باشد، افزایش بریکس نیز به همان نسبت محدودتر خواهد بود. اعمال پوشش‌های خوراکی با ایجاد مانعی فیزیکی بر سطح میوه، موجب کاهش شدت افزایش مواد جامد محلول می‌شود؛ این پدیده عمدتاً به‌دلیل کاهش نرخ تنفس و محدودسازی فعالیت‌های متابولیکی در بافت میوه است. بنابراین، استفاده از پوشش‌ها با ایجاد یک غشای نیمه‌تراوا در اطراف سطح قارچ، از تبخیر رطوبت و افت آب جلوگیری کرده و در نتیجه سبب کاهش سرعت افزایش بریکس و به تعویق افتادن فرآیند پیری می‌گردد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH و محتوای فنولی کل

مطابق با نتایج شکل ۴، فعالیت آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای در تمام تیمارها طی دوره نگهداری روندی کاهشی نشان داد. در روز نخست اختلاف معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد ($p > 0.05$) و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در همه نمونه‌ها حدود ۶۵ تا ۶۸ درصد بود. با این حال، از روز چهارم به بعد تفاوت‌ها آشکارتر شد. در تیمار شاهد (C)، فعالیت آنتی‌اکسیدانی کاهش شدیدی داشت و در روز چهاردهم به کمترین مقدار (حدود ۲۲٪) رسید. در مقابل، تیمارهای ترکیبی به‌ویژه GAAS و CSAS توانستند به‌طور معناداری از افت فعالیت آنتی‌اکسیدانی جلوگیری کردند و در پایان دوره بیشترین مقادیر (به‌ترتیب حدود ۳۶٪ و ۳۵٪) را حفظ نمودند. تیمارهای منفرد ماندند GA، CS و AS نیز نسبت به شاهد عملکرد مطلوبی داشتند، اما کارایی آن‌ها کمتر از تیمارهای ترکیبی بود.

پژوهش به کمک پوشش ترکیب صمغ عربی و اسید آسکوربیک تغییرات رنگ قارچ را کاهش دادیم. همچنین بر اساس گزارش‌ها، پوشش کربوکسی‌متیل سلولز حاوی اسید آسکوربیک باعث کنترل تغییرات رنگ تکه‌های سیب نیز گردید (Koushesh Saba, Darvishi, Zarei, & Sogvar, 2025).

اندیس قهوه‌ای شدن (BI^1) به‌تدریج در طول ذخیره‌سازی در هر دو نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده با پوشش خوراکی افزایش یافت (جدول ۲). در پایان دوره ذخیره‌سازی ۱۴ روزه، کمترین مقادیر BI برای نمونه‌های پوشش داده‌شده با صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک (۲۵/۷۰) و پوشش داده‌شده با نشاسته همراه با اسید آسکوربیک (۲۶/۷۳) مشاهده شد. کند شدن فرآیند قهوه‌ای شدن با اعمال برخی از پوشش‌های سطحی را می‌توان با کاهش فعالیت‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی در نتیجه اختلال در جذب اکسیژن توضیح داد. با این وجود، در بین نمونه‌های پوشش‌دهی شده بالاترین مقادیر BI برای نمونه‌های شاهد، پوشش‌دهی شده با نشاسته به تنهایی و پوشش‌دهی شده با اسید آسکوربیک به تنهایی پس از ۷ و ۱۴ روز نگهداری یافت شد.

نتایج نشان داد افزودن اسید آسکوربیک که مهارکننده قوی اکسیداسیون است، در کنار پوشش‌های فیزیکی مثل صمغ عربی، بهترین تأثیر را در کاهش این شاخص دارد. تیمار بدون پوشش بیشترین افزایش در شاخص قهوه‌ای شدن را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. این نتایج بیانگر اهمیت پوشش‌دهی ترکیبی با مواد آنتی‌اکسیدانی و محافظ فیزیکی برای بهبود ماندگاری و کیفیت ظاهری قارچ دکمه‌ای است. شاخص قهوه‌ای شدن نشان‌دهنده میزان تیرگی و تغییر رنگ غیر مطلوب قارچ است که ناشی از اکسیداسیون و فعالیت آنزیم پلی‌فیل اکسیداز می‌باشد. افزودن اسید آسکوربیک که مهارکننده قوی اکسیداسیون است، در کنار پوشش‌های فیزیکی مثل صمغ عربی، بهترین تأثیر را در کاهش این شاخص دارد. تیمار بدون پوشش بیشترین افزایش در شاخص قهوه‌ای شدن را در طول زمان نگهداری نشان می‌دهد. این نتایج اهمیت پوشش‌دهی ترکیبی با مواد آنتی‌اکسیدانی و محافظ فیزیکی را برای بهبود ماندگاری و کیفیت ظاهری قارچ دکمه‌ای توصیه می‌کند (Almasi, Poor Fathi, & Mokhtari, 2020; Cheraghi, Ghanbari, & Seidi, 2022). استفاده از اسید آسکوربیک در پوشش‌دهی باعث کاهش قهوه‌ای شدن و حفظ رنگ طبیعی سفید قارچ دکمه‌ای می‌شود. پوشش با صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک یا نشاسته همراه با اسید آسکوربیک، میزان تغییر رنگ را کاهش داده و شاخص رنگ مطلوب‌تری نسبت به پوشش‌های فاقد اسید آسکوربیک ارائه می‌دهند (Cavusoglu et al., 2021).

جدول ۳- اثر درمان‌ها بر مقدار L* و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) نمونه‌ها طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ درجه سلسیوس

Table 3- Effect of treatments on L* value, browning index (BI) of samples stored at 4 °C for 14 days

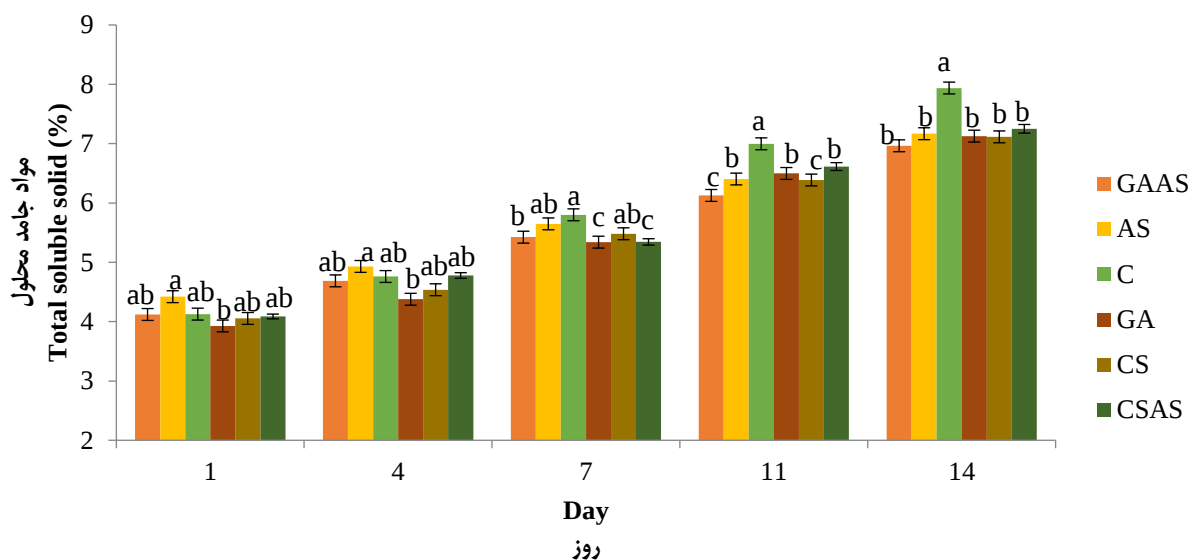
Day	GA	AS	C	CSAS	GAAS	CS
L*						
1	93.43 ± 0.15 ^{Aa}	93.39 ± 0.33 ^{Aa}	92.49 ± 0.45 ^{Abc}	92.83 ± 0.37 ^{Abc}	93.04 ± 0.18 ^{Aab}	92.43 ± 0.15 ^{Ac}
4	92.41 ± 0.96 ^{Ba}	91.41 ± 0.49 ^{Ba}	91.58 ± 0.32 ^{Aa}	92.34 ± 0.30 ^{Aa}	92.25 ± 1.07 ^{Ba}	91.34 ± 0.30 ^{Ba}
7	89.44 ± 0.44 ^{Cbc}	89.98 ± 0.94 ^{Cb}	87.35 ± 0.38 ^{Bd}	89.77 ± 0.43 ^{Bb}	91.31 ± 0.30 ^{Ba}	88.77 ± 0.43 ^{Cb}
11	87.11 ± 0.20 ^{Dbc}	89.07 ± 0.45 ^{Ca}	86.46 ± 0.32 ^{Cc}	89.07 ± 0.12 ^{Ca}	89.65 ± 0.40 ^{Ca}	87.74 ± 0.63 ^{Db}
14	86.49 ± 0.23 ^{Ec}	87.50 ± 0.32 ^{Db}	85.35 ± 0.09 ^{Dd}	87.59 ± 0.17 ^{Db}	88.84 ± 0.63 ^{Ca}	86.59 ± 0.17 ^{Ec}
BI						
	GA	AS	C	CSAS	GAAS	CS
1	14.98 ± 0.01 ^{Ed}	16.98 ± 0.01 ^{Ec}	16.42 ± 0.11 ^{Ec}	14.98 ± 0.01 ^{Ec}	14.97 ± 0.01 ^{Ea}	16.64 ± 0.08 ^{Eb}
4	17.94 ± 0.02 ^{Dc}	21.23 ± 0.06 ^{Da}	19.80 ± 0.22 ^{Db}	16.67 ± 0.05 ^{Dd}	16.67 ± 0.04 ^{Dd}	19.72 ± 0.05 ^{Db}
7	20.48 ± 0.11 ^{Cd}	26.90 ± 0.18 ^{Cb}	27.94 ± 0.05 ^{Ca}	21.62 ± 0.21 ^{Cc}	21.87 ± 0.49 ^{Cc}	27.83 ± 0.15 ^{Ca}
11	24.18 ± 0.53 ^{Bd}	32.37 ± 0.68 ^{Bc}	41.67 ± 0.51 ^{Ba}	23.09 ± 0.85 ^{Be}	23.38 ± 0.35 ^{Bde}	35.43 ± 0.38 ^{Bb}
14	32.13 ± 0.53 ^{Ac}	42.62 ± 0.40 ^{Ab}	52.37 ± 0.32 ^{Ada}	26.73 ± 0.41 ^{Ad}	25.70 ± 0.30 ^{Ad}	42.52 ± 0.36 ^{Ac}

* حروف مختلف نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین نمونه‌ها می‌باشد (آزمون دانکن، (p<0.05).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

*Different letters the indicator Significant difference It is between samples (Duncan's test, p<0.05).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.



شکل ۳- اثر تیمارها بر مواد جامد محلول (%) قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای ۴ ± ۱ درجه سلسیوس

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است (p<0.05).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

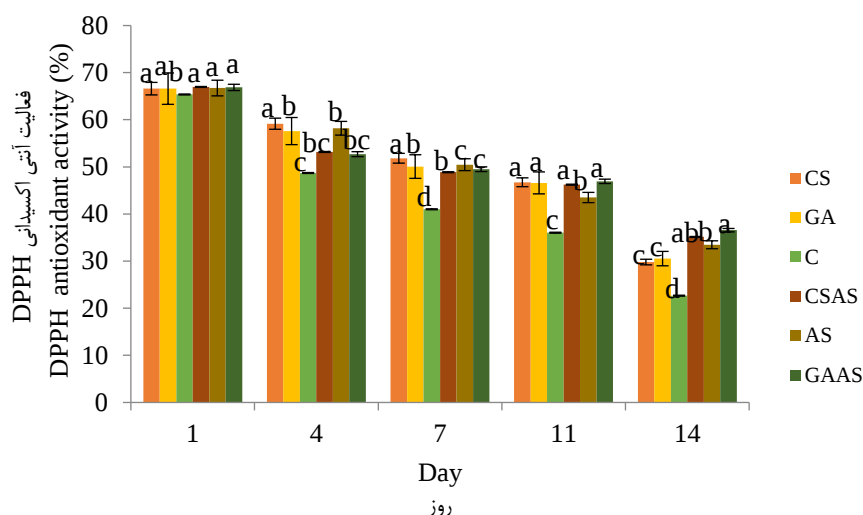
Fig. 3. Effects of treatments on the total soluble solid (%) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C

Different letters in each day indicate significant difference between the data (p<0.05).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

سطح بالاتری حفظ کنند. وجود اسید آسکوربیک در پوشش‌ها، فعالیت آنتی‌اکسیدانی قارچ‌ها را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد، به‌ویژه در ترکیب با صمغ عربی که خود دارای خواص آنتی‌اکسیدانی است؛ بنابراین قارچ‌های پوشش یافته با صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نسبت به پوشش‌های تک جزئی دارند (Borges et al., 2023).

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که تیمارهای پوششی و به‌ویژه تیمارهای ترکیبی نقش مهمی در حفظ ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و کاهش شدت تخریب رادیکال‌های آزاد در طی انبارداری قارچ دکمه‌ای دارند. این یافته‌ها همسو با مطالعات پیشین است که گزارش کرده‌اند پوشش‌های آنتی‌اکسیدانی با کاهش سرعت اکسیداسیون و محافظت از ترکیبات فنلی، می‌توانند فعالیت آنتی‌اکسیدانی را طی دوره نگهداری در



شکل ۴- اثر تیمارها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی DPPH (%) قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Fig. 4. Effects of treatments on the DPPH antioxidant activity (%) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C

Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum Arabic coating alone; AS: Ascorbic acid coating alone; GAAS: gum Arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

تخریب ترکیبات فنلی است. تیمارهای منفرد GA و AS نیز نسبت به شاهد عملکرد بهتری داشتند، اما اثربخشی آن‌ها کمتر از تیمارهای ترکیبی بود.

به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که کاربرد تیمارهای ترکیبی به‌ویژه GAAS نقش مؤثری در حفظ ترکیبات فنلی قارچ دکمه‌ای طی انبارداری ایفا می‌کند. این یافته‌ها با گزارش‌های پیشین درباره نقش آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی و توانایی تیمارهای پوششی یا آنتی‌اکسیدانی در کاهش اکسیداسیون فنولیک همخوانی دارد. نصیری و همکاران (Nasiri, Barzegar, Sahari, & Niakousari, 2018) در بررسی خود در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ تراکانت بیان کردند میان محتوای فنولی کل بالا با میزان قهوه‌ای شدن کمتر همبستگی

بر اساس نتایج ارائه‌شده در شکل ۵، محتوای کل فنولیک قارچ دکمه‌ای در تمام تیمارها طی دوره نگهداری روندی کاهشی نشان داد، هرچند میزان کاهش در تیمارها متفاوت بود. در روز نخست تفاوت معنی‌داری میان تیمارها مشاهده نشد ($p > 0.05$)، اما از روز چهارم به بعد تغییرات بارزتر شدند. در تیمار شاهد (C) کاهش شدیدی در محتوای فنولیک ثبت گردید، به‌طوری‌که در روز چهاردهم کمترین مقدار (حدود $32/32$ mg GAE/gfw) مشاهده شد.

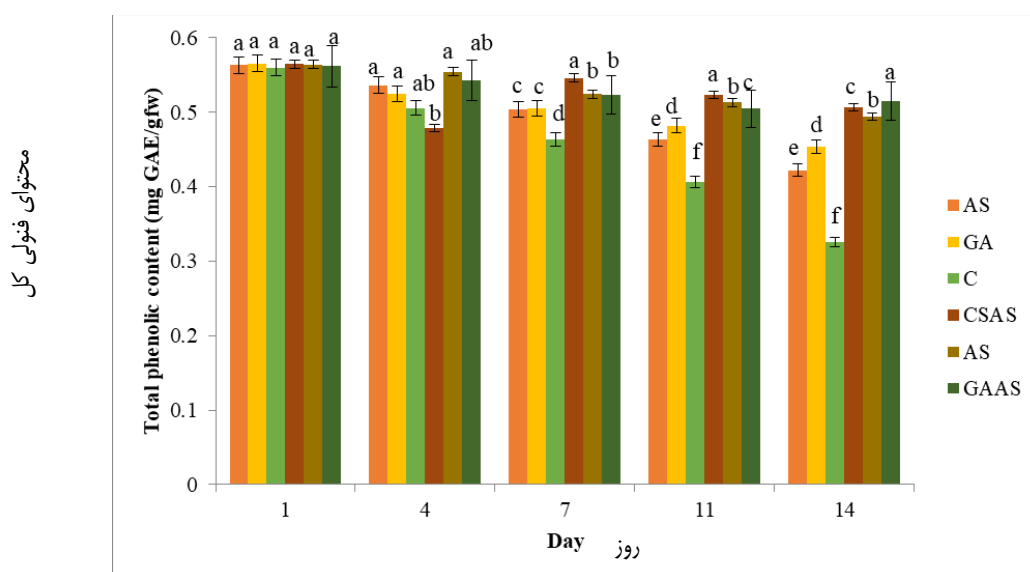
در مقابل، تیمارهای ترکیبی به‌ویژه GAAS و CSAS توانستند تا حد قابل توجهی از افت محتوای فنولیک جلوگیری کنند و در روز چهاردهم بالاترین مقادیر فنولیک را حفظ نمودند (به‌ترتیب حدود $52/0$ و $51/0$ mg GAE/gfw). این موضوع نشان‌دهنده اثر هم‌افزایی این ترکیبات در به تعویق انداختن فرایندهای اکسیداسیونی و کاهش سرعت

آن‌ها تفاوت معنی‌داری از نظر محتوای فنولی کل وجود داشت، افزودن اسید آسکوربیک به فرمول پوشش، محتوای فنولی کل نمونه‌های پوشش داده‌شده را افزایش داد، اما این افزایش تنها در نمونه‌های پوشش داده‌شده از روز ۱۱ به بعد معنی‌دار بود ($p < 0.05$).

محتوای فنولی در قارچ‌های پوشش داده شده با صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی اسید آسکوربیک افزایش یافته و نسبت به قارچ‌های پوشش داده شده فقط با نشاسته یا صمغ عربی بالاتر است. این فنول‌ها در حفظ کیفیت قارچ و کند کردن اکسیداسیون مؤثرند (Michalska, Sierocka, Drzewiecka, & Świeca, 2025).

خوبی وجود دارد که به نظر می‌رسد عامل محدودکننده فرآیند تغییر رنگ باشد.

پس از ذخیره‌سازی ۷ روز به بعد، تمامی نمونه‌های پوشش داده‌شده به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) محتوای فنولی کل بیشتری را نسبت به شاهد نشان دادند، این را می‌توان به واکنش دفاعی قارچ در برابر استرس خارجی ناشی از پوشش نسبت داد که منجر به افزایش محتوای کل فنول و در نتیجه فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Dhall, 2013). محتوای فنولی کل در نمونه‌های پوشش داده‌شده با GAAS به‌طور معنی‌داری ($p < 0.05$) بیشتر از سایر نمونه‌های پوشش داده‌شده بود، بعد از آن نمونه‌های پوشش داده‌شده با CAAS قرار گرفتند و پس از آن نمونه‌های پوشش داده‌شده با GA و CAAS قرار گرفتند که بین



شکل ۵- اثر تیمارها بر محتوای فنولی کل قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس

حروف متفاوت در هر روز نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها است ($p < 0.05$).

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Fig. 5. Effects of treatments on the total phenolic content (mg GAE/gfw) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C. Different letters in each day indicate significant difference between the data ($p < 0.05$).

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum Arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum Arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

کنترل (C) و CS شدیدتر بود، در حالی که تیمارهای حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه GAAS و AS توانستند رنگ خود را بهتر حفظ کنند. این پدیده احتمالاً به نقش آنتی‌اکسیدان‌ها در مهار واکنش‌های اکسیداسیونی و قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی مربوط است (Pasban, Mohebbi, Poor Azarang, & Varidi, 2013). در مجموع، استفاده از پوشش‌های مرکب به‌ویژه GAAS سبب افزایش پایداری رنگ و تأخیر در تغییرات ناخواسته ظاهری شد. در آغاز نگهداری، تفاوت معنی‌داری میان امتیاز طعم تیمارها مشاهده نشد و امتیاز طعم در محدوده ۴

ارزیابی حسی

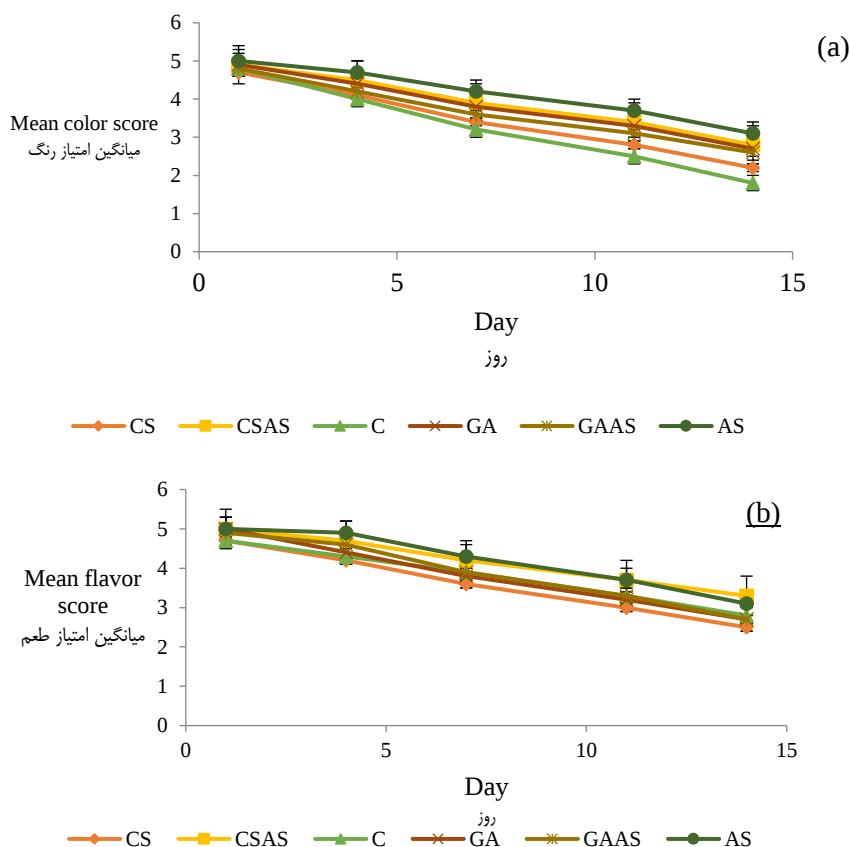
شکل ۶ میانگین امتیازات حسی شامل رنگ (a)، طعم (b)، بافت (c) و پذیرش کلی (d) نمونه‌های مختلف قارچ دکمه‌ای (CS، CSAS، C، GA، GAAS و AS) را در طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس نشان می‌دهد. در روز نخست، تمامی تیمارها از امتیاز رنگ بالایی (حدود ۴/۵ تا ۵) برخوردار بودند که بیانگر کیفیت ظاهری مطلوب اولیه محصول است. با پیشرفت زمان نگهداری، کاهش تدریجی در امتیاز رنگ همه تیمارها مشاهده شد. کاهش در نمونه‌های

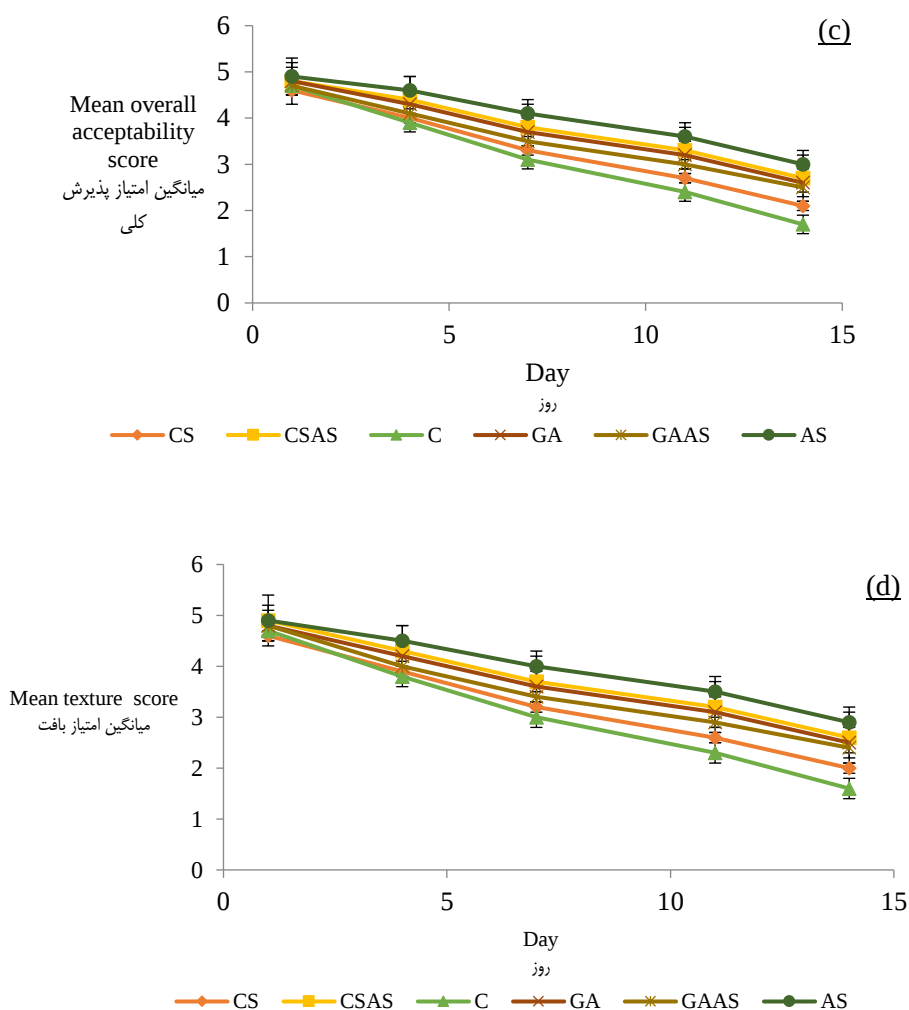
الگوی تغییرات پذیرش کلی مشابه سایر شاخص‌ها بود. همه نمونه‌ها در روز نخست پذیرش بالایی داشتند (حدود ۴/۵ تا ۵)، اما این مقدار با گذشت زمان کاهش یافت. کمترین پذیرش مربوط به تیمارهای کنترل و AS بود، در حالی که تیمار GAAS بالاترین امتیاز پذیرش کلی را در سراسر دوره نگهداری حفظ کرد. این یافته اهمیت استفاده از پوشش‌های ترکیبی صمغ عربی و آنتی‌اکسیدان طبیعی را در حفظ ویژگی‌های ظاهری و حسی قارچ دکمه‌ای تأیید می‌کند (Cavusoglu *et al.*, 2021).

به‌طور کلی، همه ویژگی‌های حسی شامل رنگ، طعم، بافت و پذیرش کلی در طول دوره نگهداری کاهش یافتند، اما شدت کاهش در تیمارهای حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی به‌ویژه (GAAS) کمتر بود. نتایج نشان داد افزودن آنتی‌اکسیدان‌ها و پوشش‌های طبیعی نظیر صمغ عربی توانست به‌طور معنی‌داری کیفیت حسی و ماندگاری قارچ دکمه‌ای را حفظ کند. یافته‌هایی نیز گزارش کرده‌اند که پوشش صمغ عربی در ترکیب با اسید آسکوربیک موجب کاهش قهوه‌ای‌شدن، حفظ طعم تازه و بهبود پذیرش کلی محصول می‌شود (Cavusoglu *et al.*, 2021).

تا ۵ قرار داشت. با گذشت زمان، امتیازات طعم به‌ویژه در نمونه‌های شاهد (C) و CS کاهش یافت. در مقابل، تیمارهای غنی‌شده با آنتی‌اکسیدان‌ها، مانند GAAS و AS، توانستند طعم مطلوب را تا پایان دوره حفظ کنند. مکانیزم احتمالی این پدیده به کاهش واکنش‌های اکسیداسیون و حفظ ترکیبات فرار طعمی در حضور آنتی‌اکسیدان‌ها مرتبط است. با این وجود طعم نمونه‌های تیمار شده اختلاف آماری معنی‌داری با نمونه‌های شاهد ندارد و همواره در محدوده قابل قبول یا مطلوب باقی می‌ماند (Pasban *et al.*, 2013).

نتایج ارزیابی بافت نشان داد که تمامی نمونه‌ها در طول دوره نگهداری کاهش نسبی در امتیاز بافت داشتند، اما تغییرات در تیمارهای پوشش‌دهی شده ملایم‌تر بود. افت قابل توجه بافت در نمونه‌های کنترل احتمالاً ناشی از ازدست‌دادن رطوبت و تخریب ساختار سلولی است. در این میان، پوشش GAAS بیشترین پایداری بافتی را نشان داد که به‌نظر می‌رسد حاصل عملکرد هم‌افزای صمغ عربی در حفظ رطوبت و آنتی‌اکسیدان در کاهش واکنش‌های تخریبی باشد (Golmohammadi *et al.*, 2024; Wagh, Alam, & Aslam, 2023; Pasban *et al.*, 2013).





شکل ۶- اثر تیمارها بر ارزیابی حسی (رنگ (a)، طعم (b)، پذیرش کلی (c)، بافت (d)) قارچ دکمه‌ای طی ۱۴ روز نگهداری در دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس

Control: بدون پوشش؛ CS: پوشش نشاسته به تنهایی؛ GA: پوشش صمغ عربی به تنهایی؛ AS: پوشش اسید آسکوربیک به تنهایی؛ GAAS: پوشش صمغ عربی همراه با اسید آسکوربیک؛ CAAS: پوشش نشاسته همراه با اسید آسکوربیک.

Fig. 6. Effects of treatments on sensory evaluation (color (a), flavor (b), overall acceptability (c), texture (d)) of button mushrooms during storage for 14 days at 4 ± 1 °C

Control: without coating; CS: starch coating alone; GA: gum arabic coating alone; AS: ascorbic acid coating alone; GAAS: gum arabic combined with ascorbic acid; CAAS: starch combined with ascorbic acid.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش به روشنی نشان داد که استفاده از پوشش‌های خوراکی طبیعی بر پایه صمغ عربی، نشاسته و اسید آسکوربیک تأثیر چشمگیری در حفظ ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و آنتی‌اکسیدانی قارچ دکمه‌ای در طول نگهداری سرد دارد. ترکیب صمغ عربی با اسید آسکوربیک در مقایسه با سایر تیمارها، مؤثرترین عملکرد را در کاهش افت وزن، حفظ سفتی بافت، کاهش شدت قهوه‌ای شدن و حفظ روشنایی رنگ نشان داد. این تیمار همچنین موجب حفظ بالاترین میزان

ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در طول ۱۴ روز نگهداری گردید که بیانگر توانایی آن در مهار واکنش‌های اکسیداتیو و کند کردن روند پیری فیزیولوژیک قارچ است.

۱. به طور کلی، مکانیزم بهبود کیفیت در اثر این پوشش‌ها را می‌توان به عوامل زیر نسبت داد:
۲. ایجاد سد نیمه‌تراوا در برابر تبخیر رطوبت و تبادل گازها که موجب کاهش تنفس و جلوگیری از افت وزن می‌شود.

دوام بیشتر ویژگی‌های بافتی و پذیرش کلی در این نمونه‌ها، گواهی بر عملکرد مثبت این پوشش‌ها در حفظ تازگی و جلب رضایت مصرف‌کننده می‌باشد. بنابراین، طراحی پوشش‌های ترکیبی طبیعی نه تنها یک رویکرد کارآمد برای بهبود ماندگاری و کیفیت حسی قارچ دکمه‌ای است، بلکه می‌تواند به عنوان یک استراتژی کاربردی در صنعت فرآورده‌های غذایی به کار گرفته شود.

میزان مشارکت نویسندگان

آمیزی: تحقیق و بررسی، جمع‌آوری داده‌ها، آنالیز داده‌ها، تأمین مالی، آماده‌سازی پیش‌نویس، ویرایش مقاله؛ **حیدری‌دلفار:** آنالیز داده‌ها، روش‌شناسی؛ **صادقی:** جمع‌آوری داده‌ها.

منابع تأمین مالی

این کار توسط دانشگاه جیرفت پشتیبانی مالی شد.

سپاسگزاری

این مقاله مرهون لطف بی‌دریغ دکتر فاطمه شهدادی است که با تأمین یکی از مواد اصلی مورد نیاز پژوهش، سنگ بنای اصلی این کار تجربی را گذاشتند. همچنین از معاونت توسعه و پشتیبانی دانشگاه جیرفت که در تأمین امکانات و بودجه لازم جهت اجرای این پروژه همکاری لازم را داشته‌اند تقدیر و تشکر می‌شود.

۳. خاصیت آنتی‌اکسیدانی اسید آسکوربیک که از طریق مهار آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز از قهوه‌ای شدن جلوگیری کرده و ثبات رنگ و ترکیبات فنولی را حفظ می‌کند.

۴. اثر هم‌افزایی صمغ عربی و نشاسته در بهبود چسبندگی، یکنواختی و پایداری فیلم پوششی که منجر به عملکرد فیزیکی مؤثرتر در سطح محصول می‌شود.

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پوشش‌های خوراکی ترکیبی به‌ویژه فرمولاسیون صمغ عربی به همراه اسید آسکوربیک، روشی ساده، کم‌هزینه، ایمن و سازگار با محیط‌زیست برای افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای و حفظ کیفیت تغذیه‌ای و حسی آن در طول زنجیره نگهداری و توزیع است. این نتایج نه تنها کاربرد صنعتی قابل توجهی در بسته‌بندی و انبارداری قارچ دارد، بلکه می‌تواند به عنوان الگویی برای توسعه پوشش‌های زیست‌پایه مؤثر در سایر محصولات باغی و کشاورزی تازه نیز مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج ارزیابی حسی نشان داد که ویژگی‌های حسی مهمی از جمله رنگ، طعم، بافت و پذیرش کلی قارچ دکمه‌ای در طول دوره ۱۴ روزه نگهداری کاهش یافتند، اما این کاهش در نمونه‌های تیمار شده با پوشش‌های ترکیبی حاوی آنتی‌اکسیدان‌ها، به‌ویژه پوشش GAAS، به‌طور قابل توجهی کمتر بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از پوشش‌هایی مبتنی بر صمغ عربی و افزودنی‌های آنتی‌اکسیدانی، قابلیت موثر محافظت از کیفیت حسی محصولات را دارد و می‌تواند مانع از تغییرات نامطلوب ظاهری و حسی در طی نگهداری شود. افزون بر این،

References

- Almasi, H., Poor Fathi, B., & Mokhtari, R. (2020). Investigating the effect of antimicrobial nanocomposite packaging based on low-density polyethylene containing titanium dioxide nanoparticles on increasing the shelf life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Iranian Biosystems Engineering*, 51(1), 195–209. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.287876.665216>
- Borges, M.M., Simões, A.S., Miranda, C., Sales, H., Pontes, R., & Nunes, J. (2023). Microbiological assessment of white button mushrooms with an edible film coating. *Foods*, 12(16), 3061. <https://doi.org/10.3390/foods12163061>
- Cavusoglu, S., Uzun, Y., Yilmaz, N., Ercisli, S., Eren, E., Ekiert, ... & Szopa, A. (2021). Maintaining the quality and storage life of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) with gum, agar, sodium alginate, egg white protein, and lecithin coating. *Journal of Fungi (Basel, Switzerland)*, 7(8), 614. <https://doi.org/10.3390/jof7080614>
- Cheraghi, H., Ghanbari, F., & Seidi, M. (2022). The effect of cinnamic acid application on the shelf life and quality of button mushrooms in the post-harvest period. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 18(2), 264–276. <https://doi.org/10.22067/ijfstrj.2021.70214.1041>
- Cruz-Monterrosa, R.G., Rayas-Amor, A.A., González-Reza, R.M., Zambrano-Zaragoza, M.L., Aguilar-Toalá, J.E., & Liceaga, A.M. (2023). Application of polysaccharide-based edible coatings on fruits and vegetables: Improvement of food quality and bioactivities. *Polysaccharides*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides4020008>
- Daisy, L.L., Nduko, J.M., Joseph, W.M., & Richard, S.M. (2020). Effect of edible gum Arabic coating on the shelf life and quality of mangoes (*Mangifera indica*) during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), 79–85. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-04032-w>
- de Oliveira, J.K., Ronik, D.F.V., Ascari, J., Mainardes, R.M., & Khalil, N.M. (2018). Nanoencapsulation of apocynin in bovine serum albumin nanoparticles: Physicochemical characterization. *Nanoscience & Nanotechnology-Asia*, 8(1). <https://doi.org/10.2174/2210681206666160822112408>

8. Dhall, R.K. (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), 435–450. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.541568>
9. El-Gioushy, S.F., Abdelkader, M.F.M., Mahmoud, M.H., Ghit, H.M.A.E., Fikry, M., Bahloul, ..., & Gawish, M.S. (2022). The effects of a gum Arabic-based edible coating on Guava fruit characteristics during storage. *Coatings*, 12(1), 90–90. <https://doi.org/10.3390/COATINGS12010090>
10. Ghorbanzadeh, H., Mohammad Zadeh, J., & Motamed Zadegan, A. (2025). The effect of chitosan coating with different degrees of deacetylation on the shelf life of edible button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 21(1), 13–27. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293>
11. Golmohammadi, A., Tahmasebi, M., Razavi, M.S., Neysari-Fam, V., Carullo, D., & Farris, S. (2024). Improved post-harvest preservation effects of mushroom (*Agaricus bisporus*) using bacterial cellulose nanocrystals-gelatin/cinnamon essential oil emulsion coatings. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 7528–7540. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17518>
12. Huang, Q., Wan, C., Zhang, Y., Chen, C., & Chen, J. (2021a). Gum Arabic edible coating reduces postharvest decay and alleviates nutritional quality deterioration of Ponkan fruit during cold storage. *Frontiers in Nutrition*, 8, 717596. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.717596>
13. Huang, Q., Wan, C., Zhang, Y., Chen, C., & Chen, J. (2021b). Gum Arabic edible coating reduces postharvest decay and alleviates nutritional quality deterioration of Ponkan fruit during cold storage. *Frontiers in Nutrition*, 8, 717596–717596. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.717596>
14. Kalita, P., Kalita, T., Bora, N.S., Roy, P.K., Pachau, L., & Roy, S. (2025). A review on natural polymer-based film/coating in postharvest mushroom preservation. *Food Control*, 172, 111185. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2025.111185>
15. Koushesh Saba, M., Darvishi, H., Zarei, L., & Sogvar, O.B. (2025). Shelf-life enhancement and microbial load reduction of fresh-cut apple using ascorbic acid and carboxymethyl cellulose coating combined with ultrasound treatment. *Food Science and Technology International*, 31(3), 261–272. <https://doi.org/10.1177/10820132231206415>
16. Labib, L.A., Dey, S., & Hasan, Md.F. (2025). Improving guava shelf life and preserving postharvest quality with edible coatings. *Food Science & Nutrition*, 13(6), e70491. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70491>
17. Martins, V.F.R., Pintado, M.E., Morais, R.M.S.C., & Morais, A.M.M.B. (2024). Recent highlights in sustainable bio-based edible films and coatings for fruit and vegetable applications. *Foods*, 13(2), 318. <https://doi.org/10.3390/foods13020318>
18. Michalska, A., Sierocka, M., Drzewiecka, B., & Świeca, M. (2025). Antioxidant and anti-inflammatory properties of mushroom-based food additives and food fortified with them—current status and future perspectives. *Antioxidants*, 14(5), 519. <https://doi.org/10.3390/antiox14050519>
19. Mohebbi, M., Ansarifard, E., Hasanpour, N., & Amiryousefi, M.R. (2012). Suitability of aloe vera and gum tragacanth as edible coatings for extending the shelf life of button mushroom. *Food and Bioprocess Technology*, 5(8), 3193–3202. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0709-1>
20. Najjari, M., & Bodaghi, H. (2024). Inhibitory effect of ascorbic acid in enzymatic browning and preservation of quality in fresh pistachios (*Pistacia vera* L.). *Applied Fruit Science*, 66(2), 609–620. <https://doi.org/10.1007/s10341-024-01052-5>
21. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M.A., & Niakousari, M. (2018). Application of tragacanth gum impregnated with *Satureja khuzistanica* essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.003>
22. Oyom, W., Zhang, Z., Bi, Y., & Tahergorabi, R. (2022). Application of starch-based coatings incorporated with antimicrobial agents for preservation of fruits and vegetables: A review. *Progress in Organic Coatings*, 166, 106800. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106800>
23. Pasban, A., Mohebbi, M., Pourazerang, H., & Varidi, M. (2013). The effect of ascorbic acid, citric acids and sodium metabisulphite on colour and foaming properties of mushroom purees (*Agaricus bisporus*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 9(2). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v9i2.25674>
24. Pleșoianu, A.M., & Nour, V. (2022). Effect of some polysaccharide-based edible coatings on fresh white button mushroom (*Agaricus bisporus*) quality during cold storage. *Agriculture*, 12(9), 1491–1491. <https://doi.org/10.3390/AGRICULTURE12091491>
25. Rad, M., Ghafouri, H., & Gholami, Z. (2020). The effect of edible coating containing carboxymethylcellulose and sodium metabisulfite on the shelf life of button mushrooms. *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 16(5), 581–605. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v16i5.83614>
26. Sedaghat, N., & Zahedi, Y. (2012). Application of edible coating and acidic washing for extending the storage life of mushrooms (*Agaricus bisporus*). 18(6), 523–530. <https://doi.org/10.1177/1082013211433075>

27. Siahroodi, S., Ariayi, P., & Fattahi, E. (2016). *Studying the effect of edible coatings on the shelf life of edible button mushrooms (Agaricus bisporus)*. The First National Conference on Technological Achievements in Iranian Food Science and Industry. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2025.379143.11655>
28. Singleton, V.L., & Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
29. Sogvar, O.B., Koushesh Saba, M., & Emamifar, A. (2016). *Aloe vera* and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>
30. Tiamiyu, Q.O., Adebayo, S.E., & Yusuf, A.A. (2023). Gum Arabic edible coating and its application in preservation of fresh fruits and vegetables: A review. *Food Chemistry Advances*, 2, 100251. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100251>
31. Vaziri, A., Kordi, A.A., Shokrabi zadeh, & Shamlou, S. (2019). Increasing the shelf life of edible button mushrooms (*Agaricus bisporus*) with edible coatings based on natural polymers. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 16(91), 243–256. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2025.379143.11655>
32. Wagh, M.D., Alam, M.S., & Aslam, R. (2023). Vacuum impregnation of ascorbic acid and calcium lactate improves quality attributes and functionality of white button mushrooms. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2023(1), 6728630. <https://doi.org/10.1155/2023/6728630>
33. Wu, J., Zhang, L., & Fan, K. (2024). Recent advances in polysaccharide-based edible coatings for preservation of fruits and vegetables: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(12), 3823–3838. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2136136>
34. Yahyaee, A., Bahman, A.S., & Blaabjerg, F. (2020). A modification of offset strip fin heatsink with high-performance cooling for IGBT modules. *Applied Sciences*, 10(3), 1112. <https://doi.org/10.3390/app 10031112>
35. Ziaei Ghahnooyeh, Z., Raji, M.R., Ehteshamnia, A., & Sohrabi, S.S. (2025). Studying the effect of natural nanochitosan and nanohydroxyapatite coating on physiological traits and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Journal of Food Science and Technology Research*, 21(2), 235–251. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90381.1376>