



Studying the Effect of Coating Eggs Using a Composite of Colophony and Coconut Oil on their Shelf Life

Mina. Asiyabi Aghdam¹, Rahmatollah Pourata², Iman Shahabi-Ghahfarrokhi^{3*}

¹PhD Student, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email Address: mina.asiyabi@yahoo.com

²Assistant Professor, Department of Chemistry, Faculty of Science, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email Address: pourata@znu.ac.ir

³Correspondence: Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email Address: i.shahabi@znu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 17 January 2026

Received in revised form: 28 June 2026

Accepted: 6 July 2026

Available online: 21 September 2026

Keywords:

Colophony

Coconut Oil

Coating

Egg Quality

ABSTRACT

Due to their low cost and high nutritional value, eggs are considered a staple in the human diet. Despite the natural protective role of the eggshell, its microscopic pores allow for the gradual escape of carbon dioxide and water vapor, leading to weight loss and a rapid decline in internal egg quality. This study aimed to investigate the effect of a composite coating—comprising rosin and coconut oil—as an antimicrobial and biodegradable barrier on preserving the physical, chemical, and microbiological quality of eggs during four weeks of storage at ambient temperature. Experiments were designed based on the Taguchi L16 method, incorporating three factors: rosin concentration (1%, 2%, 4%, and 6%), coconut oil concentration (0%, 1%, 2%, and 4%), and storage duration (1, 2, 3, and 4 weeks). Eighty fresh eggs were coated using alcoholic solutions prepared according to the L16 design, with five replicates per treatment; additionally, five uncoated eggs served as a control group evaluated on day zero. Weight loss percentage, Haugh units, and yolk index were used to assess egg quality. Analysis of variance (ANOVA) at a 95% confidence level was employed to examine the impact of the various factors on these quality indices. The results indicated that coconut oil concentration, storage duration, and rosin concentration—in that order—had the greatest influence on egg weight loss. The optimal combination for minimizing weight loss was determined to be a solution containing 2% rosin and 4% coconut oil. Furthermore, the results indicated that storage time had the greatest impact on the samples, with the optimal outcome achieved using a solution containing 4% rosin and 4% coconut oil. Coconut oil was the sole factor that significantly influenced the yolk index, with the best results observed at a 4% concentration. Following coating optimization, ten eggs (five control and five coated) were evaluated for the coating's effect on surface microbial load; microbial assessments revealed that the optimized rosin-coconut oil coating significantly reduced shell microbial load and effectively inhibited aerobic bacteria, even after 20 days. Overall, the study's findings demonstrate that the use of a combined rosin and coconut oil coating offers a safe, cost-effective strategy for extending egg shelf life at ambient temperatures, eliminating the need for a cold chain. This capability supports the potential application of the treated product within egg supply and export chains.

Cite this article: M. Asiyabi Aghdam¹, R. Pourata, and I. Shahabi-Ghahfarrokhi, "Studying the Effect of Coating Eggs Using a Composite of Colophony and Coconut Oil on their Shelf Life," Journal of Packaging Sciences and Techniques, vol. 17, no. 1, pp. 17-29, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47176/packaging.2026.1258>



OPEN ACCESS

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights

Publisher: Imam Hossein University.

Introduction

Eggs have long been recognized as a vital food source due to their low cost, high protein content, essential amino acids, fat-soluble vitamins, and excellent digestibility, making them an indispensable component of the global human diet. However, their high perishability limits shelf life, necessitating strict quality and hygiene control from laying to consumption. Despite the natural protective role of the eggshell, its micropores allow the gradual escape of carbon dioxide and water vapor, leading to weight loss, increased albumin pH, reduced Haugh unit, yolk index decline, and rapid internal quality deterioration. Edible coatings made from natural and safe materials represent one of the most effective strategies for extending ambient-temperature shelf life. This study investigated the effect of a combined colophony (pine resin) and coconut oil-as an alcoholic, edible, and antimicrobial coating on preserving the physical, chemical, and microbiological quality of fresh eggs during 4 weeks of storage at 25°C.

Materials and Methods

The experimental design was based on the Taguchi L16 orthogonal array, incorporating three factors (rosin concentration: 1%, 2%, 4%, and 6% w/v; coconut oil concentration: 0%, 1%, 2%, and 4% w/v; storage duration: 1, 2, 3, and 4 weeks) with five replications. Fresh eggs (laid within 24 hours) were fully immersed in the coating solutions prepared according to the design. After immersion, eggs were air-dried at room temperature for 5 minutes; this process was repeated twice to form a uniform double-layer coating on the eggshell surface. Coated and uncoated (control) eggs were then weighed and stored in egg trays at 25°C. Evaluated parameters included percentage weight loss, Haugh unit, and yolk index. Data were analyzed using the Taguchi method with signal-to-noise (S/N) ratios and analysis of variance (ANOVA). Additionally, the antimicrobial efficacy of the coated eggshell was assessed using MicrobCheck™ TBC slides.

Results and Discussion

After conducting the Taguchi L16 experiments and measuring weight loss, Haugh unit, and yolk index, the data were analyzed using signal-to-noise ratio (SN) and analysis of variance (ANOVA). Weight loss, as a key indicator of egg shelf life, results from moisture evaporation through shell pores and depends on temperature, humidity, and ventilation. ANOVA of weight loss results revealed that coconut oil percentage had the greatest contribution to reducing weight loss, followed by storage time and colophony percentage; increasing colophony from 1% to 2% significantly reduced weight loss, but levels of 4% and 6% showed no additional effect. Thus, the optimal combination for minimizing egg weight loss was 2% colophony and 4% coconut oil.

The Haugh unit is a reliable measure of albumen quality. Results showed that storage time had the greatest impact on Haugh unit, followed by coconut oil and colophony. The highest Haugh unit was achieved with 4% colophony and 4% coconut oil. The optimal coating restricts gas exchange, reduces

CO₂ efflux, and slows pH increase, thereby preventing viscosity loss in albumen due to ovomucin bond degradation.

The yolk index reflects yolk sphericity, which decreases due to vitelline membrane weakening and water transfer from albumen to yolk. ANOVA indicated that only coconut oil had a significant effect on yolk index ($P=0.021$), with the best value obtained at 4%.

MicrobCheck™ TBC slides after 48 hours of incubation and 20 days of storage demonstrated that the colophony–coconut oil coating significantly reduced shell microbial load and effectively inhibited aerobic bacterial growth even after 20 days. The disinfecting effect of alcohol during coating application, combined with the antibacterial properties of colophony, synergistically prevents microbial growth.

Conclusion

Coating with an alcoholic emulsion of colophony (2% w/v) and coconut oil (4% w/v) is an inexpensive and highly effective method for extending egg shelf life at ambient temperature. By reducing gas and moisture loss, slowing albumin pH rise, preserving Haugh unit and yolk index, and lowering shell microbial load, this coating maintains internal quality and safety for up to 4 weeks at 25°C. The results highlight the high potential of this natural coating as a viable alternative to chemical preservatives and refrigeration.

Funding Sources

This research was supported by the University of Zanjan through standard institutional research grants. No external funding was received.

بررسی تأثیر پوشش دهی تخم مرغ با استفاده از کامپوزیت کالیفون - روغن نارگیل بر ماندگاری آن

مینا آسیابی اقدم^۱، رحمت اله پورعطا^۲، ایمان شهابی قهفرخی^{۳*}

^۱ دانشجوی دکتری گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: mina.asiyabi@yahoo.com

^۲ استادیار گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: pourata@znu.ac.ir

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران (نویسنده مسئول). رایانامه: i.shahabi@znu.ac.ir

چکیده

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:

نوع مقاله: علمی پژوهشی

دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۷

بازنگری: ۱۴۰۵/۰۴/۰۷

پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۱۵

ارائه آنلاین: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰

کلیدواژه‌ها:

کالیفون

روغن نارگیل

پوشش دهی

کیفیت تخم مرغ

تخم مرغ‌ها به دلیل هزینه کم و ارزش تغذیه‌ای بالا، یکی از مهم‌ترین اقلام غذایی در رژیم غذایی انسان محسوب می‌شود. با وجود نقش محافظتی طبیعی پوسته تخم مرغ، منافذ ریز آن اجازه می‌دهند دی‌اکسید کربن و بخار آب به تدریج از آن خارج شوند، که منجر به کاهش وزن و افت سریع کیفیت داخلی تخم مرغ می‌شود. هدف این مطالعه بررسی تأثیر یک پوشش ترکیبی از کالیفون و روغن نارگیل به عنوان یک پوشش ضد میکروبی و زیست تخریب پذیر بر حفظ کیفیت فیزیکی، شیمیایی و میکروبی تخم مرغ در طول ۴ هفته ذخیره سازی در دمای محیط می‌باشد. آزمایش‌ها بر اساس طرح تاگوچی L16 با سه عامل شامل غلظت کالیفون (۱، ۲، ۴ و ۶ درصد)، غلظت روغن نارگیل (۰، ۱، ۲ و ۴ درصد)، و زمان نگهداری (۱، ۲، ۳ و ۴ هفته) طراحی شد. ۸۰ عدد تخم مرغ تازه، با استفاده از محلول‌های الکلی تهیه شده مطابق با طرح L16، در پنج تکرار پوشش داده شدند. همچنین ۵ عدد تخم مرغ بدون پوشش به عنوان شاهد در روز صفر مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های درصد افت وزنی، واحدها و شاخص زرده برای ارزیابی کیفیت تخم مرغ مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی تأثیر عوامل مختلف بر شاخص‌های ارزیابی تخم مرغ از تجزیه و تحلیل واریانس با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده شد. نتایج نشان داد که به ترتیب، غلظت روغن نارگیل، زمان ذخیره سازی و غلظت کالیفون بیشترین سهم را در افت وزنی تخم مرغ داشت. ترکیب بهینه برای کمینه کردن افت وزنی تخم مرغ، محلولی با ۲٪ کالیفون و ۴٪ روغن نارگیل به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد که زمان ذخیره سازی بیشترین تأثیر را بر واحدها داشت و بالاترین مقدار آن با محلولی با ۴٪ کالیفون و ۴٪ روغن نارگیل حاصل شد. روغن نارگیل تنها عاملی بود که تأثیر قابل توجهی بر شاخص زرده داشت و بهترین مقدار آن در ۴٪ روغن نارگیل به دست آمد. بعد از بهینه سازی پوشش، ۱۰ عدد تخم مرغ (۵ عدد شاهد و ۵ عدد پوشش داده شده) برای ارزیابی تأثیر پوشش بر بار میکروبی سطح تخم مرغ نتایج ارزیابی‌های میکروبی نشان داد که پوشش کالیفون-روغن نارگیل بهینه به طور قابل توجهی بار میکروبی پوسته را کاهش داد و باکتری‌های هوازی را حتی پس از ۲۰ روز به طور مؤثر مهار کرد. بطور کلی یافته‌های این مطالعه نشان داد استفاده از پوشش ترکیبی کالیفون و روغن نارگیل می‌تواند به عنوان یک راهکار کم هزینه و ایمن برای افزایش ماندگاری تخم مرغ در شرایط دمای محیط، بدون نیاز به زنجیره سرد، مورد استفاده قرار گیرد. این قابلیت امکان استفاده از محصول تهیه شده، در زنجیره تأمین و صادرات تخم مرغ را مورد تأیید قرار می‌دهد.

استناد: آسیابی اقدم، مینا، پورعطا، رحمت اله، شهابی قهفرخی، ایمان، بررسی تأثیر پوشش دهی تخم مرغ با استفاده از کامپوزیت کالیفون - روغن نارگیل بر

ماندگاری آن، دوره ۱۷، شماره ۱، صفحات ۲۹-۱۷، ۱۴۰۵. DOI: <https://doi.org/10.47176/packaging.2026.1258>

© نویسنده(گان) حق نشر و حقوق کامل انتشار را برای خود محفوظ می‌دارند.



ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع).

OPEN ACCESS

۱- مقدمه

از گذشته‌های دور تخم مرغ به دلیل قیمت ارزان و با داشتن میزان بالای پروتئین، اسید آمینه‌های ضروری و ویتامین‌های محلول در چربی همراه با قابلیت هضم بالا، به عنوان یک ماده غذایی مهم، از کیفیت تغذیه‌ای ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [۱] و به عنوان یکی از منابع اصلی پروتئین حیوانی در رژیم غذایی جهانی شناخته می‌شود [۲-۴]. با این وجود، فسادپذیری تخم مرغ، قابلیت نگهداری آن را محدود ساخته و حفظ کیفیت و کنترل بهداشت تخم مرغ بلافاصله بعد از تخم گذاری تا زمان مصرف از اهمیت بالایی برخوردار است [۵]. پوسته تخم مرغ به عنوان یک سد دفاعی طبیعی عمل می‌کند، اما منافذ ریز موجود در پوسته تخم مرغ باعث انتقال دی‌اکسید کربن و رطوبت از داخل تخم مرغ به بیرون و ورود اکسیژن و میکروارگانیسم‌ها به داخل آن می‌شود. این امر منجر به کاهش کیفیت تخم مرغ می‌شود و در صورت نامناسب بودن شرایط انبارداری مانند دما، رطوبت نسبی و طول دوره نگهداری، افت کیفیت تشدید می‌شود [۶]. از این رو، پژوهشگران معمولاً دو رویکرد کلی را برای حفظ کیفیت تخم مرغ مدنظر قرار می‌دهند. اولین سازوکار، غیرفعال کردن میکروارگانیسم‌های روی پوسته تخم مرغ با روش‌هایی مثل تیمارهای امواج اولتراسونیک^۱، ازن و استفاده از پلاسمای سرد و پرتوی فرابنفش است. سازوکار دیگر مسدودسازی منافذ پوسته تخم مرغ در برابر تبادلات بخار آب، گازها و میکروارگانیسم‌ها است [۷، ۸]. جلوگیری از خروج گازهای داخلی و رطوبت تخم مرغ، یکی از روش‌های مفید و کاربردی جهت جلوگیری از بروز تغییرات ناخواسته به حساب می‌آید. یکی از روش‌های به کار گرفته شده برای مسدود کردن این منافذ، اعمال پوشش‌های نازک بر روی سطح تخم مرغ می‌باشد [۹]. سطح مواد غذایی را معمولاً با بیوپلیمرهای زیست تخریب پذیر و خوراکی مانند: پروتئین‌ها، پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و یا ترکیبی از آن‌ها پوشش می‌دهند. به این منظور از پوشش‌های بر پایه پروتئین‌ها مانند ایزوله پروتئین سویا، پلی‌ساکاریدها مانند نشاسته [۱۰] و کیتوزان [۱۱]، لیپیدهایی مانند اسید اولئیک [۱۲] و یا ترکیب آن‌ها مانند نشاسته و اسید اولئیک استفاده می‌شود [۱۲]. ویژگی مشترک اغلب این پوشش‌ها آبدوستی بالای آن‌ها می‌باشد، هر چند این نقیصه با ترکیب کردن مواد تشکیل دهنده پوشش با مواد آب گریز مانند چربی‌ها تا حدودی جبران می‌شود. علاوه بر این، پایه آبی این پوشش‌ها معمولاً منجر به آسیب

به کوتیکول^۲ طبیعی تخم مرغ می‌شود. از سوی دیگر در صورت میعان رطوبت در طی حمل و نقل در اثر نوسانات دمایی بر روی سطح تخم مرغ، این پوشش‌ها از بین می‌روند. این تغییرات منجر به افزایش خطر آلودگی‌های میکروبی و کاهش ماندگاری تخم مرغ می‌شود [۱۳]. نکته جالب توجه آن است که بسیاری از این پوشش‌ها به صورت ذاتی فاقد خصوصیات ضد میکروبی هستند.

کالیفون یا روزین که به آن قیر یونانی نیز گفته می‌شود، نوعی روزین جامد و از دسته پلی‌ساکاریدها است که از کاج‌ها و برخی گیاهان دیگر، عمدتاً مخروط‌ها به دست می‌آید [۱۴]. صمغ درختان سوزنی شکل تا ۷۰٪ کالیفون دارد. کالیفون به طور معمول در آب نامحلول است، ولی در اتانول، اتر^۳، بنزن^۴ و کلروفرم^۵ محلول می‌باشد. به دلیل خاصیت آب‌گریزی بالای کالیفون، این ماده گزینه‌ای مطلوب برای ایجاد پوشش‌های سدکننده در برابر رطوبت و گاز محسوب می‌شود و اشکالاتی که ترکیبات بر پایه آب در پوشش دهی سطح تخم مرغ دارند با استفاده از کالیفون کمتر خواهد بود. گذشته از ویژگی‌های فیزیکی، مشتقات کالیفون و برخی رزین‌های طبیعی حاوی ترکیباتی با خاصیت ضد میکروبی علیه باکتری‌ها و قارچ‌ها گزارش شده‌اند [۱۵]. افزون بر این، استفاده از اتانول در فرمولاسیون پوشش بر پایه کالیفون نه تنها موجب حل پذیری مطلوب آن می‌شود، بلکه خاصیت ضد عفونی کننده‌ی سطح تخم مرغ را نیز تقویت می‌کند. ویژگی‌های گسترده این ماده باعث می‌شود تا از آن در تولید محصولات آرایشی و بهداشتی، تولید نخ بخیه، تولید نوارچسب و داروهای موضعی استفاده شود. کالیفون با تبدیل به بوتیل آمین استات^۶ می‌تواند موجب از بین بردن جلبک‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها شود. در صورتی که از اتانول برای انحلال آن استفاده شود علاوه بر این بر کالیفون خود اتانول نیز دارای خاصیت ضد میکروبی شدید است.

در این پژوهش، اثرات پوشش بر پایه کالیفون-روغن نارگیل بر روی خصوصیات کیفی تخم مرغ مورد بررسی قرار گرفت. پوشش بر پایه کالیفون علاوه بر خاصیت سدکنندگی در مقابل تبادل رطوبت و دی اکسید کربن، می‌تواند خاصیت ضد باکتری هم به سطح تخم مرغ بدهد. همچنین استفاده از حلال اتانول باعث می‌شود که در زمان اعمال پوشش، سطح تخم مرغ‌ها ضد عفونی شده و احتمال انتقال آلودگی به حداقل برسد.

² Cuticle

³ Ether

⁴ Benzene

⁵ Chloroform

⁶ Butylamine acetate

¹ Ultrasonic wave

۲- مواد و روش‌ها

بر اساس طرح آزمایش آرایه L16 تاگوچی، تعداد ۱۶ آزمون با شرایط ذکر شده در جدول (۲) طراحی شد. به ازای هر آزمایش، ۵ تخم‌مرغ با پوشش‌های مندرج در جدول (۲) پوشش‌دهی شدند. ویژگی‌های تخم‌مرغ شامل افت وزنی، واحدها و شاخص زرده به عنوان پاسخ‌های آزمایش برای هر تخم‌مرغ بصورت مستقل اندازه‌گیری شدند. علاوه بر این، ۵ عدد تخم‌مرغ، بدون پوشش و به عنوان شاهد، برای اندازه‌گیری وزن اولیه، واحدها و شاخص زرده در روز صفر مورد آزمایش قرار گرفت.

جدول (۲): طرح آزمایشی تاگوچی با آرایه متعامد L16 به منظور ارزیابی خصوصیات کیفی تخم‌مرغ

شماره آزمایش	کالیفون (%)	روغن نارگیل (%)	زمان انبارداری (هفته)
۱	۱	۰	۱
۲	۱	۱	۲
۳	۱	۲	۳
۴	۱	۴	۴
۵	۲	۰	۲
۶	۲	۱	۱
۷	۲	۲	۴
۸	۲	۴	۳
۹	۴	۰	۳
۱۰	۴	۱	۴
۱۱	۴	۲	۱
۱۲	۴	۴	۲
۱۳	۶	۰	۴
۱۴	۶	۱	۳
۱۵	۶	۲	۲
۱۶	۶	۴	۱

کالیفون با وزن مخصوص ($1/07 \text{ g/m}^3$) (شرکت بیسموت، چین)، توئین ۸۰ (شرکت مرک، آلمان)، محلول سرم فیزیولوژی ۰/۹ (شرکت ثامن مشهد، ایران)، اتانول ۹۶ (شرکت پارس، ایران)، روغن نارگیل (شرکت وستا، ایران) و محیط کشت پلیت کانت آگار به‌صورت اسلاید میکرو چک (شرکت زیست کاوش ایرانیان، ایران) در این پژوهش استفاده شد. تعداد ۹۵ عدد تخم‌مرغ سالم، تازه، بدون ترک و بدون آلودگی سطحی با وزن حدود ۶۰ تا ۵۵ گرم و همگی با جیره غذایی یکسان، از فارم تخم‌گذار نژاد لگهورن^۱ و با سن مادر هفت ماه از شرکت مرغداری ماهی‌آباد شهر میانه تهیه شد.

۲-۱- طراحی مدل

آرایه L16 روش تاگوچی جهت رسیدن به ترکیب بهینه پوشش و بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر شاخص‌های ارزیابی شامل افت وزنی، شاخص زرده و واحدها (HU)^۲ استفاده شد. این ارزیابی با استفاده از روش تجزیه و تحلیل واریانس با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. بعد از تعیین عوامل مؤثر، سطوح آنها مشخص شدند. در این مطالعه شاخص‌های مدت زمان انبارداری تخم‌مرغ (هفته‌های اول، دوم، سوم و چهارم)، نسبت وزنی کالیفون در پوشش (۱٪، ۲٪، ۴٪ و ۶٪) و نسبت وزنی روغن نارگیل در پوشش (۰، ۱٪، ۲٪ و ۴٪) به‌عنوان عوامل مؤثر بر ماندگاری و کیفیت تخم‌مرغ مطابق با (جدول ۱) مورد مطالعه قرار گرفتند. ارزیابی تأثیر هر یک از عوامل و بهینه‌سازی آنها در رسیدن به شرایط مطلوب نگهداری تخم‌مرغ با استفاده از نرم افزار مینی‌تب ورژن ۱۹ انجام شد.

جدول (۱): عوامل مؤثر بر ماندگاری و کیفیت تخم‌مرغ و سطوح آنها

مطابق با طرح L16 تاگوچی

عامل مؤثر	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
نسبت وزنی کالیفون (%)	۱	۲	۴	۶
نسبت وزنی روغن نارگیل (%)	۰	۱	۲	۴
مدت زمان انبارداری تخم‌مرغ (هفته)	۱	۲	۳	۴

^۱ Leghorn chicken

^۲ Haugh unit

به مدت ۵ ثانیه در سرم فیزیولوژی تلقیح شده با سواب غوطه‌ور گردید. پس از آن، اسلایدها به محفظه نگهداری منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۳۷ درجه سلسیوس گرمخانه گذاری شدند. در نهایت، کلنی‌های رشد کرده شمارش و گزارش شدند.

۲-۵- اندازه‌گیری افت وزنی

ابتدا تمام تخم‌مرغ‌ها، پس از شماره‌گذاری و خشک شدن پوشش سطحی آن‌ها، با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (شرکت کرن، مدل KERN-PCB، آلمان) توزین شدند و وزن حاصل به‌عنوان وزن اولیه ثبت گردید. سپس، نمونه‌ها در زمان‌های تعیین شده (بر اساس جدول ۲) مجدداً توزین شده و افت وزن آن‌ها از رابطه (۱) به‌صورت درصد محاسبه شد [۱۶].

$$WL = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه WL بیانگر درصد افت وزنی نمونه، S_1 بیانگر وزن اولیه تخم‌مرغ و S_2 بیانگر وزن تخم‌مرغ در زمان ارزیابی هستند.

۲-۶- اندازه‌گیری واحدها

برای اندازه‌گیری واحدها، ابتدا قبل از شکستن، تخم‌مرغ توزین شد. سپس، تخم‌مرغ با دقت شکسته و محتوای آن از نزدیک‌ترین فاصله ممکن به آرامی روی صفحه تفلونی کاملاً صاف ریخته شد. در ادامه، ارتفاع بیشترین بخش سفیده با استفاده از میکرومتر سه‌پایه اندازه‌گیری گردید و واحدها بر اساس رابطه (۲) محاسبه شد.

$$HU = 100 \times \log(H - 1.7W^{0.37} + 7.6) \quad (2)$$

در این معادله W بیانگر وزن هر تخم‌مرغ کامل برحسب گرم و H نیز ارتفاع مرتفع‌ترین بخش آلبومین برحسب میلی‌متر می‌باشد [۱۷].

۲-۷- اندازه‌گیری شاخص زرده

برای اندازه‌گیری شاخص زرده YOI^3 ، تخم‌مرغ با دقت شکسته و محتوای آن از نزدیک‌ترین فاصله ممکن به آرامی روی صفحه تفلونی کاملاً صاف و تراز ریخته شد. سپس، بیشترین ارتفاع زرده (H) با استفاده از میکرومتر سه‌پایه و قطر زرده (D) با کولیس اندازه‌گیری گردید و شاخص زرده بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد [۱۸، ۱۹].

$$YOI = \frac{H}{D} \quad (3)$$

۲-۲- آماده‌سازی محلول‌ها

جهت تهیه محلول‌های پوششی، بر اساس جدول (۲)، ابتدا مقدار مشخصی از کالیفون در اتانول ۹۶٪ در دمای آزمایشگاه حل شد. در ظرف دیگری مقدار معینی روغن نارگیل ریخته شد. آنگاه ۱۰ درصد وزنی روغن، توئین^۱ ۸۰ به آن اضافه گردید و به مدت ۵ دقیقه با استفاده از هموژنایزر التراسونیک^۲ همگن شد. مخلوط روغن و توئین ۸۰ به محلول کالیفون اضافه شد. سپس با اضافه نمودن اتانول، وزن نمونه به ۱۰۰ گرم رسید و سپس مخلوط به دست آمده با همزن مکانیکی با دور ۲۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۵ دقیقه همزده شد تا یکنواخت گردد.

۲-۳- پوشش دهی تخم‌مرغ‌ها

ابتدا تخم‌مرغ‌هایی که فاقد هر گونه ترک و شکستگی بودند، انتخاب و نشانه‌گذاری شدند. آنگاه به روش غوطه‌ورسازی، عمل پوشش دهی آن‌ها طی دو مرحله صورت پذیرفت. در اولین مرحله، ابتدا در هر یک از محلول‌های تولید شده تخم‌مرغ‌ها به‌طور کامل غوطه‌ور و پس از پوشش سطح، در دمای محیط به مدت ۵ دقیقه خشک شدند. جهت اطمینان از پوشش ایجاد شده بر سطح تخم‌مرغ‌ها در مرحله دوم تخم‌مرغ‌های پوشش دهی شده مجدداً در همان محلول غوطه‌ور و سپس خشک شدند. بدین ترتیب دولایه از پوشش موردنظر بر سطح پوسته تخم‌مرغ تشکیل گردید. آنگاه تخم‌مرغ‌های پوشش دار و فاقد پوشش پس از توزین در شانه تخم‌مرغ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. آنگاه با توجه به زمان‌بندی جدول (۲)، ویژگی‌های کیفی تخم‌مرغ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای هر آزمایش مطابق جدول ۲ تعداد ۵ تخم‌مرغ به صورت تصادفی انتخاب و شماره‌گذاری شد و افت وزنی، واحدها و و شاخص زرده برای هر یک از آن‌ها اندازه‌گیری شد. همچنین تعداد ۵ تخم‌مرغ هم به‌عنوان شاهد (بدون پوشش) در روز صفر مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۴- شمارش کلی باکتری‌ها

برای شمارش کلی باکتری‌های موجود روی سطح پوسته تخم‌مرغ‌های بدون پوشش و پوشش دار، ابتدا سطحی به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر مربع از هر تخم‌مرغ با سواب آغشته به سرم فیزیولوژی سواب کشی شد و سواب در ۲۰ میلی‌لیتر سرم فیزیولوژی قرار گرفت. سپس، طبق شیوه‌نامه، اسلاید حاوی محیط کشت پلیت کانت آگار

¹ Tween 80

² Ultrasonic homogenizer

³ Yolk index

۳- نتایج و بحث

واریانس برای هر یک از نتایج به صورت جداگانه انجام شد. در نهایت، بر اساس خروجی نرم افزار و با توجه به سهم هر شاخص، مهم ترین شاخص و سطوح بهینه آن مشخص گردید.

پس از اجرای آزمایش های طراحی شده به روش تاگوچی و اندازه گیری و محاسبه ویژگی های کمی و کیفی تخم مرغ مانند: افت وزنی، واحدها، شاخص زرده (جدول ۳)، تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از میانگین نسبت سیگنال به نویز و جدول تجزیه و تحلیل

جدول (۳): نتایج به دست آمده مطابق با طراحی آزمایش آرایه L16

شماره آزمایش	درصد وزنی کالیفون	درصد وزنی روغن	زمان انبارداری (هفته)	افت وزنی (درصد)	واحدها	شاخص زرده
۱	۱	۰	۱	$۰/۷۹ \pm ۰/۰۳$	$۹۱/۷۸ \pm ۱/۱۱$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۲$
۲	۱	۱	۲	$۱/۲۹ \pm ۰/۱۰$	$۹۰/۳۰ \pm ۳/۱۵$	$۰/۴۶ \pm ۰/۰۲$
۳	۱	۲	۳	$۱/۱۷ \pm ۰/۱۶$	$۸۸/۰۳ \pm ۳/۰۷$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۱$
۴	۱	۴	۴	$۰/۳۹ \pm ۰/۱۱$	$۹۱/۲۴ \pm ۱/۲۶$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۳$
۵	۲	۰	۲	$۱/۲۰ \pm ۰/۱۰$	$۹۰/۰۲ \pm ۲/۹۲$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۱$
۶	۲	۱	۱	$۰/۲۵ \pm ۰/۰۷$	$۹۴/۳۴ \pm ۲/۵۹$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۱$
۷	۲	۲	۴	$۰/۶۰ \pm ۰/۱۵$	$۸۹/۷۰ \pm ۱/۷۴$	$۰/۴۷ \pm ۰/۰۱$
۸	۲	۴	۳	$۰/۳۶ \pm ۰/۰۸$	$۹۲/۵۰ \pm ۲/۴۳$	$۰/۴۸ \pm ۰/۰۱$
۹	۴	۰	۳	$۱/۶۲ \pm ۰/۰۷$	$۸۸/۶۴ \pm ۱/۹۷$	$۰/۴۳ \pm ۰/۰۸$
۱۰	۴	۱	۴	$۱/۲۴ \pm ۰/۰۷$	$۸۹/۴۴ \pm ۲/۲۳$	$۰/۴۳ \pm ۰/۰۱$
۱۱	۴	۲	۱	$۰/۳۲ \pm ۰/۰۳$	$۹۶/۶۲ \pm ۳/۲۴$	$۰/۴۹ \pm ۰/۰۲$
۱۲	۴	۴	۲	$۰/۵۰ \pm ۰/۲۳$	$۹۴/۶۰ \pm ۲/۳۸$	$۰/۴۹ \pm ۰/۰۱$
۱۳	۶	۰	۴	$۱/۵۸ \pm ۰/۰۳$	$۸۸/۰۲ \pm ۱/۰۶$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۱$
۱۴	۶	۱	۳	$۰/۸۹ \pm ۰/۱۱$	$۸۸/۶۴ \pm ۱/۵۹$	$۰/۴۵ \pm ۰/۰۳$
۱۵	۶	۲	۲	$۰/۶۰ \pm ۰/۰۹$	$۹۰/۹۱ \pm ۱/۸۹$	$۰/۴۷ \pm ۰/۰۱$
۱۶	۶	۴	۱	$۰/۱۱ \pm ۰/۰۳$	$۹۵/۵۰ \pm ۳/۴۴$	$۰/۴۹ \pm ۰/۰۲$

۳-۱- تأثیر عوامل مؤثر بر افت وزنی

از آن، به ترتیب زمان انبارداری و درصد کالیفون بر افت وزنی تخم مرغ مؤثر هستند. با توجه به مقدار P (کمتر از ۰/۰۵) و F (بزرگ تر از مقدار بحرانی ۴/۲)، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، تمامی عوامل مورد مطالعه تأثیر معناداری بر افت وزنی تخم مرغ دارند. پژوهش های پیش از این نشان داده است که افت وزنی در گذر زمان نه تنها در دمای اتاق بلکه در دمای یخچال و تخم مرغ پوشش دهی شده نیز رخ می دهد [۲۱]. افزایش میزان ماده خشک در پوشش می تواند باعث افزایش ضخامت پوشش و به تبع آن کاهش افت وزنی شود، ولی لیپیدها به دلیل ماهیت آب گریزی، در صورت استفاده در ترکیب پوشش موجب کاهش چشم گیر افت وزنی می شود [۱۲].

از ساده ترین راه های ارزیابی ماندگاری تخم مرغ شاخص افت وزنی می باشد. هم زمان با سپری شدن مدت زمان انبارداری تخم مرغ و به دلیل خارج شدن رطوبت از منافذ موجود در روی تخم مرغ، وزن تخم مرغ ها کاهش پیدا می کند. تبخیر آب فرایندی است که کاملاً به شرایط محیطی مانند دما، رطوبت و میزان تهویه محل نگهداری تخم مرغ بستگی دارد. به طوری که نگهداری تخم مرغ در شرایط یخچال به طور مؤثری تبخیر آب را کنترل می کند و در نهایت باعث کاهش افت وزنی تخم مرغ می شود [۲۰]. جدول (۴) تحلیل واریانس تأثیر عوامل مختلف آزمایشی بر افت وزنی را نشان می دهد. بر اساس این جدول، بالاترین سهم مشارکت مربوط به درصد روغن است. پس

جدول (۴): جدول تحلیل واریانس افت وزنی تخم مرغ‌ها

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع مربعات تعدیل شده	میانگین مربعات تعدیل شده	آماره F	P
درصد کالیفون	۳	۳۷/۵۱	۳۷/۵۱	۱۲/۵۰۵	۵/۷۴	۰/۰۳۴
درصد روغن نارگیل	۳	۳۹۷/۷۲	۳۹۷/۷۲	۱۳۲/۵۷۳	۲۵/۲۵	۰/۰۰۱
زمان انبارداری (هفته)	۳	۲۲۹/۳۸	۲۲۹/۳۸	۷۶/۴۵۹	۵۲/۳۱	۰/۰۰۰
خطای باقیمانده	۶	۱۵/۲۰	۱۵/۲۰	۲/۵۳۳		
کل	۱۵	۶۷۹/۸۱				

همچنین، شکل (۱) نسبت سیگنال به نویز مربوط به افت وزنی را برای غلظت‌های مختلف روغن نارگیل (۰، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی/وزنی) نشان می‌دهد. بیشترین اثر مثبت (بالاترین نسبت سیگنال به نویز) در کاهش افت وزنی در غلظت ۴ درصد روغن نارگیل مشاهده شد. خاصیت آب‌گریزی روغن نارگیل باعث ایجاد لایه‌ای محافظ روی پوسته تخم مرغ می‌شود که از خروج رطوبت تخم مرغ جلوگیری کرده و در نتیجه افت وزنی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. این در حالی است که افزایش بیش از حد لیپیدها در پوشش‌ها می‌تواند همانند پلاستی سائزها باعث افزایش فضای آزاد و عدم یکنواختی در ماتریکس بیوپلیمر و افزایش تراوایی به رطوبت شود [۱۲]. به نظر می‌رسد نوع ماتریس بیوپلیمر و لیپید مورد استفاده در این پدیده مؤثر باشد.

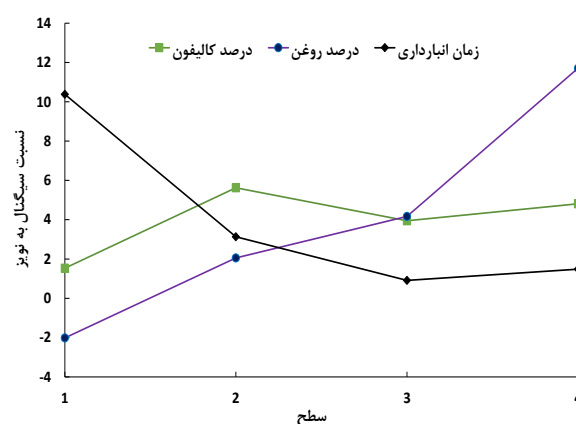
یکی دیگر از شاخص‌های مورد بررسی، تأثیر مدت‌زمان انبارداری بر افت وزنی تخم مرغ بود. اثر این عامل در چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مدت‌زمان انبارداری، افت وزنی تخم مرغ به‌صورت معنی‌دار افزایش می‌یابد. این پدیده عمدتاً ناشی از تبخیر تدریجی رطوبت تخم مرغ از طریق منافذ پوسته در طول دوره نگهداری است [۲۴]. بنابراین، هرچه مدت‌زمان انبارداری طولانی‌تر شود، تخم مرغ وزن بیشتری از دست می‌دهد. با این وجود کاهش مای نگهداری می‌تواند میزان افت وزنی را به شدت کاهش دهد ولی نمی‌تواند مانع آن شود [۲۱].

۳-۲- تأثیر عوامل مؤثر بر واحدها

واحدها یکی از معتبرترین معیارهای سنجش تازگی و کیفیت داخلی تخم مرغ است که بر اساس رابطه وزن تخم مرغ و ارتفاع آلبومین محاسبه می‌شود؛ مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده کیفیت بهتر سفیده است [۱۲، ۲۱].

نتایج تحلیل واریانس پاسخ واحدها در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس این تحلیل، عامل مدت‌زمان انبارداری با بیشترین

در ارزیابی هر سه پاسخ افت وزنی، واحدها و شاخص زرده، از شاخص نسبت سیگنال به نویز^۱ (SN) استفاده شده است. برای همه پاسخ‌ها - اعم از مواردی که افزایش مقدار آن‌ها مطلوب است (مانند واحدها) یا مواردی که کاهش مقدار آن‌ها بهتر است (مانند افت وزنی) - هرچه مقدار SN بالاتر باشد، پاسخ در وضعیت بهینه‌تری قرار می‌گیرد.



شکل (۱): تأثیر عوامل مؤثر بر افت وزنی تخم مرغ (نسبت سیگنال به نویز) در این مطالعه، تأثیر غلظت کالیفون بر میزان افت وزنی تخم مرغ در مقادیر ۱، ۲، ۳ و ۴ درصد وزنی/وزنی بررسی شد. نسبت سیگنال به نویز مربوط به افت وزنی برای سطوح مختلف کالیفون در شکل (۱) ارائه شده است. نتایج نشان داد که افزایش غلظت کالیفون تا سطح ۲ درصد تأثیر مثبت و معنی‌داری در کاهش افت وزنی تخم مرغ دارد، اما افزایش غلظت بیش از این مقدار (۳ و ۴ درصد) تأثیر قابل‌توجهی بر کاهش بیشتر افت وزنی نشان نداد. کاهش افت وزنی در تخم مرغ‌های پوشش‌دهی شده احتمالاً به دلیل مسدود شدن منافذ پوسته و کاهش نفوذپذیری آن به رطوبت است [۲۳، ۲۲] ولی در مقادیر بیشتر کالیفون ممکن است غلظت بالای کالیفون مانع از توزیع بهینه آن روی سطح پوسته شده است.

¹ Signal-to-noise

با توجه به مقادیر P کمتر از ۰/۰۵ برای هر سه عامل اصلی (زمان نگهداری، درصد روغن نارگیل و درصد کالیفون)، اثر تمام این عوامل بر واحدها در سطح اطمینان ۹۵٪ کاملاً معنی دار بود.

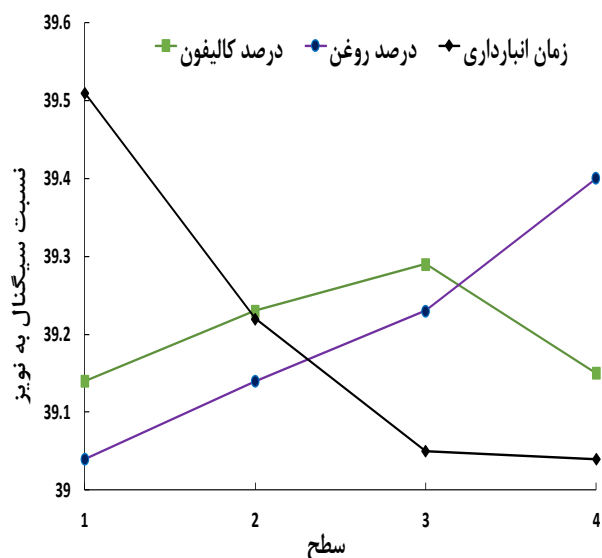
مقدار F و کمترین مقدار P، بالاترین سهم و تأثیر را در کاهش واحدها داشت و به عنوان مهم ترین عامل تعیین کننده کیفیت سفیده شناخته شد. پس از آن، به ترتیب درصد روغن نارگیل و درصد کالیفون مؤثرترین عوامل در کند کردن سرعت افت واحدها (حفظ کیفیت سفیده) بودند.

جدول (۵): تحلیل واریانس واحدها و تخم مرغ ها

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع مربعات تعدیل شده	میانگین مربعات تعدیل شده	آماره F	P
درصد کالیفون	۳	۰/۰۶۳۱۵	۰/۰۶۳۱۵	۰/۰۲۱۱۰۵۰	۵/۷۴	۰/۰۳۴
درصد روغن نارگیل	۳	۰/۲۷۷۸۷	۰/۲۷۷۸۷	۰/۰۹۲۶۲۴	۲۵/۲۵	۰/۰۰۱
زمان انبارداری (هفته)	۳	۰/۵۷۵۶۸	۰/۵۷۵۶۸	۰/۱۹۱۸۹۵	۵۲/۳۱	۰/۰۰۰
خطای باقیمانده	۶	۰/۰۲۲۰۱	۰/۰۲۲۰۱	۰/۰۰۳۶۶۸		
کل	۱۵	۰/۹۳۸۷۲				

تأثیر غلظت روغن نارگیل نیز در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی/وزنی مورد مطالعه قرار گرفت. میانگین پاسخ های واحدها در شکل (۲) نشان می دهد که بیشترین مقدار این شاخص در سطح چهارم یعنی ۴ درصد وزنی روغن نارگیل حاصل شده است. افزودن روغن نارگیل تا ۴ درصد به طور مؤثری از کاهش ارتفاع آلبومین جلوگیری کرده و کیفیت سفیده را در طول دوره نگهداری بهتر حفظ نمود. حضور روغن نارگیل در پوشش به دلیل ماهیت غیرقطبی که دارد تبادلات رطوبتی و کالیفون به دلیل ماهیت قطبی که دارد تبادلات دی اکسید کربن را به شدت محدود می کند [۲۷]. این ساختار باعث کند شدن روند افزایش pH و حفظ ساختار پروتئینی سفیده و در نتیجه نگهداری واحدها در سطح بالاتر می شود.

تأثیر غلظت کالیفون در چهار سطح ۰، ۱، ۲، ۴ و ۶ درصد وزنی/وزنی بر واحدها بررسی گردید. نسبت سیگنال به نویز مربوط به واحدها برای سطوح مختلف کالیفون در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد (بالاترین واحدها) در سطح سوم کالیفون یعنی ۴ درصد وزنی به دست آمد. افزایش غلظت کالیفون تا ۴ درصد به طور معنی داری باعث حفظ ارتفاع آلبومین و در نتیجه افزایش واحدها شد، اما افزایش بیشتر تا ۶ درصد تأثیر مثبت نداشت. ترکیب کالیفون-روغن عملکرد بهتری در ممانعت از خروج دی اکسید کربن نشان می دهد با این وجود، افزایش بیشتر درصد کالیفون این ویژگی را کاهش می دهد. به نظر می رسد افزایش غلظت کالیفون اگرچه باعث تشکیل پوشش ضخیم تری بر روی پوسته می شود ولی با افزایش غلظت کالیفون ویسکوزیته پوشش افزایش می یابد و مانع از پوشش دهی یکنواخت روی پوسته می شود.



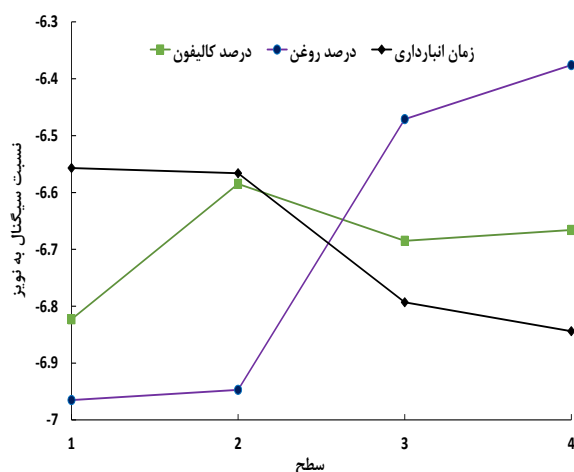
شکل (۲): تأثیر عوامل مؤثر بر واحدها و تخم مرغ (نسبت سیگنال به نویز) اثر مدت زمان انبارداری در چهار سطح ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ هفته در شکل (۲) نشان داده شده است. نتایج به وضوح حاکی از آن است که با افزایش مدت زمان نگهداری، واحدها صورت کاملاً معنی دار کاهش می یابد. این کاهش عمدتاً به دلیل خروج تدریجی گاز دی اکسید کربن از طریق منافذ پوسته و در نتیجه افزایش pH آلبومین رخ می دهد. افزایش pH باعث مختل شدن برهمکنش های الکترواستاتیک بین اووموسین و لیزوزیم سفیده تخم مرغ، کاهش گرانروی سفیده و در نهایت کاهش ارتفاع آلبومین و افت واحدها می شود. این پدیده به عنوان مهم ترین شاخص کاهش کیفیت داخلی تخم مرغ در طول دوره نگهداری شناخته شده و در تحقیقات متعدد تأیید شده است [۲۱، ۲۵، ۲۶].

۳-۳- تأثیر عوامل مؤثر بر شاخص زرده

شاخص زرده یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش تازگی و کیفیت زرده تخم مرغ است. این شاخص از نسبت ارتفاع زرده به عرض آن (در حالت قرارگیری تخم مرغ به صورت افقی) محاسبه می‌شود و نشان‌دهنده حفظ شکل کروی طبیعی زرده است. با افزایش مدت نگهداری، غشای ویتلینی^۱ (غشای زرده) به تدریج ضعیف شده و به دلیل انتقال آب و مواد محلول از آلبومین به داخل زرده، زرده آبکی تر و پهن تر می‌شود. در تخم مرغ تازه شاخص زرده بیش از ۰/۴۵ است ولی با گذشت زمان، شاخص زرده به طور پیش‌رونده‌ای کاهش می‌یابد. نتیجه به دست آمده مشابه با پژوهش‌های قبلی است که در این زمینه انجام گرفته است [۲۱، ۲۵، ۲۸، ۲۹].

جدول (۶): تحلیل واریانس شاخص زرده تخم مرغ‌ها

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	مجموع مربعات تعدیل شده	میانگین مربعات تعدیل شده	آماره F	P
درصد کالیفون	۳	۰/۱۱۷۸	۰/۱۱۷۸	۰/۰۳۹۲۸	۰/۷۳	۰/۵۶۸
درصد روغن نارگیل	۳	۱/۱۵۳۹	۱/۱۵۳۹	۰/۳۸۴۶۲	۷/۲۰	۰/۰۲۱
زمان انبارداری (هفته)	۳	۰/۲۶۹۳	۰/۲۶۹۳	۰/۰۸۹۷۸	۱/۶۸	۰/۲۶۹
خطای باقیمانده	۶	۰/۳۲۰۷	۰/۳۲۰۷	۰/۰۵۳۴۵		
کل	۱۵	۱/۱۸۱۷				



شکل (۳): تأثیر عوامل مؤثر بر شاخص زرده تخم مرغ (نسبت سیگنال به نویز)

تأثیر غلظت روغن نارگیل در چهار سطح ۰، ۱، ۲ و ۴ درصد وزنی/ وزنی بر شاخص زرده تخم مرغ به صورت میانگین سیگنال به نویز پاسخ‌ها در شکل (۳) ارائه شده است.

به این ترتیب، ترکیب بهینه برای بیشینه‌سازی واحدها و حفظ طولانی‌مدت کیفیت سفیده تخم مرغ، استفاده همزمان از ۴ درصد وزنی کالیفون و ۴ درصد وزنی روغن نارگیل در محلول پوشش دهی است.

به طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که پوشش دهی تخم مرغ با ترکیب پیشنهادی به طور معنی داری قادر است با ممانعت از خروج دی اکسید کربن و رطوبت، از افزایش بیش از حد pH آلبومین جلوگیری کرده و در نتیجه افت واحدها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد و کیفیت داخلی تخم مرغ را در طول دوره انبارداری حفظ نماید.

نتایج تحلیل واریانس پاسخ شاخص زرده (جدول ۶) نشان داد که درصد روغن نارگیل در پوشش تنها عاملی بود که تأثیر کاملاً معنی دار ($P=0/021$) بر شاخص زرده داشت. افزودن روغن نارگیل احتمالاً با ایجاد مانع مؤثر در برابر انتقال دی اکسید کربن آلبومین و افزایش pH آلبومین و آبکی شدن سفیده تخم مرغ از کاهش شاخص زرده جلوگیری کرده است. در مقابل، درصد کالیفون و زمان انبارداری تأثیر معنی داری بر شاخص زرده نداشتند ($P>0/05$). این در حالی است که پژوهش‌های پیش از این نشان داده است که اگرچه شاخص زرده در دمای یخچال حتی تا حدود دو ماه بدون تغییر باقی می‌ماند ولی در دمای اتاق با گذشت زمان به شدت افت می‌کند [۲۱]. از سوی دیگر استفاده از بیوکامپوزیت‌های حاوی لیپیدها می‌توانند حتی در دمای اتاق نرخ تغییرات شاخص زرده را به شدت کاهش دهد [۱۲]. تحلیل واریانس طرح تاگوچی توانسته است تأثیر گذارترین عامل در حفظ شاخص زرده را به خوبی مشخص کند.

¹ Vitelline membrane

۴- نتیجه‌گیری

تحلیل داده‌های حاصل از طرح تاگچی نشان داد که تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل (غلظت کالیفون، غلظت روغن نارگیل و زمان نگهداری) بر شاخص‌های کیفیت تخم‌مرغ یکسان نیست و انتخاب پوشش بهینه باید بر اساس اولویت صنعتی انجام شود. برای کاهش حداکثری افت وزنی که مهم‌ترین پارامتر در صادرات و نگهداری طولانی‌مدت است، غلظت روغن نارگیل بیشترین نقش را داشت و ترکیب بهینه شامل ۲ درصد کالیفون همراه با ۴ درصد روغن نارگیل تعیین گردید. در مقابل، برای حفظ واحدها به‌عنوان شاخص اصلی تازگی سفیده، زمان نگهداری تأثیرگذارترین عامل بود، اما در میان ترکیبات پوششی، محلول حاوی ۴ درصد کالیفون و ۴ درصد روغن نارگیل بالاترین مقدار این شاخص را در دوره نگهداری نشان داد. همچنین شاخص زرده تنها تحت تأثیر معنی‌دار روغن نارگیل قرار گرفت و بهترین مقدار آن در غلظت ۴ درصد روغن نارگیل مشاهده شد که نشان‌دهنده حفظ شکل کروی زرده و استحکام غشای ویتلینی است.

از دیدگاه کاربردی، پوشش پیشنهادی بر پایه ۴ درصد کالیفون، ۴ درصد روغن نارگیل و ۹۲ درصد اتانول با حدود ۰/۵ تا ۱ گرم محلول مصرفی به ازای هر تخم‌مرغ، ضمن کاهش معنی‌دار بار میکروبی سطح پوسته به‌گونه‌ای که پس از پوشش‌دهی هیچ کلنی قابل شمارشی در محیط کشت رشد نکرد، توانست شاخص واحدها و شاخص زرده را حتی پس از چهار هفته نگهداری در دمای محیط در سطح تخم‌مرغ تازه حفظ کند. هرچند که برای کمینه کردن افت وزنی، ترکیب ۲ درصد کالیفون با ۴ درصد روغن نارگیل بهینه‌تر است، اما در عمل و برای اهداف چندمنظوره، پوشش حاوی ۴ درصد از هر دو ماده انتخاب منطقی‌تری محسوب می‌شود. بررسی اقتصادی نشان داد که با احتساب حدود ۱ گرم پوشش به ازای هر تخم‌مرغ و قیمت مواد اولیه، هزینه کل پوشش‌دهی کمتر از ۲ درصد قیمت فروش تخم‌مرغ است که با توجه به افزایش ماندگاری تا چهار هفته در دمای محیط بدون نیاز به زنجیره سرد و کاهش حدود ۳ درصدی افت وزنی در بازه دو هفته، این روش از نظر اقتصادی کاملاً توجیه‌پذیر است.

این مطالعه دارای محدودیت‌هایی است که باید در پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد؛ از جمله آن‌ها می‌توان به عدم ارزیابی تأثیر پوشش بر ویژگی‌های حسی تخم‌مرغ پس از پخت مانند طعم، بو و بافت اشاره کرد. همچنین پایداری پوشش در دماهای بالاتر از ۲۵ درجه سلسیوس به ویژه در مناطق گرمسیری نیاز به بررسی دارد و سازوکار دقیق برهمکنش کالیفون و روغن نارگیل در سطح منافذ پوسته و اثر هم‌افزایی آن‌ها بر نفوذپذیری گازها به طور کامل روشن

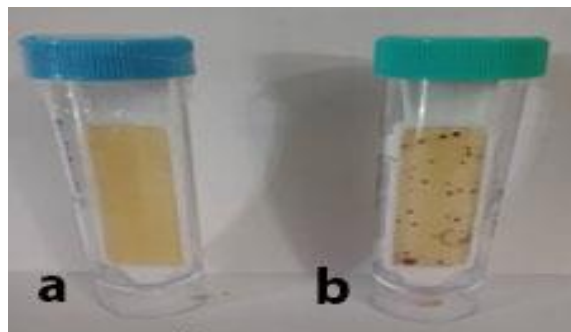
نتایج نشان داد که بالاترین مقدار شاخص زرده (بهترین حفظ شکل کروی و استحکام غشای زرده) در سطح چهارم، یعنی ۴ درصد وزنی روغن نارگیل به‌دست آمده است.

بنابراین، برای حفظ همزمان کیفیت سفیده (واحدها) و کیفیت زرده (شاخص زرده) در طول دوره نگهداری، افزودن ۴ درصد روغن نارگیل به ترکیب پوشش ضروری و بسیار مؤثر است، در حالی که کالیفون در کاهش افت وزنی و حفظ کیفیت سفیده تخم‌مرغ اهمیت دارد.

۳-۴- بررسی کشت میکروبی

اسلایدهای MicrobCheck™ TBC امکان شمارش سریع تعداد کل میکروارگانیسم‌های هوازی مزوفیل^۱ را فراهم می‌کنند. وجود ماده رنگ‌نما (تری‌فنیل تترازیلیوم کلراید)^۲ در محیط کشت این اسلایدها، با دریافت الکترون در زنجیره تنفس هوازی باکتری‌ها، به فرمازان قرمز رنگ احیا می‌شود و در نتیجه کلنی‌های باکتریایی به‌راحتی به رنگ قرمز درمی‌آیند که شمارش را بسیار آسان‌تر می‌کند.

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است پوشش کالیفون-روغن نارگیل به وضوح توانسته است بار میکروبی سطح پوسته تخم‌مرغ را کاهش دهد به نحوی که پس از پوشش‌دهی تخم‌مرغ هیچ باکتری زنده‌ای که قادر به رشد بر روی محیط کشت بر روی پوسته شناسایی نشده است. این امر حاکی از اثر ضد میکروبی شدید پوشش مذکور بر میکروارگانیسم‌های موجود بر سطح پوسته است. اگرچه پژوهش‌های پیش از این خصوصیات ضد میکروبی کالیفون [۳۰] و لوریک اسید [۳۱، ۳۲] موجود در روغن نارگیل را به وضوح تأیید کرده است. ولی همراهی این دو با اتانول به عنوان یک ماده با خاصیت ضد میکروبی بسیار شدید و سریع، مانع از آن می‌شود که در این پژوهش بتوان به صراحت در مورد خاصیت ضد میکروبی کالیفون-روغن نارگیل اظهار نظر کرد.



شکل (۴): شمارش کلی باکتری‌های هوازی مزوفیل پوسته تخم‌مرغ، (a) تخم‌مرغ پوشش داده شده (b) تخم‌مرغ بدون پوشش

¹ Total Aerobic Mesophilic Count

² Tri phenyl chloride

- [13] V. Falguera, J. P. Quintero, A. Jiménez, J. A. Muñoz, and A. Ibarz, "Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use," *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, no. 6, pp. 292-303, 2011.
- [14] A. M. Downs and J. E. Sansom, "Colophony allergy: a review," ed: Wiley Online Library, 1999.
- [15] K. N. Tahsin, A. Rizkalla, and P. Charpentier, "Antimicrobial Materials Used in Coating Dental Implant Surfaces: State of the Art and Future Prospectives," *Materials*, vol. 19, no. 2, p. 403, 2026.
- [16] P. Suppakul, K. Jutakorn, and Y. Bangchokdee, "Efficacy of cellulose-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs," *Journal of Food Engineering*, vol. 98, no. 2, pp. 207-213, 2010.
- [17] R. Haugh, "The Haugh unit for measuring egg quality," 1937.
- [18] R. Cunningham, "Egg-product pasteurization," in *Egg science and technology*: CRC Press, 2017, pp. 289-321.
- [19] D. Jones and M. Musgrove, "Effects of extended storage on egg quality factors," *Poultry science*, vol. 84, no. 11, pp. 1774-1777, 2005.
- [۲۰] ع. نوبخت، "اثرات طول مدت، محل و وضعیت نگهداری تخم‌مرغ‌های خوراکی در یخچال‌های خانگی بر صفات کیفی، صفات پوسته و شاخص‌های بیوشیمیایی زرده تخم‌مرغ" پژوهش‌های تولیدات دامی، جلد ۱۴، شماره ۱، ۲۷-۲۱، ۱۴۰۲.
- [۲۱] ف. کولیوند، ا. شهابی قهفرخی، ر. پورعطا و ع. مرادی "تخمین ماندگاری تخم مرغ در شرایط نگهداری مختلف با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی" پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۳۵، شماره ۳، ص ۵۲-۴۳، ۱۴۰۴.
- [22] A. Sharaf Eddin and R. Tahergorabi, "Efficacy of sweet potato starch-based coating to improve quality and safety of hen eggs during storage," *Coatings*, vol. 9, no. 3, p. 205, 2019.
- [23] Y. Park, I. Yoo, K. Jeon, H. Kim, E. Chang, and H. Oh, "Effects of various eggshell treatments on the egg quality during storage," *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, vol. 16, no. 8, pp. 1224-1229, 2003.
- [24] E. Derelioglu and Ö. Turgay, "Effect of chitosan coatings on quality and shelf-life of chicken and quail eggs," *African Journal of Food Science*, vol. 16, no. 3, pp. 63-70, 2022.
- [۲۵] ج. اصفهانی، ا. شهابی قهفرخی و ر. پورعطا، "بررسی تأثیر پوشش دهی تخم‌مرغ با استفاده از بیوپلیمر نشاسته-اسید اولئیک اصلاح شده با پرتو فرابنفش بر افزایش کیفیت و ماندگاری تخم‌مرغ" پژوهش‌های صنایع غذایی، جلد ۳۱، شماره ۱، ص ۸۱-۶۷، ۱۴۰۰.
- [26] X. Sheng et al., "A combined approach using slightly acidic electrolyzed water and UV exposure to improve egg internal quality during storage," *Poultry Science*, vol. 99, no. 11, pp. 6007-6012, 2020.
- [27] Z. Didar, "Effects of coatings with pectin and Cinnamomum verum hydrosol included pectin on physical characteristics and shelf life of chicken eggs stored at 30 °C," *Nutrition and Food Sciences Research*, vol. 6, no. 4, pp. 39-45, 2019.
- [28] C. Caner and M. Yüceer, "Efficacy of various protein-based coating on enhancing the shelf life of fresh eggs during storage," *Poultry science*, vol. 94, no. 7, pp. 1665-1677, 2015.
- [29] F. Silversides, Scott, and TA, "Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens," *Poultry science*, vol. 80, no. 8, pp. 1240-1245, 2001.
- [30] Z. Ke, J. Yu, L. Liao, and X. Rao, "Application progress of rosin in food packaging: A review," *International Journal [2] of Biological Macromolecules*, vol. 280, p. 135900, 2024.
- [31] Y. Seo et al., "Membrane-disrupting medium-chain fatty acids reduce Staphylococcus aureus persister cell survival during antibiotic treatment," *International Journal of Antimicrobial Agents*, p. 107648, 2025.
- [32] B. K. Yoon and J. A. Jackman, "Medium-chain fatty acids and monoglycerides: Nanoarchitectonics-based insights into molecular self-assembly, membrane interactions, and applications," *Advances in Colloid and Interface Science*, vol. 340, p. 103465, 2025.

نشده است. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی اثر پوشش بهینه در دماها و رطوبت‌های نسبی متفاوت، امکان جایگزینی اتانول با حلال‌های خوراکی با درجه سمیت کمتر، انجام آزمایش‌های چالش میکروبی با سویه‌های پاتوژن، و مطالعات اقتصادی مقایسه‌ای با پوشش‌های تجاری موجود در خطوط واقعی تولید مورد بررسی قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان از دانشگاه زنجان به خاطر حمایت‌های مالی این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌کنند. این حمایت‌ها نقش کلیدی در اجرای موفق آزمایش‌ها و دستیابی به نتایج ارزشمند ایفا کرده است.

۵- مراجع

- [۱] ج. پورابرهیم کاسمانی، د. خادمی شورمستی و ا. ثمری‌ها "کاربرد لفاف‌های زیست تخریب‌پذیر بر پایه پلی‌ساکارید در بسته‌بندی تخم مرغ" مجله علوم و فنون بسته‌بندی، دوره ۱۴، شماره ۵۵، ص ۶۲-۱۷، ۱۴۰۲.
- [2] M. Ehsan and D. Khademi Shurmasti, "Effect of washing and active nanocomposite coating of carboxymethyl cellulose-nanoclay containing marjoram extract (*Origanum vulgare* L) on egg quality during storage at ambient temperature," *Journal of food science and technology (Iran)*, vol. 18, no. 118, pp. 107-118, 2021.
- [3] S. Réhault-Godbert, N. Guyot, and Y. Nys, "The golden egg: nutritional value, bioactivities, and emerging benefits for human health," *Nutrients*, vol. 11, no. 3, p. 684, 2019.
- [4] L. Xu, H. Zhang, X. Lv, Y. Chi, Y. Wu, and H. Shao, "Internal quality of coated eggs with soy protein isolate and montmorillonite: Effects of storage conditions," *International Journal of Food Properties*, vol. 20, no. 8, pp. 1921-1934, 2017.
- [5] A. A. SHARIFI and S. D. Khademi, "Effect of Ccarboxymethyl Cellulose-based Nanocomposite Coating on Internal Quality and Eggshell Morphology During Storage at Ambient Temperature," 2022.
- [6] R. K. Gast, D. K. Dittoe, and S. C. Ricke, "Salmonella in eggs and egg-laying chickens: pathways to effective control," *Critical Reviews in Microbiology*, vol. 50, no. 1, pp. 39-63, 2024.
- [7] T. A. Shittu and O. Ogunjinmi, "Effect of low cost shell coatings and storage conditions on the raw and cooked qualities of shell egg Efecto de recubrimientos de cascara de bajo coste y de las condiciones de almacenaje sobre la calidad de huevos crudos y cocinados," *CyTA- Journal of Food*, vol. 9, no. 1, pp. 1-7, 2011.
- [8] D. Xu, J. Wang, D. Ren, and X. Wu, "Effects of chitosan coating structure and changes during storage on their egg preservation performance," *Coatings*, vol. 8, no. 9, p. 317, 2018.
- [9] D. S. d. Almeida, A. F. Schneider, F. M. Yuri, B. D. Machado, and C. E. Gewehr, "Métodos de tratamento de casca sobre a qualidade de ovos comerciais," *Ciência Rural*, vol. 46, pp. 336-341, 2016.
- [10] G. d. S. Oliveira, C. McManus, P. G. d. S. Pires, and V. M. dos Santos, "Combination of cassava starch biopolymer [2] and essential oils for coating table eggs," *Frontiers in Sustainable Food Systems*, vol. 6, p. 957229, 2022.
- [11] C. Caner, B. M. Coşkun, and M. Yüceer, "Chitosan coatings and chitosan nanocomposite to enhance the storage stability of fresh eggs during storage," *Journal of Food Processing and Preservation*, vol. 46, no. 7, p. e16642, 2022.
- [۱۲] ج. اصفهانی، ا. شهابی قهفرخی و ر. پورعطا، "اصلاح نوری کامپوزیت نشاسته-اسید اولئیک به عنوان فیلم زیست‌تخریب‌پذیر در بسته‌بندی مواد غذایی" مهندسی بیوسیستم ایران، جلد ۵۱، شماره ۳، ص ۶۵۴-۶۴۳، ۱۳۹۹.