Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Short Reaserch Article
Vol. 22, No. 4, Sep.-Oct. 2026, p. 389-403

Effect of Cysteine and Modified Atmosphere Packaging on Maintaining the Quality and Storage Time of Green Basil

N. Norouzi Jajarm[1], N. Sedaghat[1*], M. Taghizadeh[1]
1- Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: sedaghat@um.ac.ir)

Received: 31.12.2025
Revised: 27.06.2026
Accepted: 04.07.2026
Available Online: 12.07.2026

How to cite this article:
Norouzi Jajarm, N., Sedaghat, N., & Taghizadeh, M. (2026). Effect of cysteine and modified atmosphere packaging on maintaining the quality and storage time of green basil. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 22*(4), 389-403. (In Persian). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.97200.1542

Introduction

Fresh leafy vegetables contain vital macronutrients and micronutrients such as carbohydrates, fiber, minerals, and vitamins that are essential for body health. People are now consuming less vegetables in their diet because their preparation is time-consuming. These nutrients play a critical role in keeping physiological functions stable, boosting immune responses, and preventing chronic diseases such as cardiovascular disorders or some kinds of cancer. Therefore, the market for packaged ready to eat fresh leafy vegetables has grown worldwide. This has created a new opportunity to bridge the gap between traditional and modern lifestyles, increase fresh product consumption, expand convenience foods, and promote well-documented health benefits. Although many vegetables are not available in high-quality packs, basil is a popular leafy vegetable in Iranian food preparation and consumption. This vegetable has a key flavor that is used as a garnish, in salads, stews, or traditional dishes, and gives cultural and culinary significance beyond its nutritional value. Basil (*Ocimum basilicum*) is one of the most sensitive plants, with a very short shelf life and a unique aroma and flavor, which has made it an integral part of Mediterranean cuisine, too. Its sensory profile is attributed to its essential oil composition, mainly containing linalool, eugenol, and methyl chavicol, which are highly volatile and susceptible to degradation during postharvest handling. It has a soft and thin texture that makes it more sensitive to mechanical damage and environmental stresses. Therefore, even the smallest changes in the storage conditions can cause quick quality loss. Various negative quality effects that are reported during the storage time of fresh basil leaves include weight loss, chlorophyll degradation, leaf rot, browning, and loss of sensory properties, which lead to increased waste and reduced shelf life of this leafy vegetable. Weight loss primarily results from respiration and causes wilting and limpness, while chlorophyll breakdown increases yellow carotenoid pigments, giving leaves an undesired appearance that is a sign of aging and reduced freshness. Many parameters have been studied to reduce the spoilage rate of basil leaves, including changes in temperature, humidity, packaging materials and types; however, these methods could not successfully manage the negative quality effects to optimize the shelf life of fresh, cleaned basil leaves. For instance, using Ethylene producing inhibitors is a common way to maintain basil leaf quality; however, the most important challenge in storing this vegetable is its high sensitivity to low temperatures, and the absence of ethylene in the atmosphere makes the inhibitors useless. Also, using the inhibitors alone can cause moisture loss and wilting of the vegetable. Applying controlled temperature and moisture could limit browning and sensory degradation, but the loss of freshness and aroma remains a key unsolved challenge caused by essential metabolism in the leaf's cells. Moreover, using ionized or salt-based coatings caused off-flavors and limited the edibility of basil leaves. Inorganic coatings are effective moisture barriers in some cases, but often interact with the leaf surface in ways that alter the natural flavor profile, leading to bitterness or metallic notes that are unacceptable to consumers. Accordingly, it is not possible to scale up the production of packed clean basil leaves, and an essential need has been sensed in this area. Therefore, investigating appropriate methods to maintain the quality

Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).
https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.97200.1542

characteristics of basil during storage is a determinant research. The first accessible, facilitated method is leaf coating with controlled process parameters that decrease mechanical and physical damage to leaves on one hand and increase the stability of fresh quality on the other hand. Therefore, protective, insensitive amino acids might be a logical option to manage the chemical degradation processes. The amino acids are safe and low-cost, which makes them a useful choice for industrial applications. They can be used both as a foliar spray and as a dip or spray on the leaves. Amino acids not only coat the leaves but also inhibit some vital processes like oxidation, cellular respiration, and ethylene production, which helps keep cell and membrane integrity. However, not all amino acids are desired for this application and do not have the same result on a specific leafy vegetable. Therefore, the present study aimed to investigate the appropriateness of cysteine as a coating formed by the dip method on the quality parameters of basil leaves and the interaction effect of that with the application of modified atmosphere packaging to increase the shelf life and freshness of the leaves. Cysteine was especially chosen in this study due to its thiol group, which can confer strong antioxidant activity and has high potential to chelate metal ions that might be catalyzed in oxidative reactions, making it a promising candidate for fresh basil leaf preservation and maintaining its biochemical balance.

Materials and Methods

In this study, basil leaves with edible cysteine coating at three levels (0, 0.1, 0.5%), packaging type (normal air packaging and passive modified atmosphere packaging) and storage time (0, 5, 12, 9 days) at 4˚C, were prepared and the concentrations of oxygen and carbon dioxide gases inside the package, pH, weight loss percentage, color parameters (a*, b*, L*), browning rate and sensory properties were determined.

Results and Discussion

The findings showed that the use of passive modified atmosphere packaging had a significant effect on reducing the amount of oxygen and carbon dioxide gases, along with reducing the respiration rate and increasing the storage time of basil leaves. The samples with normal air packaging showed the highest weight loss (3.07%) and the modified atmosphere packaging showed the lowest weight loss (1.88%). Increasing the concentration of cysteine in basil resulted in a reduction in weight loss and inhibition of the browning reaction compared to control ($p<0.05$). .

Conclusion

Using a concentration of 0.1% cysteine in the coating was able to maintain the sensory properties of basil samples. Accordingly, the combined use of edible cysteine coating and modified atmosphere packaging has provred to preserve the quality of packaged basil samples and increased the storage time by up to 12 days.

Keywords: Basil, Cysteine, Modified atmosphere, Storage time

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله کوتاه پژوهشی
جلد ۲۲، شماره ٤، مهر- آبان ١٤٠٥، ص. ٤٠٣-٣٨٩

بررسی اثر سیستئین و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده در حفظ کیفیت و زمان نگهداری ریحان سبز

ناهید نوروزی جاجرم[۱]- ناصر صداقت[۱*]- مسعود تقی زاده[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۳

چکیده

ریحان یک سبزی حاوی مواد مغذی حیاتی از قبیل کربوهیدرات‌ها، فیبر، املاح و ویتامین ها بوده و عمر پس از برداشت بسیار کوتاهی دارد. اثرات کیفی منفی نظیر کاهش وزن، تخریب کلروفیل، پوسیدگی برگ‌ها، قهوه‌ای شدن، افت ویژگی‌های حسی در طول نگهداری منجر به افزایش ضایعات و کاهش زمان نگهداری این محصول می‌شود که این امر خود نشان‌دهنده‌ی نیاز آن به روش‌های مناسب برای حفظ خصوصیات کیفی ریحان در زمان نگهداری است. در این مطالعه، اثر سیستئین و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده در حفظ خصوصیات فیزیکوشیمیایی و افزایش زمان نگهداری ریحان سبز مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق سبزی ریحان با سیستئین در سه سطح (غلظت صفر، ۰/۱، ۰/۵ درصد)، نوع بسته‌بندی (بسته‌بندی با هوای معمولی و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال) و زمان نگهداری (صفر، ۵، ۹، ۱۲ روز) در بسته‌های سه لایه پلی‌اتیلن/پلی آمید/پلی‌اتیلن آماده و نمونه‌های تولیدی در دمای ۴°C نگهداری شدند. بر روی کلیه نمونه‌ها آزمون‌های تعیین غلظت گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن درون بسته، pH، درصد کاهش وزن، پارامترهای رنگی (L^*,a^*,b^*)، میزان قهوه‌ای شدن و خصوصیات حسی مورد بررسی قرار گرفتند. یافته‌ها نشان داد که استفاده از بسته‌بندی‌های با اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال اثر معنی‌داری در کاهش مقدار گاز اکسیژن و دی‌اکسید،کربن همراه با کاهش نرخ تنفس و افزایش زمان نگهداری برگ‌های ریحان داشت. نمونه‌های با بسته‌بندی هوای معمولی بیشترین افت وزن (۳/۰۷ درصد) و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده کمترین افت وزن (۱/۸۸ درصد) را نشان دادند. افزایش غلظت سیستئین به ۰/۱ ٪ در سبزی ریحان منجر به کاهش افت وزن به ۱/۶۷ ٪ و شاخص قهوه‌ای شدن به ۰/۲۵ و ایجاد اختلاف معنی‌دار نسبت به نمونه‌ی شاهد (به‌ترتیب ۳/۲۹ و ۰/۲۶ درصد) شد. استفاده از غلظت ۰/۱ درصد سیستئین در هر دو نوع بسته‌بندی توانست خصوصیات حسی نمونه‌های ریحان را بهتر حفظ کند ($P < ۰/۰۵$). نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده توأم از سیستئین و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده باعث حفظ کیفیت نمونه‌های ریحان بسته‌بندی‌شده و افزایش زمان نگهداری تا ۱۲ روز شده‌است.

واژه‌های کلیدی: اتمسفر اصلاح‌شده، ریحان، زمان نگهداری، سیستئین

مقدمه

سبزی‌های تازه منبع غنی از مواد مغذی حیاتی برای سلامتی و پیشگیری از بیماری‌ها هستند (Ahmadi-Roshan *et al.*, 2022). ریحان سبز (*Ocimum basilicum* L.) ازجمله سبزی‌های برگی است که معمولا مصرف تازه‌خوری دارد. این سبزی منبعی غنی از کربوهیدرات، ویتامین، پروتئین، فیبر و مواد معدنی بوده و اسانس آن غنی از ترکیبات فنلی و سایر ترکیبات طبیعی ازجمله فلانوئید، پلی‌فنول‌ها و آنتوسیانین‌ها می‌باشد (Phippen & Simon, 1998). هم‌چنین ریحان دارای خواص ضد میکروبی، ضدالتهابی، آنتی‌اکسیدانی و محرک سیستم ایمنی می‌باشد (Danso-Boateng, 2013; Hassan, Ali, Mostafa, & Mazrou, 2021). عوامل مختلفی می‌توانند بر کیفیت برگ‌های ریحان پس از برداشت مؤثر بوده و منجر

۱- گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sedaghat@um.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2026.97200.1542

به کاهش کیفیت و زمان نگهداری آن شوند که از جمله آنها می‌توان به عوامل ساختاری و مرتبط با ویژگی‌های ذاتی برگ ریحان (کلایماتریک بودن، فعالیت آبی بالا) و عوامل محیطی (رطوبت، دما، ترکیب اتمسفر بسته‌بندی) اشاره نمود (Berry, Sargent, & Huber, 2010). این عوامل باید به‌اندازه کافی پس از برداشت کنترل شوند تا از کاهش وزن، تخریب کلروفیل، پروتئین و پوسیدگی برگ‌ها که منجر به کاهش کیفیت این سبزی می‌شود جلوگیری کرد (Hassan & Mahfouz, 2010). یکی از مشکلات بزرگ در طی نگهداری این گیاه، قهوه‌ای شدن آن است که ممکن است به‌دلیل فعالیت آنزیم‌های پر اکسیداز باشد (Imaizumi, Jitareerat, Laohakunjit, & Kaisangsri, 2021). این فرآیند، درنتیجه اکسیداسیون ترکیبات فنلی به‌وسیله آنزیم پلی‌فنل اکسیداز[1] در حضور اکسیژن می‌باشد (Moon, Kwon, Lee, & Kim, 2020).

برای حفظ کیفیت و افزایش زمان نگهداری این سبزی می‌توان از روش‌های مختلف نگهداری استفاده کرد، ازجمله مهارکننده‌های تولید اتیلن، دماهای پایین، پوشش‌دهی و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (Patiño, Castellanos, & Herrera, 2018). پوشش‌های خوراکی لایه‌های نازکی از مواد زیست‌تخریب‌پذیر هستند که با قرار گرفتن در سطح محصول، از تغییر خصوصیات فیزیکی ماده که ناشی از پدیده‌های انتقال (نفوذ و انتقال رطوبت، ترکیبات گازی و تغییر غلظت مواد معدنی) است جلوگیری نموده و با کنترل تنفس گیاه منجر به افزایش زمان نگهداری آن می‌شوند (Dhall, 2013; Teodosio *et al*., 2021). سیستئین یک ترکیب یک آلفا آمینو اسید دارای زنجیره جانبی با گروه عاملی -SH است و به‌دلیل وجود پیوند تکی می‌تواند پس از اکسید شدن دو مرکز فعال S برای مهار واکنش‌های مختلف را ایجاد نماید (Yan *et al*., 2023). سیستئین حاوی ترکیبات تیول می‌باشد که اثر مهارکنندگی بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز دارد. این ماده دارای سه مرکز واکنش‌پذیر است: اسید کربوکسیلیک، گروه آمینه و مرکز گوگرددار (Altunkaya & Gökmen, 2008).

مکانیسم‌های سیستئین برای مهار فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شامل موارد زیر می‌باشد:

الف) این ماده با ترکیبات فنلی به‌دلیل داشتن هسته سولفوره واکنش داده و تشکیل ترکیبی بی‌رنگ می‌دهند (Salemi, Sedaghat, Varidi, Mousavi, & Tabatabaei Yazdi, 2021).

ب) سیستئین در طی اکسیداسیون آنزیمی، اوکینون[2] را با تشکیل ترکیبات افزایشی به دام می‌اندازد. ترکیبات افزایشی سیستئین-کینون مهارکننده‌های رقابتی آنزیم پلی‌فنل اکسیداز هستند و فنل در این ترکیبات بدون تشکیل رنگ تجزیه می‌شود (Altunkaya & Gökmen, 2008; Forget, Goupy, & Nicolas, 1992). ج) واکنش مستقیم سیستئین با آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و تشکیل کمپلکس پایدار با مس، اگرچه در این مورد نیز سیستئین با واکنش دادن با محصولات کینون، ترکیبات مزدوج بی‌رنگ ایجاد می‌کند (Faraji, Farahnaki, Badii, & Hoseini, 2014).

یک روش مناسب برای افزایش زمان نگهداری محصولات استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده است (Caleb, Mahajan, Al-Said, & Opara, 2013). در این روش از گازها با ترکیبی متفاوت از هوای معمولی درون بسته‌بندی به کار گرفته می‌شود (Parry, 2012). استفاده از این تکنیک در مواد غذایی بسته‌بندی‌شده، باعث کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و فساد و افزایش زمان انبارداری می‌شود (Manolopoulou, Xanthopoulos, Douros, & Lambrinos, 2010) و همچنین سبب کاهش سرعت تنفس محصول شده و فرآیندهایی مانند رسیدن، پیری، آسیب‌های بافتی و واکنش‌های قهوه‌ای شدن را به تأخیر می‌انداخته و از رشد میکروارگانیسم‌های عامل فساد، کاهش رنگ و تخریب سلولی جلوگیری می‌کند (Oliveira *et al*., 2015).

میوه‌ها و سبزیجات به‌دلیل داشتن انواع میکرونوترینت‌ها و تأمین انرژی اهمیت فراوانی در رژیم غذایی پیدا کرده‌اند و همین امر منجر به افزایش تقاضا برای دسترسی به سبزیجات تازه شده است. وجود درصد بالای رطوبت در این ترکیبات باعث افزایش حساسیت آنها به شرایط محیطی و کاهش زمان ماندگاری شده است که خود نشان‌دهنده‌ی نیاز ضروری به توسعه روش‌هایی برای کاهش افت پس از برداشت، افزایش زمان ماندگاری و تثبیت خصوصیات فیزیکوشیمیایی و حسی برای بازه زمانی طولانی‌تر است (Pulamte, 2008). استفاده از ترکیبات تثبیت‌کننده رنگ محصولات به روش غوطه‌وری به معنی استفاده از ترکیبات مشخص در سطح ماده غذایی برای حفاظت از آن ماده می‌باشد که می‌تواند محصولات غذایی را از آسیب‌های مکانیکی، حساسیت به نور، رسیدگی بیش از حد، آلودگی و فساد میکروبی و و تغییر رنگ، محافظت نماید (Pham, Nguyen, Dam, & Baranyai, 2023). از جمله ترکیبات استفاده شده به‌عنوان پوشش خوراکی در سبزیجات و میوه‌ها می‌توان به استفاده از کیتوزان (Shiekh, Malik, Al-Thabaiti, & Shiekh, 2013)، آلوئه ورا (Misir, 2014)، صمغ عربی (Ali, Maqbool, Ramachandran, & Alderson, 2010)، روغن اسانس لیمو نانوامولسیون شده (Sessa, Ferrari, & Donsi, 2015)، نشاسته و انواع پلی‌ساکاریدها (Kocira *et al*., 2021)، پروتئین سویا و سیستئین (Ghidelli, Mateos, Rojas-Argudo, & Pérez-Gago, 2014) اشاره نمود.

1- Polyphenol oxidase (PPO)

2- o-quinone

بر این اساس هدف از پژوهش حاضر بررسی پتانسیل آمینو اسید سیستئین در کنترل واکنش‌های شیمیایی فساد و افزایش زمان نگهداری برگ ریحان‌های تازه بوده است. ارزیابی آثار استفاده از سیستئین به تنهایی و یا همراه با بسته‌بندی مپ می‌تواند به طراحی هدفمندتر بسته‌بندی و متناسب با ویژگی‌های هر یک از سبزیجات و میوه‌ها کمک نماید.

مواد و روش‌ها

ریحان‌های تازه و ساقه‌دار از باغ‌های کشت سبزی اطراف مشهد خریداری شد. نمونه‌های ریحان خریداری شده ابتدا ضایعات، برگ‌ها و ساقه‌های آسیب‌دیده و موارد نامرغوب از برگ‌های تازه و سالم ریحان دارای ساقه با طول ۵ سانتی‌متر جدا شدند. سپس برگ‌های ریحان پاک شده ابتدا با استفاده از آب معمولی، محلول ضدعفونی کننده (۱۰ میلی‌لیتر هیپوکلریت سدیم مارک کنز تولید ایران در ۴ لیتر آب) و آبکشی با آب معمولی شسته شدند. پس از آبگیری و خشک شدن سطحی، سبزی‌ها به‌ترتیب ابتدا تحت تیمار سیستئین با غلظت‌های صفر (شاهد)، ۰/۱ و ۰/۵ درصد سیستئین قرار گرفتند. سپس نمونه سبزی‌های تیمار شده با سیستئین تحت تیمار بسته‌بندی شامل بسته‌بندی در شرایط اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال هوای معمولی (شامل ۲۱ درصد اکسیژن و ۰/۰۴ درصد کربن دی‌اکسید در بسته‌های فاقد منفذ) و بسته‌های منفذدار (۲۱ درصد اکسیژن و ۰/۰۴ درصد کربن دی‌اکسید) با منافذ به تعداد ۱۸ منفذ با قطر ۰/۸ میلی‌متر در هر بسته) بسته‌بندی شدند. برای بسته‌بندی نمونه‌ها از کیسه‌های پلاستیکی سه لایه (PE/PA/PE) باضخامت ۸۰ میکرون استفاده شد. کلیه نمونه‌ها با سه تکرار آماده شدند برای دوخت نمونه‌ها از دستگاه بسته‌بندی هنکلمن (Henkelman Vaccum Packaging 200A model, Netherland) استفاده گردید. نمونه‌های بسته‌بندی‌شده به‌مدت ۱۲ روز در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. هر بسته حاوی ۱۰۰ گرم سبزی ریحان با ساقه بود (Bakmohammadpour, Peyghambardoust, & Alirezalou, 2021; Moansouri, Kazemi, Bahreini, & Aroiee, 2020). بر روی نمونه‌ها در روزهای صفر، ۵، ۹ و ۱۲ آزمون‌های زیر انجام گردید.

آزمون‌ها

تعیین درصد گاز موجود دربسته بندی

برای تعیین ترکیب اتمسفر درون (غلظت گازهای اکسیژن و کربن دی‌اکسید) بسته‌های ریحان در روزهای صفر، ۵، ۹، ۱۲ از دستگاه گاز آنالایزر (WITT, GmbH &Co KG D-38454, Germany) استفاده شد.

تعیین درصد کاهش وزن

افت وزن نمونه‌های ریحان به معنی کاهش وزن سبزی‌های بسته‌بندی‌شده در طی زمان نگهداری است که بر اساس اختلاف وزن اولیه و وزن نهایی نمونه‌ها، برابر با مقدار آب ازدست‌رفته از طریق تعریق و تبخیر و ماده خشک ازدست‌رفته در اثر تنفس با وزن کردن گیاه تازه در طول دوره‌ی نگهداری محاسبه می‌شود (T.F.A.EI-Moghazy, 2021). فرمول (۱) نحوه‌ی محاسبه این پارامتر را نشان می‌دهد:

درصد افت وزنی=(وزن اولیه-وزن در زمان معین نگهداری)/وزن اولیه × ۱۰۰ (۱)

اندازه‌گیری pH

برای اندازه‌گیری pH، ابتدا ۱۰ گرم سبزی ریحان به همراه ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با مخلوط‌کن همگن شد. دستگاه pH متر مدل Winlab را با محلول‌های بافر با ۴ و ۷ کالیبره نموده سپس pH نمونه‌ها پس از رسیدن به مقدار ثابت در دمای اتاق pH گزارش شد (Hosseininezhad, Nader, Ramezanian, Niakousari, & Mazloomi, 2023).

تعیین پارامترهای رنگی نمونه‌های ریحان

در این پژوهش برای بررسی مؤلفه‌های رنگی سبزی ریحان از تکنیک پردازش تصویر و شرایط اندازه‌گیری (CIE LAB) برای محاسبه سه پارامتر L^*، a^* و b* استفاده شد. این مدل برای توصیف تمام‌رنگ‌های قابل‌مشاهده با چشم انسان کاربردی است که با سه فاکتور (L^* روشنی و تیرگی)، (a^* قرمزی و سبزی)، (b^* زردی و آبی) سنجش می‌شود. شاخص L^* بین صفر (سیاه) تا صد (سفید) متغیر است. در شاخص a^*، مقادیر منفی توصیف‌کننده رنگ سبز و مقادیر مثبت توصیف‌کننده رنگ قرمز می‌باشد. شاخص b^* نیز با مقادیر منفی رنگ آبی و با مقادیر مثبت رنگ زرد را نشان می‌دهد. برای تعیین پارامترهای رنگی ابتدا تصویرگیری از نمونه‌های ریحان در محفظه‌ای مشکی‌رنگ با استفاده از دوربین دیجیتال (Canon) انجام شد تصاویر گرفته‌شده با استفاده از نرم‌افزار Image processing مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. تغییرات رنگ مربوط به هر نمونه بر اساس اختلاف رنگی ایجاد شده در برگ‌های ریحان تازه شاهد نسبت به نمونه‌های مورد آزمون طبق فرمول (۲) زیر محاسبه شد (Rohani & Sedaghat, 2019):

$$\Delta E = \sqrt{\Delta a* + \Delta b* + \Delta l*} \quad (۲)$$

تعیین شاخص‌های قهوه‌ای شدن

میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های ریحان از فرمول (۳) و برای محاسبه‌ی متغیر x در آن از فرمول (۴) استفاده شد (Rohani & Sedaghat, 2019):

$$BI=100\frac{(x-0.31)}{0.172} \quad (۳)$$

$$x=\frac{(a*+1.75l*)}{(5.645l*+a*-3.02b*)} \quad (۴)$$

ارزیابی حسی

ارزیابی ویژگی‌های حسی شامل بافت، عطر، طعم، رنگ ظاهری و پذیرش کلی سبزی ریحان به روش آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای (۱-غیرقابل‌قبول، ۲-کیفیت پایین، ۳-متوسط، ۴-خوب و ۵-خیلی خوب) در روزهای صفر، ۵، ۹ و ۱۲ بررسی شد. در این ارزیابی از ۲۰ نفر پانلیست آموزش‌دیده از دانشجویان صنایع غذایی دانشگاه فردوسی مشهد با سنی بین ۲۰ تا ۳۰ استفاده شد (Hosseininezhad *et al.*, 2023). آموزش ارزیاب‌ها در یک جلسه یک ساعته و با توضیح خصوصیات ظاهری و طعمی مطلوب ریحان تازه، نحوه تشخیص پارامترهای حسی مورد ارزیابی و تعیین موارد غیر قابل مصرف یا نامطلوب انجام گرفت.

آنالیز آماری

این آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی اجرا شده است. فاکتور اول غلظت سیستئین در سه سطح صفر، ۰/۱ و ۰/۵ درصد و فاکتور دوم نوع بسته‌بندی (بسته‌بندی با هوای معمولی و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال) و فاکتور سوم زمان نگهداری روزهای صفر، ۵، ۹ و ۱۲ بوده است. آنالیز واریانس نتایج حاصله از اندازه‌گیری‌های فیزیکو شیمیایی و حسی نمونه‌ها با کمک نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($p<0.05$) گزارش شده است برای ترسیم گراف‌های مورد نظر از نرم‌افزار اکسل استفاده گردید.

نتایج و بحث

تعیین درصد گازها

اندازه‌گیری درصد ترکیبات گازی (اکسیژن و کربن دی‌اکسید) می‌تواند نرخ تنفس محصولات را مشخص نماید (Nicola, Tibaldi, & Pignata, 2018). بر اساس نتایج آنالیز واریانس هر سه عامل غلظت سیستئین، نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری اختلاف معنی‌داری در محتوای گازهای کربن دی‌اکسید و اکسیژن در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده ایجاد کرده است ($p<0.05$). افزایش غلظت سیستئین از صفر به ۰/۵ درصد منجر به افزایش معنی‌دار غلظت گازهای موجود در بسته شده است. استفاده از بسته‌بندی‌های با اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال در کاهش مقدار گاز اکسیژن و کربن دی‌اکسید اثر معنی‌داری داشت که می‌تواند با کاهش شدت تنفس و افزایش زمان نگهداری سبزی‌های ریحان همراه باشد. علاوه بر این، در طی زمان نگهداری غلظت هر دو گاز کاهش یافت. دلیل احتمالی افزایش جزئی گاز اکسیژن در طی زمان نگهداری، وجود نشتی بسیار ریز در محل دوخت بسته یا نفوذپذیری دیواره‌ی بسته‌بندی‌های تهیه‌شده بوده است (جدول ۱). ترکیب گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن موجود در بسته‌بندی با افزایش زمان نگهداری کاهش‌یافته است. علت این امر را می‌توان افزایش عملکرد آنزیم‌های اکسیداتیو و تشدید فعالیت‌های متابولیکی در سبزی‌های ریحان بسته‌بندی‌شده دانست که منجر به خارج شدن گازهای موجود از بسته‌بندی‌های محتوی اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال شده است. در بسته‌بندی‌های حاوی هوای معمولی نیز، عدم خروج گاز و افزایش یافتن سرعت واکنش‌ها، باعث تداوم یافتن شدت تنفس و واکنش‌های تخریب‌کننده و در نتیجه تعریق بیشتر سبزی‌های ریحان و افزایش یافتن مقدار بخارآب درون بسته‌بندی‌شده است.

جدول ۱- اثر تیمارهای غلظت سیستئین، نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر میانگین تغییرات ترکیبات گازی اکسیژن و دیاکسید کربن نمونه ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Table 1- The effect of cysteine concentration treatments, packaging type, and storage time on the average changes in oxygen and carbon dioxide gas compositions of fresh basil samples stored at refrigerator temperature

متغیر Variabel	سطح/ نوع Level/type	گاز اکسیژن O_2%	گاز کربن دی‌اکسید Co_2%
غلظت سیستئین Cystein concentration (%)	0	3.19 ± 0.03^a	3.24 ± 0.02^a
	0.1	3.78 ± 0.03^b	3.74 ± 0.02^b
	0.5	3.57 ± 0.03^c	3.65 ± 0.02^c
نوع اتمسفر بسته‌بندی Type of atmosphere	Air	4.12 ± 0.02^a	4.06 ± 0.02^a
	Modified	2.91 ± 0.02^b	3.03 ± 0.02^b
زمان نگهداری Storage time (Day)	0	5.00 ± 0.03^a	5.00 ± 0.03^a
	5	3.20 ± 0.03^c	4.12 ± 0.03^b
	9	1.91 ± 0.03^d	3.14 ± 0.03^c
	12	4.12 ± 0.02^b	1.91 ± 0.03^d

*اعداد میانگین حاصل از سه تکرار بوده و مقایسه میانگین‌ها با حرف یکسان اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند.

*The average number the result of three repetitions and the comparison of the averages with the same letters has no significant difference (P<0.05).

پژوهش‌های انجام شده مشابه نشان‌دهنده وجود تأثیر معنی‌دار نوع بسته‌بندی و افزودنی‌های مختلف در کنترل تنفس و ترکیبات گازی تولید شده است. استفاده از کلسیم لاکتات و بسته‌های اتمسفر اصلاح شده باعث کاهش معنی‌دار ترکیبات گازی تولید شده در بسته‌های سالاد مخلوط سبزیجات و حفظ کیفیت آن برای زمان طولانی‌تر شده است (Rouhani, 2018). بر این اساس میزان حساسیت سبزی‌های مختلف نسبت به شرایط محیطی متفاوت بوده و کاهش تولید اتیلن و بروز واکنش‌های آنزیمی در بسته‌های اتمسفر اصلاح شده متناسب با شرایط و زمان نگهداری می‌تواند بهینه شود (Manjunatha & Anurag, 2014).

اندازه‌گیری درصد کاهش وزن

کاهش وزن درون بسته در اثر فرآیندهای فیزیولوژی مانند تنفس می‌تواند منجر به کاهش کیفیت، تردی، سفتی بافت و پژمردگی سبزی‌ها شود (Rouhani, 2018). نتایج به‌دست‌آمده نشان داد افزایش غلظت سیستئین، استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده و افزایش زمان نگهداری اختلاف آماری معنی‌داری در کاهش وزن سبزی‌های ریحان ایجاد کرده است ($p<0.05$). افزودن سیستئین به سبزی‌های ریحان تازه در غلظت ۰/۱ درصد باعث کاهش معنی‌دار افت وزنی نمونه از ۵/۷۹ ٪ در نمونه شاهد به ۱/۷۸ ٪ در نمونه‌های نگهداری شده با بسته‌بندی اتمسفر اصلاح شده پس از ۱۲ روز شده است. هم‌چنین با گذشت زمان نگهداری سبزی‌های ریحان در دمای ثابت ۴ درجه سانتی‌گراد از روز صفر تا روز ۱۲ پارامتر افت وزن افزایش معنی‌داری داشت. اثر متقابل زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی نیز بر پارامتر افت وزن نمونه‌ها معنی‌دار بودند ($p<0.05$). در تمام بازه نگهداری سبزی‌های ریحان، استفاده از بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده باعث کاهش درصد افت وزن نمونه شد ($p<0.05$). این امر می‌تواند به‌دلیل کنترل شدت تنفس سبزی‌های ریحان، حفظ خصوصیات کیفی و کاهش یافتن میزان تخریب ساختار کلروفیلی در اثر کمبود غلظت ترکیب گازی لازم برای انجام تنفس باشد (جدول ۲). اثر متقابل نوع بسته‌بندی و غلظت سیستئین نیز معنی‌دار بودند ($p<0.05$) و مقایسه میانگین‌ها در مطالعات انجام‌شده در خصوص پوشش‌دهی نمونه‌های ریحان تازه با پوشش خوراکی کیتوزان در غلظت‌های متفاوت نتایج مشابهی به همراه داشت و منجر به کاهش معنی‌دار افت وزن و افزایش زمان نگهداری ریحان شد (Hassan *et al*., 2021).

جدول ۲- اثر متقابل زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی بر افت وزنی ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Table 2- The interaction effect of storage time and packaging type on weight loss of fresh basil stored at refrigerated temperature

زمان نگهداری Storage time(Day)	نوع بسته‌بندی Type of packagin	افت وزن نمونه Weight loss(%)
روز صفر (Day 0)	Air	0.00 ± 0.00^{a}
	Modified	0.00 ± 0.00^{a}
روز پنجم (Day 5)	Air	3.02 ± 0.23^{c}
	Modified	2.14 ± 0.23^{b}
روز نهم (Day 9)	Air	3.10 ± 0.23^{c}
	Modified	2.37 ± 0.23^{b}
روز دوازدهم (Day 12)	Air	5.79 ± 0.22^{d}
	Modified	3.02 ± 0.25^{c}

*اعداد میانگین حاصل از سه تکرار بوده و مقایسه میانگین‌ها با حرف یکسان اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند.

*The average number the result of three repetitions and the comparison of the averages with the same letters has no significant difference ($P<0.05$).

بر اساس گزارش منتشر شده توسط حسن و همکاران (Hassan *et al*., 2021) تیمار با کیتوزان و نانوذرات کیتوزان، به‌ویژه نوع بارگذاری‌شده با اسانس آویشن (TVO-CSNPs)، به‌طور قابل‌توجهی باعث افزایش ماندگاری (تا ۲/۴ برابر شاهد) و کاهش افت وزن برگ‌های ریحان شد. آن‌ها این اثر را به کاهش پراکسیداسیون لیپیدها (کاهش مالون‌دی‌آلدئید) و حفظ عملکرد غشاهای سلولی از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند کاتالاز (CAT) و سوپراکسید دیسموتاز (SOD) و کاهش فعالیت آنزیم‌های مضر مانند PPOو لیپوکسیژناز (LOX) نسبت دادند. این مکانیسم‌ها شباهت زیادی به اثر محافظتی سیستئین در پژوهش حاضر دارد. علاوه بر این، یک پتنت ثبت‌شده توسط دانشگاه کشاورزی پکن (۲۰۲۲) نیز کارایی روش MAP را در ترکیب با پیش‌تیمار با باکتریوسین تأیید کرده و نشان داده است که این روش می‌تواند نرخ کاهش وزن ریحان را به تأخیر انداخته و ماندگاری آن را از ۴ به ۷ روز افزایش دهد (Chen *et al*., 2022).

تعیین pH

نتایج حاصل از آنالیز واریانس نشان داد که اثر نوع بسته‌بندی و افزایش زمان نگهداری اختلاف آماری معنی‌دار میان pH نمونه‌های ریحان دارد ($p<0.05$). ولی افزودن غلظت‌های بیش‌تر سیستئین اثر معنی‌داری در پارامتر pH نمونه‌ها ایجاد نکرد. استفاده از اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال منجر به کاهش pH شد. احتمال می‌رود علت این امر افزایش یافتن اسیدهای آلی غالب در سبزی ریحان در اثر شدت یافتن فرآیند تنفس سلولی و تجزیه‌ی بخش کلروفیلی آن در بسته‌بندی‌های حاوی اتمسفر اصلاح‌شده باشد که باعث تجمع یافتن بخش اسیدی شده است (A, Sheikhloie, & A.R, 2016).

pH نمونه‌های ریحان پس از ۱۲ روز نگهداری نسبت به‌روز صفر افزایش معنی‌داری داشته است. تغییرات این پارامتر در طی زمان نگهداری در روزهای پنجم و دوازدهم افزایشی و در روز نهم کاهشی نسبت به‌روز صفر بوده است ($p<0.05$). احتمال می‌رود علت اصلی این تغییر روند، تجمع دومرحله‌ای اسید در ساختار برگ‌ها بوده باشد. به این صورت که پس از ۵ روز نگهداری، فرآیندهای زیستی گیاه به خاطر عملکرد اتمسفر بسته‌بندی و وجود سیستئین، کاهش‌یافته است. در حالی‌که با افزایش زمان نگهداری به ۹ روز، روند افزایشی تخریب ساختاری صورت گرفته و منجر به تجمع ترکیبات اسیدی شده است و این روند در روز ۱۲ ام به خاطر رها شدن بیش‌تر آنزیم‌های موجود در برگ و اختلال در عملکرد غشای سلولی، دچار نوسان و کاهش اسیدیته شده است. این نوسان را می‌توان به‌عنوان یک پاسخ پویای فیزیولوژیک گیاه به تنش‌های تجمعی تفسیر کرد. به نظر می‌رسد در روز پنجم، گیاه با بهره‌گیری از سیستم‌های دفاعی خود (مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان) و به‌دلیل وجود سیستئین، توانسته است هموستاز نسبی خود را حفظ کرده و حتی با کاهش اسیدیته (افزایش pH) مواجه شود. اما با گذشت زمان تا روز نهم، تجمع ترکیبات اسیدی حاصل از تخریب تدریجی ساختارهای سلولی (مانند کلروفیل و غشاها) به اوج خود رسیده و pH را کاهش داده است. در روز دوازدهم، با از هم پاشیدن گسترده غشاهای سلولی و آزاد شدن محتویات واکوئلی و آنزیم‌های هیدرولیزکننده، ممکن است ترکیبات اسیدی رقیق شده یا تحت تأثیر واکنش‌های ثانویه دیگر قرار گرفته باشند و بدین‌ترتیب شاهد کاهش اسیدیته (افزایش دوباره pH) باشیم. این الگوی نوسانی، تأییدی بر پیچیدگی فرآیندهای بیوشیمیایی دخیل در پیری و تخریب پس از برداشت است (Towanabut).

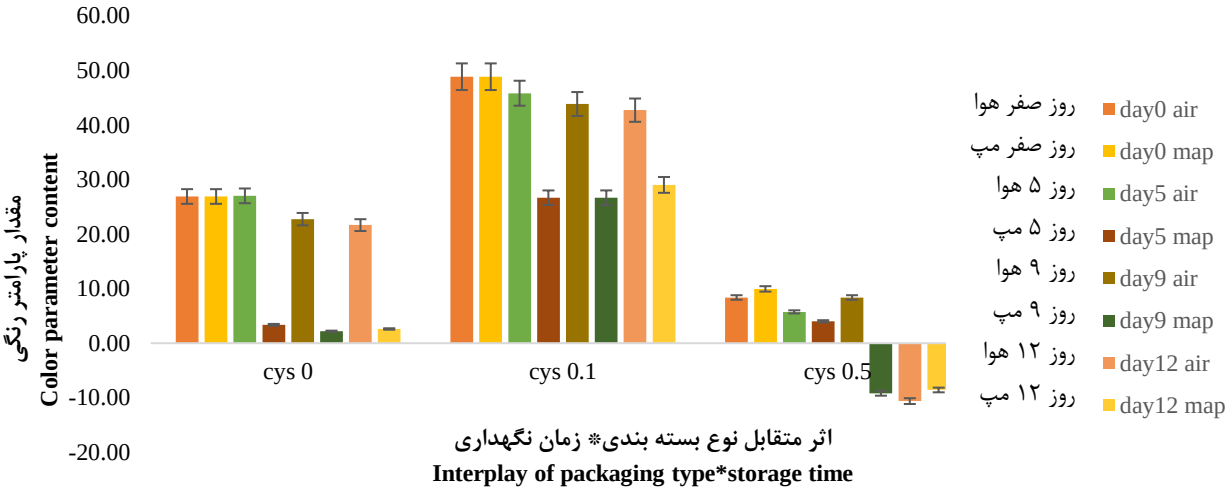
اثر متقابل مدت‌زمان نگهداری و بسته‌بندی بر پارامتر pH معنی‌دار بود. نتایج نشان می‌دهد استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده‌ی غیرفعال در بازه‌ی طولانی‌تر نگهداری سبزی ریحان می‌تواند به ثبات pH نمونه‌ها کمک کند. همچنین اثر متقابل نوع بسته‌بندی و غلظت سیستئین نیز معنی‌دار بود. استفاده از بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده‌ی غیرفعال همراه با افزایش یافتن غلظت سیستئین تأثیر معنی‌داری بر این پارامتر داشت. نتایج این پژوهش با بررسی‌های آیهان و همکاران (Ayhan, Eştürk, & Taş, 2008) در زمینه کاهش pH در طی زمان نگهداری و اثر دو پارامتر زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی هویج هم‌راستا بود. هم‌چنین مجیدی و همکاران (Majidi, Minaei, Almassi, & Mostofi, 2014) اعلام کردند بهره‌گیری از اتمسفر اصلاح‌شده در نگهداری گوجه‌فرنگی علاوه بر حفظ خصوصیات ظاهری و کیفیت، روند کاهش اسیدیته و تغییر pH را به‌صورت معنی‌داری کاهش می‌دهد که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشت.

تعیین پارامترهای رنگی نمونه‌های ریحان

مؤلفه‌های رنگی به‌عنوان فاکتورهایی برای بررسی کیفیت برگ‌های سبز هستند که تازگی و مطلوبیت حسی محصولات را نشان دهند (Patiño *et al*., 2018). غلظت سیستئین، زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی اثر معنی‌داری بر خصوصیات رنگی سبزی‌های ریحان داشتند ($p<0.05$). با افزایش زمان نگهداری سبزی‌های ریحان، افزایش معنی‌داری در پارامتر رنگی L^* به وجود آمد ($p<0.05$). فاکتور a^* پس از ۱۲ روز نگهداری، در غلظت ۰/۵ درصد سیستئین، در بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت. کمتر شدن ارقام منفی در این پارامتر به خاطر کاهش یافتن سبزینگی و افزایش قرمزی در برگ‌های ریحان نگهداری شده است. این نتایج با بررسی‌های آنیتا رامی و همکاران (Anita Rami, louie, & Yousefi, 2016) در خصوص بررسی پارامترهای رنگی اسفناج هم‌راستا بود. این تخریب رنگ‌دانه‌ها را می‌توان به تبدیل کلروفیل به فئوفیتین نسبت داد، فرآیندی که در اثر تنش‌های پس از برداشت و افزایش اسیدیته سلولی تسریع می‌شود. پژوهش دیگری بر روی ریحان نشان داد که تخریب کلروفیل‌های a و b در شرایط تنش (مانند دماهای بالا) به سرعت رخ می‌دهد و منجر به تغییر رنگ برگ‌ها از سبز به قهوه‌ای مایل به زرد می‌شود. هرچند مطالعه مذکور عمدتاً بر خشک‌کردن متمرکز بود، اما مکانیسم زمینه‌ای تخریب کلروفیل در اثر تنش‌های محیطی با یافته‌های پژوهش حاضر در مورد اثر زمان نگهداری بر کاهش سبزینگی (افزایش a*) قابل مقایسه است (Rocha, Marty-Audouin, & Lebert, 1993).

اثر متقابل دو فاکتور زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی بر پارامتر رنگی L^*، b^* و a^* ریحان سبز معنی‌دار بودند. در این مطالعه با افزایش زمان نگهداری، مقدار هر سه پارامتر L^* و a^* و b^* در نمونه‌های بسته‌بندی‌شده با اتمسفر اصلاح‌شده نسبت به بسته‌بندی‌های حاوی هوای معمولی کمتر بوده است. به‌بیان‌دیگر، افزایش زمان

نگهداری باعث افزایش سیاهی برگ‌های ریحان (کاهش پارامتر L^*) و کاهش سبزینگی (مثبت‌تر شدن پارامتر a^*) و افزایش شدت رنگ آبی (منفی شدن پارامتر b^*) شده است که می‌تواند به‌دلیل افزایش فرآیند تنفس برگ‌های ریحان و تخریب بیشتر رنگدانه‌های گیاهی و ساختار کلروفیلی باشد. تغییرات ایجادشده در پارامترهای رنگی سبزی ریحان را می‌توان به واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی ناشی از اکسیداسیون ترکیبات فنولی موجود در برگ ریحان توسط آنزیم پلی‌فنل اکسیداز نسبت داد که باعث باقی ماندن رنگدانه‌های تیره در برگ و بروز رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای و سیاه در برگ‌های سبز ریحان می‌شود (Patiño *et al.*, 2018). این نتایج با مطالعات بونیاکیات و بونپراسوم (Boonyakiat & Boonprasom, 2009) در تمامی پارامترهای رنگی و در پارامتر رنگی b^* هم‌خوانی دارد (Üner Öztürk & Koyuncu, 2021) (شکل ۱).



شکل ۱- اثر متقابل متغییر های نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر تغییرات پارامترهای رنگی نمونه‌های ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Fig. 1. The interaction effect of packaging type and storage time variables on changes in color parameters of fresh basil samples stored at refrigerator temperature

علاوه بر این، کوستا و همکاران (Costa, Montano, Carrión, Rolny, & Guiamet, 2013) نشان دادند که استفاده از پالس‌های نوری با شدت کم در دمای محیط می‌تواند روند پیری پس از برداشت برگ‌های ریحان را به تأخیر اندازد. آن‌ها گزارش کردند که نگهداری در تاریکی منجر به کاهش کلروفیل و پروتئین و بروز علائم ظاهری پیری (تیره شدن) شد، در حالی‌که قرارگیری روزانه در معرض پالس‌های نوری شدت این علائم را کاهش داد. این یافته تأکید می‌کند که علاوه بر بسته‌بندی و ترکیبات مورد استفاده به‌عنوان پوشش خوراکی، تعیین شرایط محیطی و بسیاری از فاکتور های جزئی دیگر می‌تواند بر روند پیری، تخریب کلروفیلی و تغییر پارامترهای رنگی مؤثر باشد (Costa *et al.*, 2013).

تعیین شاخص‌های قهوه‌ای شدن

قهوه‌ای شدن فرآیندی پنج مرحله‌ای است که در طی این فرآیند برگ‌های سبز گیاه به‌صورت تدریجی دچار تغییر رنگ می‌شوند. در ابتدا برگ‌ها کاملاً سبز و عاری از تیرگی هستند؛ سپس بافت برگ حدود ۵ درصد آسیب سطحی می‌بینند. در مراحل انتهایی و تخریب کامل برگ، ابتدا یک‌پنجم برگ سبز دچار آسیب شده و این فرآیند قهوه‌ای شدن در تمام برگ گیاه گسترده می‌شود (Aharoni *et al.*, 2010).

اثر متقابل زمان نگهداری و نوع بسته‌بندی اختلاف آماری معنی‌داری در پارامتر قهوه‌ای شدن ایجاد کرده است ($p<0.05$). فرآیند قهوه‌ای شدن برگ‌های ریحان پس از ۱۲ روز نگهداری دربسته بندی‌های حاوی اتمسفر اصلاح‌شده نسبت به هوای معمولی افزایش‌یافته است که دلیل این امر می‌تواند ناشی از تخریب بیشتر برگ‌های ریحان و درنتیجه از بین رفتن تعادل ترکیب گازی شود که منجر به افزایش فعالیت آنزیم‌های پلی‌فنل اکسیداز و سایر آنزیم‌های اکسیداتیو و تشدید این فرآیند شود. مکانیسم مهاری سیستئین بر قهوه‌ای شدن آنزیمی را می‌توان به تعامل این اسید آمینه با آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) نسبت داد. دوعان و همکاران (Dogan, Turan, Dogan, Alkan, & Arslan, 2007). در مطالعه‌ای بر روی آنزیم PPO استخراج‌شده از ریحان نشان دادند که ال-سیستئین یک مهارکننده قوی برای این آنزیم محسوب می‌شود و مدل مهاری آن به

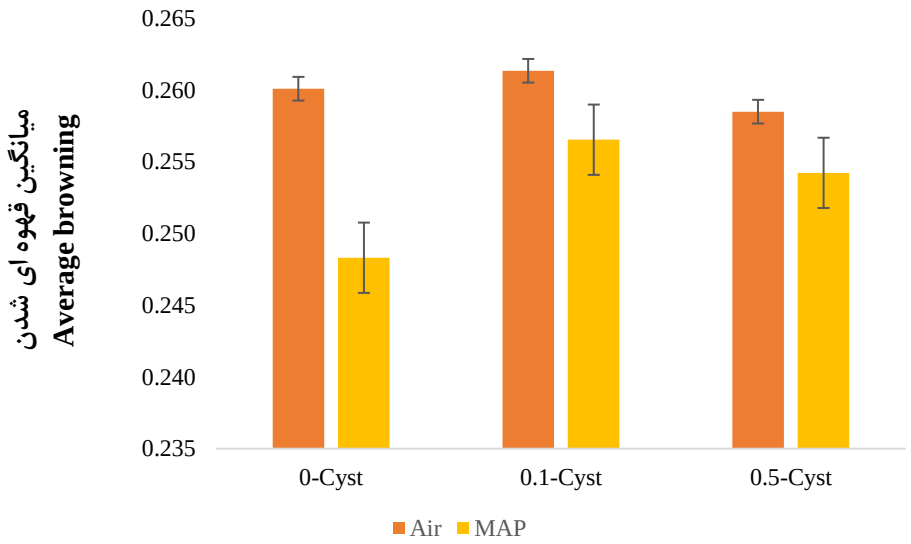
صورت رقابتی (competitive inhibition) است. این یافته تأیید می‌کند که سیستئین با اتصال به جایگاه فعال آنزیم، از اتصال سوبستراهای فنولی جلوگیری کرده و در نتیجه از تشکیل ترکیبات رنگی تیره ممانعت به عمل می‌آورد (Dogan *et al.*, 2007).

همچنین اثر متقابل نوع بسته‌بندی و غلظت سیستئین معنی‌دار بوده است ($p<0.05$). اثر ترکیبی پوشش خوراکی و بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح‌شده در مهار قهوه‌ای شدن، پیش‌تر در سایر محصولات نیز تأیید شده است. زینگ و همکاران (Xing *et al.*, 2010) در مطالعه‌ای روی ریشه نیلوفر تازه‌برش‌خورده نشان دادند که تیمار ترکیبی پوشش کیتوزان حاوی عوامل ضدقهوه‌ای شدن همراه با بسته‌بندی MAP، به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم PPO و محتوای مالون‌دی‌آلدئید (MDA) را کاهش داده و بالاترین امتیاز کیفیت ظاهری را در پایان دوره نگهداری به همراه داشت. آن‌ها گزارش کردند که مقدار L* در نمونه‌های تیمار ترکیبی پس از ۸ روز نگهداری، ۶۸/۸ بود؛ در حالی‌که این مقدار برای نمونه شاهد به ۴۸/۹ کاهش یافت که نشان‌دهنده حفظ روشنایی و جلوگیری از تیره‌شدن است. این نتایج تأیید کننده یافته‌های پژوهش حاضر در خصوص اثر هم‌افزایی سیستئین و بسته‌بندی MAP در کاهش قهوه‌ای شدن ریحان است (Xing *et al.*, 2010).

با توجه به شکل ۲ و جدول ۳ افزایش غلظت سیستئین اثر قابل‌توجهی در کاهش قهوه‌ای شدن داشته که در بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح‌شده‌ی غیرفعال نسبت به بسته‌بندی‌های حاوی هوای معمولی کمتر بوده است ($p<0.05$). مطالعات دیگر حاکی از آن است که در صورت بهینه‌سازی ترکیب گازی، MAP می‌تواند نقش مؤثری در کنترل قهوه‌ای شدن ایفا کند. بر اساس گزارش برودی و همکاران (Brody, Zhuang, & Han, 2010)، تنظیم دقیق غلظت اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در بسته‌بندی محصولات تازه‌برش‌خورده می‌تواند با کاهش شدت تنفس و کاهش تولید اتیلن، از فعال‌شدن آنزیم‌های اکسیداتیو مانند PPO جلوگیری کرده و روند قهوه‌ای شدن را به تأخیر اندازد. به نظر می‌رسد در پژوهش حاضر، غلظت گازهای درون بسته در پایان دوره نگهداری به حدی رسیده که تعادل لازم برای مهار تنفس را از دست داده و در نتیجه باعث تشدید قهوه‌ای شدن شده است (Brody *et al.*, 2010).

ارزیابی حسی

افزایش دوره نگهداری و غلظت پوشش سیستئین اختلاف آماری معنی‌داری در هر سه پارامتر حسی بو، بافت و طعم ایجاد کرده است ($p<0.05$). اثر متقابل نوع بسته‌بندی و غلظت سیستئین در پارامترهای حسی معنی‌دار بوده است ($p<0.05$). استفاده از پوشش باعث ایجاد یک‌لایه‌ی نازک نیمه‌تراوا در محصول شده که باعث کنترل افت وزن، شدت تنفس و واکنش‌های زیستی برگ‌های سبز می‌شود (Mansouri, 2016).



شکل ۲- اثر متقابل متغییر های غلظت سیستئین و نوع بسته‌بندی بر تغییرات میزان قهوه‌ای شدن نمونه‌های ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Fig. 2. The interaction effect of cysteine concentration variables and packaging type on changes in the browning rate of fresh basil samples stored at refrigerated temperature

جدول ۳- اثر متقابل متغییر های غلظت سیستئین، نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری بر تغییرات قهوه‌ای شدن نمونه‌های ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Table 3- The interaction effect of cysteine concentration, packaging type and storage time variables on changes in browning scores of fresh basil samples stored at refrigeraed temperature

زمان نگهداری Storage time	نوع بسته‌بندی Package type	غلظت سیستئین Cysteine concentration	میزان قهوه‌ای شدن Browning content
روز صفر Day 0	هوای معمولی Air	0.00%	0.26 ± 0.00 aA
		0.1%	0.26 ± 0.00 aB
		0.5%	0.26 ± 0.00 aAB
	اتمسفر اصلاح شده MAP	0.00%	0.26 ± 0.00 aA
		0.1%	0.26 ± 0.00 aB
		0.5%	0.26 ± 0.00 aAB
روز پنجم Day 5	هوای معمولی Air	0.00%	0.26± 0.00 bA
		0.1%	0.26 ± 0.00 bB
		0.5%	0.25 ± 0.0 bAB
	اتمسفر اصلاح شده MAP	0.00%	0.23 ± 0.00bA
		0.1%	0.25 ± 0.00bB
		0.5%	0.24± 0.00bAB
روز نهم Day 9	هوای معمولی Air	0.00%	0.26± 0.00 bA
		0.1%	0.25 ± 0.00 bB
		0.5%	0.25 ± 0.0 bAB
	اتمسفر اصلاح شده MAP	0.00%	0.23± 0.01 bA
		0.1%	0.24 ± 0.00bB
		0.5%	0.25 ± 0.0 bAB
روز دوازدهم Day 12	هوای معمولی Air	0.00%	0.24± 0.01 bA
		0.1%	0.25 ± 0.00 bB
		0.5%	0.25 ± 0.0 bAB
	اتمسفر اصلاح شده MAP	0.00%	0.26 ± 0.00bA
		0.1%	0.25 ± 0.00 bB
		0.5%	0.25 ± 0.0 bAB

*اعداد میانگین حاصل از سه تکرار بوده و مقایسه میانگین‌ها با حرف یکسان اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند.

*The average number of the results of three repetitions and the comparison of the averages with the same letters have no significant difference (P<0.05).

افزایش غلظت سیستئین به ۰/۱ درصد سبب افزایش قابل‌توجهی در امتیازات حسی شده است؛ در حالی‌که با تغییر غلظت سیستئین به ۰/۵ درصد امتیازات خصوصیات حسی کاهش پیدا کرد؛ بنابراین استفاده از غلظت‌های پایین‌تر پوشش سیستئین می‌تواند پارامترهای حسی برگ‌های ریحان را بهتر حفظ کند. استفاده از بسته‌بندی‌های اتمسفر اصلاح‌شده هم‌زمان با افزایش غلظت سیستئین، اثر مشابهی داشت. در غلظت‌های ثابت از سیستئین، استفاده از اتمسفر اصلاح‌شده منجر به تضعیف خصوصیات حسی برگ‌های ریحان تحت نگهداری شده است. علت این امر را می‌توان غیرفعال بودن بسته‌ی حاوی اتمسفر اصلاح‌شده و نشت ترکیبات معطر موجود در برگ‌های ریحان دانست. اثر متقابل نوع بسته‌بندی و زمان نگهداری و همچنین اثر متقابل زمان نگهداری و غلظت سیستئین نیز بر این پارامترها معنی‌دار بوده است ($p<0.05$). نتایج نشان داد با افزایش دوره نگهداری، پارامترهای حسی کاهش پیدا کردند و پس از ۱۲ روز نگهداری نمونه‌ها غیرقابل‌مصرف بوده‌اند که دلیل آن ایجاد بوی نامطبوع در طی اکسیداسیون ترکیباتی مانند اسید فنولی روزمارینیک اسید، کوئرستین و اسید کلروژنیک و تخریب ساختار ریحان بوده است (Suh & Park, 2010) و تخریب ساختار ریحان بوده است. در حالی‌که استفاده از غلظت‌های یکسان سیستئین در بسته‌بندی، در روزهای نگهداری مشابه، منجر به افزایش پایداری پارامترهای حسی شده است (شکل ۳ و جدول ۴). نتایج حاصل از این پژوهش با یافته‌های علیرضالو و همکاران (Alirezalou, Tavakolian, & Jafarpour, 2018) بر پوشش‌دهی توت‌فرنگی با کیتوزان و عصاره چای سبز مطابقت داشت و در کم‌ترین غلظت مورداستفاده در پوشش‌دهی، خصوصیات حسی در پایان روز نگهداری مطلوب‌تر از نمونه‌ی شاهد بود. بررسی‌های منصوری (Mansouri, 2016) نیز بر روی سبزی ریحان با پژوهش حاضر هم‌خوانی داشت.

نتیجه‌گیری

امروزه به‌دلیل تغییر سبک زندگی و نیاز به صرفه‌جویی بیشتر در زمان، افراد به‌دنبال محصولات آماده مصرف هستند. هدف از این پژوهش ارائه‌ی راهکار مناسب برای حفظ کیفیت، ارزش غذایی و افزایش عمر نگهداری این محصول، به‌عنوان سبزی پرمصرف و محبوب به‌صورت تازه‌خوری بود؛ در حال حاضر کوتاه بودن زمان نگهداری سبزی ریحان و افزایش ضایعات و از دست رفتن ارزش غذایی بالای این محصول از چالش‌های استفاده آن می‌باشد.

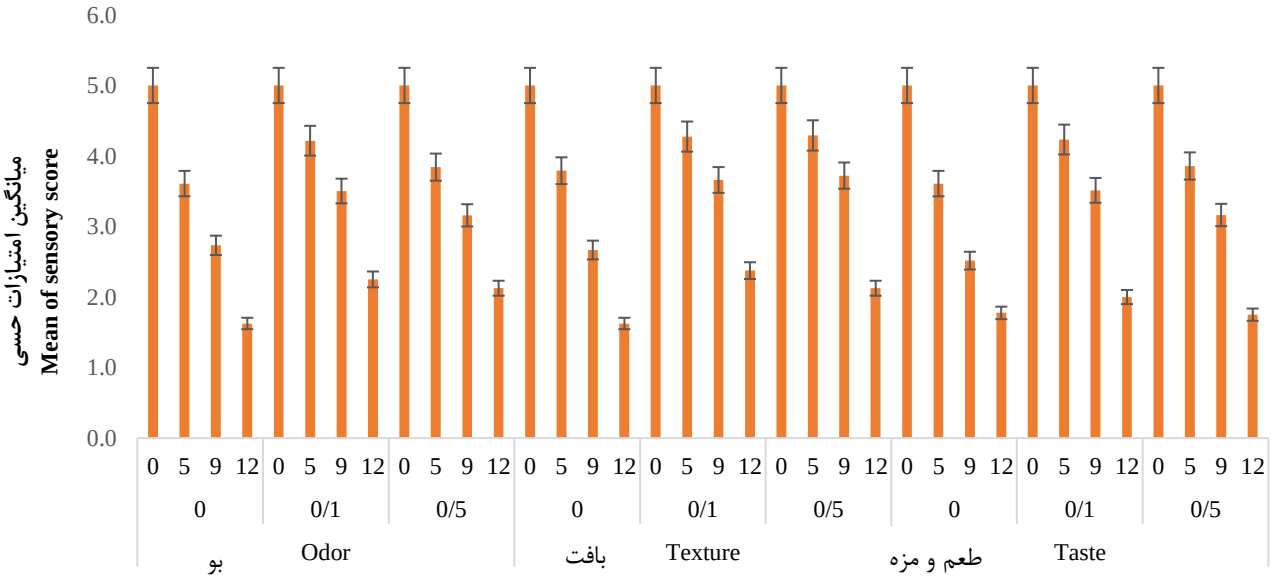
جدول ٤- اثر متقابل متغییر های غلظت سیستئین و نوع بسته‌بندی بر تغییرات امتیازات حسی نمونه‌های ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Table 4- The interaction effect of cysteine concentration and packaging type variables on changes in sensory scores of fresh basil samples stored at refrigerated temperature

پارامتر حسی Sensory parameter	غلظت سیستئین Cystein concentration(%)	نوع بسته‌بندی Type of packaging	میانگین ± خطای استاندارد Standard error ± Mean
بو (Smell)	0	Air	3.79 ± 0.01
		MAP	2.69 ± 0.01
	1.0	Air	4.48 ± 0.01
		MAP	3.00 ± 0.01
	0.5	Air	4.24 ± 0.01
		MAP	2.81 ± 0.01
بافت (Teture)	0	Air	3.75 ± 0.03
		MAP	2.79 ± 0.03
	0.1	Air	4.54 ± 0.03
		MAP	3.11 ± 0.03
	0.5	Air	4.33 ± 0.03
		MAP	3.23 ± 0.03
طعم و مزه (Taste)	0	Air	3.73 ± 0.01
		MAP	2.71 ± 0.01
	0.1	Air	4.34 ± 0.01
		MAP	3.03 ± 0.01
	0.5	Air	4.05 ± 0.01
		MAP	2.82 ± 0.01

*اعداد میانگین حاصل از سه تکرار بوده و مقایسه میانگین‌ها با حرف یکسان اختلاف معنی‌داری نداشته‌اند.

*The average number of the results of three repetitions and the comparison of the averages with the same letters have no significant difference (P<0.05).



اثر متقابل غلظت سیستئین* زمان نگهداری

Interplay effect of cysteine concentration*storage time

شکل ۳- اثر متقابل متغییر های غلظت سیستئین و زمان نگهداری بر تغییرات امتیازات حسی نمونه‌های ریحان تازه نگهداری شده در دمای یخچال

Fig. 3. The interaction effect of cysteine concentration and storage time variables on changes in sensory scores of fresh basil samples stored at refrigerator temperature

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش نشان داد که استفاده از سیستئین به همراه بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال می‌تواند در حفظ ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، حسی و افزایش زمان نگهداری سبزی ریحان مؤثر باشد. کاربرد هم‌زمان سیستئین و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده باعث کنترل و کاهش سرعت واکنش‌های متابولیکی در سبزی ریحان تازه شد که درنتیجه آن از تغییرات نامطلوب بیشتر در افت وزن نمونه‌ها، قهوه‌ای شدن و خصوصیات حسی در مقایسه با نمونه‌ی شاهد جلوگیری شد. در آزمون حسی که توسط پنلیست ها ی آموزش دیده انجام گردید نتایج نشان داد که استفاده از غلظت پایین‌تر سیستئین، خصوصیات حسی ریحان را بهتر حفظ کرد. درنهایت، با توجه به کاهش یافتن هزینه‌های تولید سبزی ریحان بسته‌بندی شده به روش مذکور و اثرگذاری مطلوب آن در نگهداری برگ‌های ریحان بدون ایجاد آسیب‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و شیمیایی نسبت به سایر روش‌های نوین بسته‌بندی همچون استفاده از فیلم‌های بسته‌بندی گران‌تر، استفاده از سیستئین در غلظت ۰/۱ درصد و بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده غیرفعال برای سبزی ریحان تازه به‌منظور حفظ کیفیت و افزایش زمان نگهداری توصیه می‌شود. این امر می تواند به کاهش ضایعات بخش کشاورزی و زنجیره تأمین سبزی ریحان که کشت و حفظ تازگی آن مشکلات فراوانی را به همراه دارد، مورد استفاده قرار گرفته و منجر به افزایش مصرف سبزی‌های بسته‌بندی به‌عنوان محصول تازه‌خوری و آماده شود.

منابع تأمین مالی

این پروژه تحقیقاتی توسط دانشگاه فردوسی مشهد طی طرح پژوهشی به شماره ۵۹۵۴۲ حمایت مالی شده است.

میزان مشارکت نویسندگان

نوروزی جاجرم: مدیریت داده‌ها، تحقیق و بررسی، انجام آزمون‌ها، نوشتن– پیش‌نویس اصلی. **صداقت:** تأمین مالی، مدیریت پروژه، نظارت، بررسی و ویرایش. **تقی زاده:** نظارت، بررسی و ویرایش.

References

1. A, R., Sheikhloie, H., & A.R, Y. (2016). The effect of modified atmosphere packaging and propolis on some characteristics of spinach cultivar "Varamin 88" during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, *13*, 2015. (In Persian)
2. Aharoni, N., Kenigsbuch, D., Chalupowicz, D., Faura-Mlinski, M., Aharon, Z., Maurer, D., & Lers, A. (2010). Reducing chilling injury and decay in stored sweet basil. *Israel Journal of Plant Sciences*, *58*(3-4), 167–181. https://doi.org/10.1560/IJPS.58.3-4.167
3. Ahmadi-Roshan, M., Berenji Ardestani, S., Ghotbi Kohan, K., Rafiee, R., Saeedi, F., Bathaie, M., & Zarrin, E. (2022). Gamma radiation processing under modified atmosphere packaging effects on microbial quality and antioxidant activity of fresh leafy vegetables during storage. *Journal of Nuclear Research and Applications*, *2*(2), 41–46. https://doi.org/10.24200/jon.2022.1019
4. Ali, A., Maqbool, M., Ramachandran, S., & Alderson, P.G. (2010). Gum arabic as a novel edible coating for enhancing shelf-life and improving postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *58*(1), 42–47. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2010.05.005
5. Alirezalou, K., Tavakolian, R., & Jafarpour, P. (2018). The effect of postharvest application of chitosan coating containing green tea extract on the quality characteristics and shelf life of Selva strawberry fruit. https://sid.ir/paper/363683/en
6. Altunkaya, A., & Gökmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry*, *107*(3), 1173–1179. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.046
7. Anita Rami, louie, H.S., & Yousefi, A. (2016). The effect of modified atmosphere packaging (MAP) and propolis on some characteristics of spinach cultivar “Varamin 88” during storage. *Quarterly Journal of Food Science and Technology*, *13*(61). (In Persian)
8. Ayhan, Z., Eştürk, O., & Taş, E. (2008). Effect of modified atmosphere packaging on the quality and shelf life of minimally processed carrots. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *32*(1), 57–64. https://journals.tubitak.gov.tr/agriculture/vol32/iss1/7
9. Bakmohammadpour, M., Peyghambardoust, S.H., & Alirezalou, K. (2021). Processing basil with long shelf life using a new disinfection method. (In Persian)
10. Berry, A.D., Sargent, S.A., & Huber, D.J. (2010). *Effect of postharvest application of 1-MCP on basil shoot quality during storage at chilling temperature*. https://api.semanticscholar.org/CorpusID:99934133

11. Boonyakiat, D., & Boonprasom, P. (2009). *Effect of vacuum cooling and packaging on physico-chemical properties of'Red'holy basil.* Paper presented at the VI International Postharvest Symposium 877. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.877.54
12. Brody, A.L., Zhuang, H., & Han, J.H. (2010). *Modified atmosphere packaging for fresh-cut fruits and vegetables*: John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470959145
13. Caleb, O.J., Mahajan, P.V., Al-Said, F.A.-J., & Opara, U.L. (2013). Modified atmosphere packaging technology of fresh and fresh-cut produce and the microbial consequences—a review. *Food and Bioprocess Technology, 6*(2), 303–329. https://doi.org/10.1007/s11947-012-0932-4
14. Chen, X., Liu, H., Zhou, J., Zhang, X., Xu, L., & Ding, K. (2022). China Patent No.
15. Costa, L., Montano, Y.M., Carrión, C., Rolny, N., & Guiamet, J.J. (2013). Application of low intensity light pulses to delay postharvest senescence of *Ocimum basilicum* leaves. *Postharvest Biology and Technology, 86*, 181–191. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.06.017
16. Danso-Boateng, E. (2013). Effect of drying methods on nutrient quality of basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. *International Food Research Journal, 20*(4).
17. Dhall, R. (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
18. Dogan, S., Turan, P., Dogan, M., Alkan, M., & Arslan, O. (2007). Inhibition kinetic of *Ocimum basilicum* L. polyphenol oxidase. *International Journal of Chemical Reactor Engineering, 5*(1). https://doi.org/10.1007/S00217-006-0383-0
19. Faraji, N.M., Farahnaki, A., Badii, F., & Hoseini, E. (2014). Study the of different treatments in control of browning in estahban intermediate moisture fig (cv.Sabz). *Food Science and Industry, 12*(47). http://fsct.modares.ac.ir/article-7-1559-en.htm
20. Forget, F.R., Goupy, P., & Nicolas, J. (1992). Cysteine as an inhibitor of enzymatic browning. 2. Kinetic studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*(40), 2108–2113. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb14937.x
21. Ghidelli, C., Mateos, M., Rojas-Argudo, C., & Pérez-Gago, M.B. (2014). Extending the shelf life of fresh-cut eggplant with a soy protein–cysteine based edible coating and modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology, 95*, 81–87. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.04.007
22. Hassan, F., Ali, E., Mostafa, N., & Mazrou, R. (2021). Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules, 177*, 517–525. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.159
23. Hassan, F., & Mahfouz, S. (2010). Effect of 1-methylcyclopropene (1-MCP) treatment on sweet basil leaf senescence and ethylene production during shelf-life. *Postharvest Biology and Technology, 55*(1), 61–65. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.008
24. Hosseininezhad, B., Nader, M., Ramezanian, A., Niakousari, M., & Mazloomi, S.M. (2023). A combination of modified atmosphere packaging and two chemical disinfectants: Effects on microbial, sensory, and physicochemical properties of raw ready-to-eat leek. *Food Science & Nutrition, 11*(1), 148–156. https://doi.org/10.1002/fsn3.3047
25. Imaizumi, T., Jitareerat, P., Laohakunjit, N., & Kaisangsri, N. (2021). Effect of microwave drying on drying characteristics, volatile compounds and color of holy basil (*Ocimum tenuiflorum* L.). *Agriculture and Natural Resources, 55*(1), 1–6. https://li01.tci-thaijo.org/index.php/anres/article/view/249283
26. Kocira, A., Kozłowicz, K., Panasiewicz, K., Staniak, M., Szpunar-Krok, E., & Hortyńska, P. (2021). Polysaccharides as edible films and coatings: Characteristics and influence on fruit and vegetable quality—A Review. *Agronomy, 11*(5), 813. https://www.mdpi.com/2073-4395/11/5/813
27. Majidi, H., Minaei, S., Almassi, M., & Mostofi, Y. (2014). Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. *Journal of Food Science and Technology, 51*(9), 2155–2161. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0721-0
28. Manjunatha, M., & Anurag, R.K. (2014). Effect of modified atmosphere packaging and storage conditions on quality characteristics of cucumber. *Journal Food Science Technology, 51*(11), 3470–3475. https://doi.org/10.1007/s13197-012-0840-7
29. Manolopoulou, H., Xanthopoulos, G., Douros, N., & Lambrinos, G. (2010). Modified atmosphere packaging storage of green bell peppers: Quality criteria. *Biosystems Engineering, 106*(4), 535–543. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2010.06.003
30. Mansouri, N. (2016). *Studying the effect of different plant extracts and packaging type on microbial load and post-harvest life of basil* (Master Research-based). Ferdowsi University, Mashhad. (In Persian)
31. Misir, J. (2014). *Aloe vera* gel as a novel edible coating for fresh fruits: A review. *American Journal of Food Science and Technology*. https://doi.org/10.12691/ajfst-2-3-3

32. Moansouri, N., Kazemi, F., Bahreini, M., & Aroiee, H. (2020). Effect of extracts and packaging on microbial quality and antioxidant activity of basil. *Journal of Food Microbiology, 6*(4), 8–23. https://sid.ir/paper/250752/en
33. Moon, K.M., Kwon, E.-B., Lee, B., & Kim, C.Y. (2020). Recent trends in controlling the enzymatic browning of fruit and vegetable products. *Molecules, 25*(12), 2754. https://doi.org/10.3390/molecules25122754
34. Nicola, S., Tibaldi, G., & Pignata, G. (2018). Potentiality of mint leaves as a ready-to-use product: Postharvest evaluation. *Acta Horticulturae, 1209*, 109–114. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1209.16
35. Oliveira, M., Abadias, M., Usall, J., Torres, R., Teixidó, N., & Viñas, I. (2015). Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables–A review. *Trends in Food Science & Technology, 46*(1), 13–26.https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.017
36. Parry, R. (2012). *Principles and applications of modified atmosphere packaging of foods*: Springer Science & Business Media. ISBN: 9781461521372
37. Patiño, L.S., Castellanos, D.A., & Herrera, A.O. (2018). Influence of 1-MCP and modified atmosphere packaging in the quality and preservation of fresh basil. *Postharvest Biology and Technology, 136*, 57–65. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.10.010
38. Pham, T.T., Nguyen, L.L.P., Dam, M.S., & Baranyai, L. (2023). Application of edible coating in extension of fruit shelf life: Review. *AgriEngineering, 5*(1), 520–536. https://www.mdpi.com/2624-7402/5/1/34
39. Phippen, W.B., & Simon, J.E. (1998). Anthocyanins in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 46*(5), 1734–1738. https://doi.org/10.1021/jf970887r
40. Pulamte, L. (2008). Key issues in post harvest management of fruits and vegetables in India. *India Science and Technology: 2008: S&T for Rural India and Inclusive Growth*.
41. Rocha, T., Marty-Audouin, C., & Lebert, A. (1993). Effect of drying temperature and blanching on the degradation of chlorophyll a and b in mint (*Mentha spicata* Huds.) and basil (*Ocimum basilicum*): Analysis by high performance liquid chromatography with photodiode array detection. *Chromatographia, 36*(1), 152–156. https://doi.org/10.1007/BF02263853
42. Rohani, M., & Sedaghat, N. (2019). The effect of active modified atmosphere packaging and coating of lactate calcium on the quality of vegetable Salad. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22286675.1398.10.40.4.4
43. Rouhani, M. (2018). *The effect of activated modified atmosphere and calcium lactate coating on the quality of mixed vegetable salad.* (Master Research-base). Ferdowsi University, Mashhad. (In Persian)
44. Salemi, B., Sedaghat, N., Varidi, M.J., Mousavi, S.M., & Tabatabaei Yazdi, F. (2021). The combined impact of calcium lactate with cysteine pretreatment and perforation-mediated modified atmosphere packaging on quality preservation of fresh-cut 'Romaine'lettuce. *Journal of Food Science, 86*(3), 715–723. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15619
45. Sessa, M., Ferrari, G., & Donsi, F. (2015). Novel edible coating containing essential oil nanoemulsions to prolong the shelf life of vegetable products. *Chemical Engineering Transactions, 43*, 55–60. https://doi.org/10.3303/CET1543010
46. Shiekh, R.A., Malik, M.A., Al-Thabaiti, S.A., & Shiekh, M.A. (2013). Chitosan as a novel edible coating for fresh fruits. *Food Science and Technology Research, 19*(2), 139–155. https://doi.org/10.3136/fstr.19.139
47. Suh, B.-S., & Park, M.-H. (2010). Measurement of antioxidation substances in basil. *Journal of the East Asian Society of Dietary Life, 20*(1), 54–59.
48. T.F.A. EI-Moghazy. (2021). Effect of packaging and cold storage on the quality of sweet basil Herb. *Middle East Journal of Applied Sciences, 11*(03), 11. https://doi.org/10.36632/mejas/2021.11.3.50
49. Teodosio, A.E.M.M., Araújo, R.H.C.R., Santos, B.G.F.L., Linné, J.A., da Silva Medeiros, M.L., Onias, E.A., . . . de Lima, J.F. (2021). Effects of edible coatings of *Chlorella* sp. containing pomegranate seed oil on quality of *Spondias tuberosa* fruit during cold storage. *Food Chemistry, 338*, 127916. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127916
50. Towanabut, M.A. Extending the shelf life of thai sacred basil (*Ocimum sanctum* Linn.) in fresh and dried forms.
51. Üner Öztürk, K., & Koyuncu, M.A. (2021). Effects of ozone and salicylic acid on post-harvest quality of parsley during storage. *Biological Agriculture & Horticulture, 37*(3), 183–196. https://doi.org/10.1080/01448765.2021.1937316
52. Xing, Y., Li, X., Xu, Q., Jiang, Y., Yun, J., & Li, W. (2010). Effects of chitosan-based coating and modified atmosphere packaging (MAP) on browning and shelf life of fresh-cut lotus root (*Nelumbo nucifera* Gaerth). *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 11*(4), 684–689. https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.07.006
53. Yan, D., Liu, X., Chen, Z., Wang, Y., Zhang, M., Zhang, T., & Wang, J. (2023). A double-layered self-healing coating system based on the synergistic strategy of cysteine and iron polyacrylate for corrosion protection. *Chemical Engineering Journal, 451*, 138995. https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138995