



نشریه علمی پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران



جلد ۲۱ شماره ۱
سال ۱۴۰۴

شاپا: ۴۱۶۱-۱۷۳۵

شماره پیاپی ۹۱

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- ۳ بهبود خواص تغذیه‌ای و کاهش جذب روغن دونات با استفاده از آرد کینوای ساپونین‌زدایی
مهتاب مرادنیا-اکرم آریان‌فر-علی محمدی ثانی-زهره شیخ‌الاسلامی
- ۱۵ تأثیر پوشش کیتوزان با درجات مختلف استیل‌زدایی در ماندگاری قارچ دکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*)
هدی قربانزاده-جعفر محمد زاده میلانی-علی معتمدزادگان
- تهیه نانونیوزوم در غلظت‌های مختلف کلسترول با روش هیدراتاسیون لایه نازک برای نانوریز پوشانی
ترکیبات پلی‌فنلی خالص ۳۱
زهره گنجه سلطان‌آبادی-رضوان شاددل-یونس زاهدی
- افزایش عمر ماندگاری فیله ماهی (*Epinephelus coioides*) با پوشش زیست‌تخریب‌پذیر کیتوزان/موسیلاژ
چیا حاوی عصاره روناس (*Rubia tinctorum* L.) ۴۹
مرجان نوری
- اثر ژل آلوه‌ورا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی سس مایونز کم‌چرب ۶۳
مریم اکبری-محمد جواد وریدی-مهدی وریدی-هانیه یاربی
- کاربرد قبل و بعد از برداشت پوشش‌های خوراکی بر ویژگی‌های کیفی میوه سیب رقم گلدن دلشز
..... ۸۱ (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)
فاطمه عینی تاری-عبداله احتشام‌نیا-حسن مومیند-محمد رضا راجی
- بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی فیلم خوراکی ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز حاوی
عصاره کندل کوهی (*Dorema aucheri*) ۱۰۵
الهام احمدی-سارا پناهی-امیرحسین کریم زاده-حامد حسن زاده-محمدیار حسینی
- تأثیر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم ساب‌رینا در طی انبار سرد ۱۲۱
کریم منداحکی-حمید حسن‌پور

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران

با شماره پروانه ۱۲۴/۸۴۷ و درجه علمی-پژوهشی شماره ۳/۱۱/۸۱۰ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
"براساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴

شماره ۱

جلد ۲۱

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر ناصر شاهنوشی

سردبیر: دکتر مسعود پاورمنش

اعضای هیئت تحریریه:

استاد، میکروبیولوژی و بیوتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سید علی مرتضوی
استاد، میکروبیولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر فخری شهیدی
استاد، میکروبیولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محمدباقر حبیبی نجفی
دانشیار، میکروبیولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر مرتضی خمیری
استاد، مهندسی و خواص بیوفیزیک مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر سید محمد علی رضوی
استاد، شیمی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر رضا فرهوش
استاد، میکروبیولوژی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد	دکتر بی بی صدیقه فضلی بزاز
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان	دکتر مهدی کاشانی نژاد
استاد، تکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر آرش کوچکی
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد	دکتر محبت محبی
استاد، مهندسی مواد غذایی، دانشگاه تبریز	دکتر بابک قنبرزاده
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف	دکتر ایران عالمزاده
دانشیار، نانو فناوری مواد غذایی، مؤسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد	دکتر قدیر رجبزاده اوغاز
دانشیار، زیست مولکولی، بیمارستان زنان و بزرگام، ایالت متحده آمریکا	دکتر مهیار حیدرپور
دانشیار، میکروبیولوژی غذایی، دانشگاه متروپولیتن لندن	دکتر حمید بهادر قدوسی
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی	دکتر کیانوش خسروی
استاد، مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه آریزونا	دکتر مرتضی عباسزادگان
استاد، مهندسی تولید مواد غذایی، دانشگاه فنی دانمارک	دکتر محمدامین محمدیفر
استاد، بیوتکنولوژی مواد غذایی، دانشگاه صنعتی شریف	دکتر منوچهر وثوقی
دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه	دکتر هادی الماسی
دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه صنعتی اصفهان	دکتر میلاد فتحی
استاد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه تربیت مدرس	دکتر سلیمان عباسی
استاد، گروه علوم تغذیه و مواد غذایی، دانشگاه پورتو، پرتغال	دکتر نونو بورخس
دانشیار، گروه علوم مولکولی، دانشکده منابع طبیعی و علوم کشاورزی، دانشگاه سوئد	دکتر علی عطا معظمی
دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشگاه کشاورزی مایکل اوکپارا، ایالت ابیا، نیجریه	دکتر کلیفورد نکمناسو اوبی
دانشیار گروه فناوری غذایی، مؤسسه تکنولوژی و علم هندوستان، چنای، تامیل نادو، هند	دکتر ساموئل ایوفمی اولالکان آدیبه

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

این نشریه در پایگاههای زیر نمایه شده است:

AGRIS, Scopus, CABI, DOAJ, EBSCO, Google scholar, Internet Archive, پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC), سامانه نشریات علمی ایران, پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID), بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN), مرجع دانش CIVILICA

پست الکترونیکی: ifstrj@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://ifstrj.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه به تعداد ۶ شماره در سال و به صورت آنلاین منتشر می شود.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۳ بهبود خواص تغذیه‌ای و کاهش جذب روغن دونات با استفاده از آرد کینوای ساپونین‌زدایی
مهتاب مرادنیا-اکرم آریان‌فر-علی محمدی ثانی-زهرا شیخ‌الاسلامی
- ۱۵ تأثیر پوشش کیتوزان با درجات مختلف استیل‌زدایی در ماندگاری قارچ دکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*)
هدی قربانزاده-جعفر محمد زاده میلانی-علی معتمدزادگان
- ۳۱ تهیه نانونیوزوم در غلظت‌های مختلف کلسترول با روش هیدراتاسیون لایه نازک برای نانوریز پوشانی ترکیبات پلی‌فنی خالص
زهره گنجه سلطان‌آبادی-رضوان شاددل-یونس زاهدی
- ۴۹ افزایش عمر ماندگاری فیله ماهی (*Epinephelus coioides*) با پوشش زیست‌تخریب‌پذیر کیتوزان/موسیلاژ چیا حاوی عصاره روناس
(*Rubia tinctorum* L.)
مرجان نوری
- ۶۳ اثر ژل آلون‌ه‌ورا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی، بافتی و حسی سس مایونز کم‌چرب
مریم اکبری-محمد جواد وریدی-مهدی وریدی-هانیه یاربی
- ۸۱ کاربرد قبل و بعد از برداشت پوشش‌های خوراکی بر ویژگی‌های کیفی میوه سیب رقم گلدن دلشیز (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)
فاطمه عینی تازی-عبداله احتشام‌نیا-حسن مومیوند-محمد رضا راجی
- ۱۰۵ بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی فیلم خوراکی ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز حاوی عصاره کندل کوهی (*Dorema aucheri*)
الهام احمدی-سارا پناهی-امیرحسین کریم زاده-حامد حسن زاده-محمدیار حسینی
- ۱۲۱ تأثیر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی انبار سرد
کریم منداحکی-حمید حسن‌پور

Improving the Nutritional Properties and Reducing the Oil Absorption of Donut Using Saponinized Quinoa Flour

M. Morad Nia¹, A. Arianfar^{1*}, A. Mohammadi Sani¹, Z. Sheikholeslami²

1- Department of Food Science and Technology, Quchan Branch, Islamic Azad University, Quchan, Iran

(*- Corresponding Author Email: a_aria_1443@yahoo.com)

2- Associate Professor of Agricultural Engineering Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashad, Iran

Received: 04.10.2022
Revised: 28.03.2023
Accepted: 27.04.2023
Available Online: 29.04.2023

How to cite this article:

Morad Nia, M., Arianfar, A., Mohammadi Sani, A., & Sheikholeslami, Z. (2025). Improving the nutritional properties and reducing the oil absorption of donut using saponinized quinoa flour. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 1-12. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.78044.1195>

Introduction

Donut is a type of sweet fried snack which is usually produced from leavened and deep fried dough. The deliciousness and high energy of donut has made it very popular among sweet products made from wheat flour. The sensitivity of wheat flour to weather conditions as well as bad economic conditions in recent years led to performing research to replace wheat flour with other grains. Quinoa is a rich source of protein (the essential amino acids lysine, methionine, cysteine, and threonine), magnesium, fiber, vitamin B, potassium, and other minerals such as iron. Quinoa seeds have less starch than other grains (wheat, barley, corn, and rice). The value of dietary fiber in quinoa is much more in comparison to other grains, it had about 31% insoluble fiber. Also, as a source of phytoestrogens, it prevents cancer, cardiovascular diseases, and osteoporosis. The main problem with quinoa to be used for human diet is the presence of saponin in the outer shell of the seed. Saponins are considered anti-nutritional agents due to their hemolytic activity on red blood cells, bitterness, foaming ability, and inhibition of enzymes. Therefore, the most important step for using quinoa in food products is to remove saponin. The other problem with using saponin is its too bitterness hence causing bloating and heartburn. This study aimed to choose the best saponinization method from quinoa and the possibility of using the saponinized quinoa instead of wheat in donut formulation and investigate the quality, texture, and sensory properties of the donuts.

Materials and Methods

The methods for saponin removal include (maceration, microwave, ultrasound, wet method, and a combination of wet and dry methods) were compared. Donuts were produced with quinoa flour at two levels of 20 and 40% substitution. The Fiber, ash, and protein values of wheat flour, saponinized quinoa flour, and donuts with different levels of saponinized quinoa flour were measured. The effect of replacement wheat flour with saponinized quinoa flour on oil absorption, texture, SEM, and sensory properties of donuts was evaluated.

Results and Discussion

A comparison between different methods of saponinization indicated that the ultrasound method had the minimum efficiency in saponin removal and the highest amount of saponin removal was in the combined wet and dry methods, followed by the maceration method. The difference between the combined method and maceration was not significant and had the most influence in extracting saponin from quinoa flour. Of course, the maceration method is economically important due to the long time of the process and production of a lot of waste water leading to loss of nutrients from quinoa. The highest amount of protein, fiber, and ash was obtained in saponinized quinoa flour and a donut containing 40% quinoa flour. The amount of firmness, elasticity, SEM, and sensory properties



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.78044.1195>

in the sample with 20% quinoa flour had similar characteristics to the control sample, but increasing the amount of quinoa flour reduced these factors. The oil absorption percentage in donuts containing 40% quinoa flour was higher than in other samples. The results of using saponinized quinoa flour on the sensory characteristics (color crust and crumbs, taste, smell, texture and overall acceptance) of donuts showed that donut with 20% quinoa was similar to the control sample and was acceptable for panelists but increased the concentration up to 40% wasn't pleasant.

Conclusion

In this study, the saponinized quinoa flour used in donut formulation to increase the nutritional value and reduced the calories of donuts also overcame the challenges of wheat shortage. The saponinization methods were compared to choose the method with the highest saponin removal. Then donut with saponinized quinoa flour was prepared. The use of saponinized quinoa flour as a replacement of wheat flour increased the nutritional value of donuts. Adding saponinized quinoa flour to the donuts formulation significantly declined the oil absorptions. Generally, the donuts containing saponinized quinoa flour had relatively similar sensory properties to the donuts with wheat flour (commercial donuts). Therefore, it seems that saponinized quinoa flour could be used successfully to improve the nutritional value of donuts and also consumers' acceptance.

Keywords: Donuts, Nutritional properties, Oil absorption, Quinoa flour, Saponinization

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۲-۱

بهبود خواص تغذیه‌ای و کاهش جذب روغن دونات با استفاده از آرد کینوای ساپونین‌زدایی

مهتاب مرادنیا^۱ ID، اکرم آریان‌فر^{۱*} ID، علی محمدی ثانی^۱ ID، زهرا شیخ‌الاسلامی^۲ ID

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷

چکیده

در سال‌های اخیر میزان تقاضا به محصولات پخت بعنوان میان وعده افزایش داشته است. آرد گندم از نظر اسیدهای آمینه و برخی مواد معدنی ضعیف است اما ترکیب آن با آرد سایر غلات سبب افزایش ویژگی‌های تغذیه‌ای محصولات می‌گردد. این پژوهش با هدف مقایسه روش‌های ساپونین‌زدایی از آرد کینوا و بررسی اثر جایگزینی آرد ساپونین‌زدایی شده بر کیفیت و ویژگی‌های تغذیه‌ای دونات انجام شد. میزان حذف ساپونین به روش‌های (ماسیراسیون، مایکروویو، فراصوت، روش مرطوب و ترکیب روش مرطوب و خشک) مقایسه شد. دونات با آرد کینوا در دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد تولید شد. ویژگی‌های تغذیه‌ای اندازه‌گیری گردید. درصد جذب روغن، ویژگی‌های بافتی، تصاویر میکروسکوپ الکترونی و حسی نمونه‌های دونات ارزیابی گردید. مقایسه بین روش‌های مختلف ساپونین‌زدایی نشان داد که روش ترکیب مرطوب و خشک (۹/۰ mg/g) بیشترین اثر در حذف ساپونین از کینوا را داشت. بیشترین میزان پروتئین، فیبر و خاکستر در آرد کینوا ساپونین‌زدایی شده و نمونه دونات حاوی ۴۰ درصد آرد کینوا بدست آمد. میزان سفتی و کشش‌پذیری و ویژگی‌های حسی در دونات شاهد و نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد کینوا مشابه بود. درصد جذب روغن در دونات حاوی ۲۰٪ درصد آرد کینوا از سایر نمونه‌ها کمتر بود. تصاویر میکروسکوپی نشان داد افزودن ۴۰ درصد آرد کینوا ساختار یکنواخت و همگن از بین رفت. باتوجه به نتایج بدست آمده از ویژگی‌های تغذیه‌ای و کیفی می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که می‌توان تا ۴۰ درصد آرد کینوا ساپونین‌زدایی شده را در فرمول دونات استفاده کرد و از خواص تغذیه‌ای آن بهره برد.

واژه‌های کلیدی: آرد کینوا، خواص تغذیه‌ای، درصد جذب روغن، دونات، ساپونین‌زدایی

مقدمه

کینوا با نام علمی (*Chenopodium quinoa* Willd) از دسته گیاهان دولپه‌ای و از خانواده چنوپودیاسه، گیاهی یک ساله است. کینوا در طی ۵۰۰۰ سال به طور مداوم در تغذیه مردم پرو، بولیوی، اکوادور و شیلی استفاده شده است. ارزش بسیار بالای دانه یا بذر آن، موجب مقایسه آن توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) با شیر خشک گردید، زیرا پروتئین کینوا از نظر کمی و کیفی از غلات متداول بهتر می‌باشد (Sepahvand et al., 2010). کینوا منبع غنی پروتئین (آمینواسیدهای ضروری لیزین، متیونین، سیستئین و ترئونین) منیزیم، فیبر، ویتامین ب، پتاسیم و دیگر مواد معدنی مانند آهن است. دانه کینوا دارای نشاسته کمتری نسبت به سایر غلات (گندم، جو، ذرت و

برنج) است، همچنین به‌عنوان منبعی از فیتواستروژن از ایجاد سرطان، بیماری‌های قلبی و عروقی و پوکی استخوان جلوگیری می‌کند (Nowak et al., 2016). میزان فیبر رژیمی کینوا در مقایسه با سایر غلات بسیار بالاتر است. حدود ۳۱ درصد فیبر آن نامحلول می‌باشد (Rizzello et al., 2017). کینوا در مقایسه با برخی از غلات رایج (گندم و جو) سرشار از نیاسین، اسید فولیک، ویتامین‌های A، B2 و E بوده و غنی از آنتی‌اکسیدان‌هایی مانند پلی‌فنول می‌باشد (Lorusso et al., 2017; Turkut et al., 2016). کینوا به‌دلیل فاقد گلوتن بودن اخیراً به‌عنوان جایگزینی برای غلات رایج، برای افراد مبتلا به بیماری سلیاک استفاده می‌شود (Burešová et al., 2017). با توجه به خصوصیات منحصر بفرد کینوا می‌تواند مانند یک غذای عملگرا

۲- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، واحد قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی، قوچان، ایران
(Email: a_aria_1443@yahoo.com)
(*)- نویسنده مسئول:

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه جایگزینی آرد سایر غلات با آرد گندم برای تهیه محصولات پخت شده است. گیاه کینوا شبه غله‌ای است که تحت شرایط خشک و کم آب محصول می‌دهد، بنابراین جایگزینی آرد گندم با کینوا می‌تواند نیاز سالانه به گندم در کشور را مرتفع نماید. علاوه بر این کینوا ویژگی‌های تغذیه‌ای منحصر بفردی دارد که می‌تواند سبب خواص تغذیه‌ای محصولات پخت گردد. لذا این پژوهش با هدف، انتخاب بهترین روش ساپونین‌زدایی از کینوا و امکان جایگزینی آرد گندم با آرد کینوا در فرمولاسیون دونات و بررسی خواص تغذیه‌ای، حسی و بافتی آن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

آرد ستاره با درجه استخراج ۸۳ درصد، از کارخانه آرد گل‌مکان (مشهد، ایران) و آرد کینوا از مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی تهیه شد. برای این منظور، آرد مورد نیاز برای انجام آزمایشات به صورت یک‌جا تهیه و در سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سایر مواد مورد نیاز در آزمایشات شامل شکر، روغن نباتی مایع (با نام تجاری اویلا)، تخم مرغ (شرکت تلاونگ، تهران) و بیکنگ پودر (شرکت سیسارون شیمی ایران) و وانیل (جیوادان سوئیس) تهیه شد.

تهیه دونات

فرمول پایه (شاهد) خمیر دونات حاوی ۱۰۰ درصد آرد گندم، شکر ۱۶ درصد، ۲۰ درصد تخم‌مرغ کامل، روغن ۱۶ درصد، مخمر ۲/۴ درصد، ۴ درصد شیر خشک، نمک ۰/۸ درصد، وانیل ۰/۲ درصد و ۲۵ درصد آب بود. ابتدا ابتدا تخم مرغ را در ظرف مخصوص ریخته و به مدت ۳ دقیقه با دور تند با هم‌زن (ساخت کشور ایتالیا) هم‌زده شد. سپس به آن شکر، روغن، شیر خشک، وانیل و مخمر اضافه و به مدت ۳ دقیقه با دور تند هم‌زده، سپس آرد توزین شده کم کم به آن اضافه شد. خمیر آماده شده به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در ظرف مخصوص قرار گرفت تا مرحله اول تخمیر صورت گیرد. سپس خمیر با ضخامت ۱ سانتی‌متر به صورت دستی پهن و توسط قالب دونات با قطر داخلی ۲/۶۰ سانتی‌متر و قطر خارجی ۷ سانتی‌متر قالب‌زنی شد. قطعات به مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد در اتاق تخمیر، مرحله دوم تخمیر را سپری کردند. سپس، خمیرها داخل سرخ‌کن در روغن با دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد به روش غوطه‌وری تا رسیدن به رنگ قهوه‌ای سرخ شدند. سپس دونات‌های تولید شده در دمای محیط به مدت ۳۰ دقیقه سرد شدند و در پوششی از جنس پلی‌اتیلن بسته‌بندی و نگهداری شد (Ghaitaranpour et al., 2017).

مورد استفاده قرار گرفته و خواص سلامت بخشی از جمله پیشگیری و درمان بیماری را از خود نشان دهد (Milovanović et al., 2014). عمده‌ترین مشکل کاربرد آن به عنوان غذا برای انسان و علوفه برای دام، وجود ساپونین در پوسته خارجی بذر می‌باشد که به عنوان یک ماده ضد تغذیه‌ای است. شارما و همکاران (Sharma et al., 2022) بیان کردند که ساپونین‌ها به دلیل فعالیت همولیتیک بر گلبول‌های قرمز، تلخی، قابلیت کف‌کنندگی و مهار آنزیم‌ها به عنوان عوامل ضد تغذیه‌ای در نظر گرفته می‌شوند. از این رو مهمترین مرحله برای استفاده از کینوا در محصولات غذایی ساپونین‌زدایی است. ساپونین مزه تلخی دارد و قلیایی است. لذا در مرحله اگر گرد ساپونین روی دانه بنشیند و شستشوی خوبی داده نشود، می‌تواند تلخی بسیار زیادی را ایجاد کند. کینوا فرآوری نشده یا با غیر اصولی فراوری شده، باعث گاه‌آ نفخ و دل‌پیچه بسیار زیاد می‌شود (Dehghan Tanha et al., 2010).

دونات نوعی اسنک سرخ‌شده شیرین است که به صورت شیمیایی و تخمیری یا تلفیق این دو ور می‌آید و به صورت عمیق سرخ می‌شود (Melito & Farkas, 2012). این محصول برای اولین بار در آلمان و هلند تهیه شد. به این صورت که تکه‌های باقیمانده از خمیر نان را در روغن سرخ کرده و به آن اولیکوک می‌گفتند. خوشمزه‌گی و پراورزی بودن دونات باعث شده در میان محصولات شیرین حاصل از آرد گندم بسیار مورد توجه باشد. بازار دونات تنها در آمریکا سالیانه حدود ۳-۴ میلیارد دلار درآمد دارد (Tan & Mitral, 2006). دونات دارای دو قسمت اصلی، بخش سرخ‌شده و بخش داخلی است. بخش سرخ‌شده در سطح است که مستقیماً در تماس با روغن قرار می‌گیرد. این قسمت بیشترین دفع رطوبت و بیشترین جذب روغن را دارد و در حالت ایده‌آل رنگ قهوه‌ای طلایی و بافت ترد دارد. بخش داخلی مشابه کیک است و اگر در طول سرخ شدن حرارت کافی دریافت کند ژلاتیناسیون نشاسته در آن اتفاق می‌افتد. در اثر سرخ کردن رطوبت به بخش سرخ شده مهاجرت می‌کند و تردی سطح را از بین می‌برد (Tan & Mitral, 2006). میزان روغن یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی فرآورده‌های سرخ‌کردنی می‌باشد. میزان جذب بالای روغن هم برای تولیدکننده گران تمام می‌شود و هم موجب چرب و بی‌مزه شدن محصول می‌گردد. با این وجود بافت محصول کم‌چرب نیز نامطلوب است. مواد غذایی سرخ‌شده به دلیل داشتن طعم مطبوع و بافت ویژه‌ای که دارند همواره مورد توجه مصرف‌کنندگان بوده‌اند. رنگ و بافت از مهم‌ترین خصوصیات کیفی مواد غذایی هستند که تحت تأثیر سرخ کردن قرار می‌گیرند (Entezari et al., 2017).

کمبود گندم و حساسیت شدید آن به تغییر شرایط آب و هوایی همچنین شرایط بد اقتصادی در سال‌های اخیر منجر به انجام

al., 2018). روغن سطحی دونات پس از سرخ کردن و قبل از سرد شدن با استفاده از کاغذ جاذب جدا شد.

سپانولین‌زدایی از آرد کینوا

روش مرطوب: این شامل قرار دادن دانه کینوا در معرض فرآیند خیساندن بود، روش شستشو برای شسته شدن ساپونین‌ها از دانه‌های کینوا در دمای آب (۶۰ درجه سانتی‌گراد) با نسبت دانه‌ها به آب مقطر ۱:۱۰ انجام شد. زمان شستشو تحت هم زدن ثابت نیز ۱۲۰ دقیقه بود. سپس دانه کینوا در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خلاء (Binder Tuttlingen, GmbH، آلمان) به مدت ۴ ساعت خشک شد (Haghighy & Zavejad, 2021).

روش ترکیبی خشک و مرطوب: ابتدا جهت خراش‌دهی پوسته، پوسته‌ای خارجی حذف گردید، انجام و سپس برای از بین بردن باقیمانده آن را مطابق روش مرطوب شسته شو شد (Gómez-Caravaca et al., 2014).

روش ماسیراسیون: در این روش ۱۰ گرم از کینوا در ۲۵ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد حل و با همزن شیشه‌ای به مدت ۱۵ دقیقه ترکیب کاملاً یکنواخت شد سپس ظرف به مدت ۴۸ ساعت توسط همزن مغناطیسی محلول هم زده شد و از صافی عبور داده شد سپس به بالن دستگاه تقطیر منتقل و در خلاء در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تقطیر محلول تقطیر شد (Keyhani et al., 2015).

روش مایکروویو: در روش مایکروویو، دانه‌ها مرطوب و در اجاق مایکروویو خانگی (LG، ۲۳۰-۵۰V-هرتز، AC، ۲۴۵۰ MHz) به مدت ۵ دقیقه (W9۰۰) حرارت داده شدند (Sharma et al., 2022).

روش فراصوت: عصاره‌گیری با امواج فراصوت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد، با ۲۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد مخلوط سپس تحت امواج فراصوت با پالس ۱۰۰، فرکانس ثابت ۲۴ کیلو هرتز و به مدت ۴۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره متانولی حاصل مطابق روش ماسیراسیون تغلیظ شد (Keyhani et al., 2015).

آزمون‌های شیمیایی آرد و دونات

میزان فیبرخام آرد گندم، کینوا و دونات، طبق روش استاندارد ۱۰-۳۲، خاکستر آرد گندم، کینوا و دونات با روش ۰۸-۰۱، پروتئین آرد گندم، کینوا و دونات با روش ۱۲-۴۶ اندازه‌گیری شد (AACC, 2000).

ویژگی‌های بافتی دونات

آزمون بافت سنجی با استفاده از دستگاه بافت سنج (مدل QTS CNS Farnell، انگلستان) متصل به رایانه، انجام شد. نمونه‌ها در زیر

یک پروب استوانه از جنس آلومینیوم و با قطر ۲۰ میلی‌متر تحت آزمون فشردگی قرار گرفت. نیروی لازم برای سوراخ کردن دونات به‌عنوان سفتی و طول کش آمدن بافت تا پاره شدن به‌عنوان میزان کشش‌پذیری بر حسب واحد میلی‌متر محاسبه شد. سرعت پروب در طی آزمون ۳۰ میلی‌متر در دقیقه، و نقطه شروع ۰/۵ N بود (Rehman et al., 2006).

جذب روغن دونات

نمونه‌های دونات خشک شده (در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت) درون آسیاب خرد و سپس چربی هر نمونه به روش سوکسله توسط دی‌اتیل اتر استخراج می‌شود. جذب روغن برای دونات‌های تهیه شده مطابق فرمول زیر محاسبه می‌شود (Zolfaghari et al., 2013):

جذب روغن = [درصد روغن بعد سوکسله - درصد روغن قبل سوکسله] / درصد روغن قبل سوکسله
نسبت جذب روغن = محتوی روغن بر حسب گرم / افت رطوبت بر حسب گرم

ارزیابی حسی دونات

خصوصیات حسی نمونه شامل رنگ پوسته، رنگ مغز، طعم، بو، بافت (سفت بودن، خمیری بودن) و پذیرش کلی توسط ۱۰ ارزیاب دوره دیده به روش امتیازدهی هدونیک ۵ نقطه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. امتیازها بین ۱ (خوب) و ۵ (خیلی خوب) در نظر گرفته می‌شود. جهت انتقال داوران آزمون مثلی مطابق روش استفاده می‌شود (Sheikholeslami et al., 2020).

آزمون SEM

برای بررسی ساختار دونات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (MIRA3، شرکت TESCAN، جمهوری چک) استفاده شد. نمونه‌های مغز دونات در نیتروژن مایع، منجمد و سپس با خشک‌کن انجمادی (CHRist، مدل LD 1-4، آلمان) خشک شد. نمونه‌های انجمادی خشک شده تحت خلاء و تحت بخارات طلا با طلا پوشش داده شد و نمونه‌ها رسانا گردیدند (Sheikholeslami et al., 2020).

آنالیز آماری

در این پژوهش از آرد کینوا در دو سطح ۲۰ و ۴۰ درصد جایگزین آرد گندم در فرمولاسیون دونات شد و در قالب یک طرح آماری کاملاً تصادفی آنالیز گردید. تمامی آزمایشات در سه تکرار صورت گرفت و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ استفاده

ما سیرا سیون، مایکروویو و در آخر روش فرا صوت قرار داشت. اختلاف بین روش ترکیبی و ما سیرا سیون چشمگیر نبود، می‌توان چنین بیان نمود روش ترکیبی و ماسراسیون بیشترین کارایی را در استخراج ساپونین از آرد کینوا داشتند. البته در روش ما سیرا سیون بدلیل زمان طولانی فرآیند و تولید پس‌آب زیاد از نظر اقتصاد اهمیت کمتری است، همچنین این روش سبب از بین رفتن سایر مواد مغذی در باقیمانده گیاهی می‌شود (Cheok et al., 2014)، در نتیجه روش ترکیبی بعنوان بهترین روش در استخراج ساپونین انتخاب شد. کاهش ساپونین‌ها با روش مرطوب، ما سیرا سیون و روش ترکیبی را می‌توان بدلیل کاهش آن با آب نسبت داد زیرا ساپونین‌های کینوا حاوی گلیکوزیدهایی هستند که محلول در آب می‌باشند (Mhada et al., 2020)، همچنین ساپونین ترکیب قطبی است که در روش ترکیبی و ماسراسیون بدلیل استفاده از اتانول سبب افزایش حلالیت ساپونین و افزایش در صد استخراج آن شده است. از طرفی توانایی کاهش میزان ساپونین در روش ترکیبی، احتمالاً به دلیل تجزیه و داتوره شدن ساپونین‌ها بوده است (Gavrila et al., 2022).

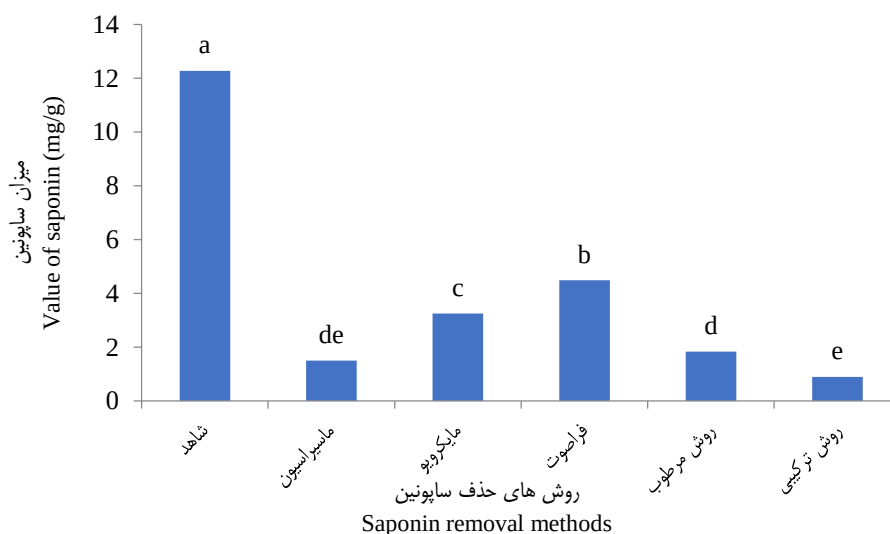
گردید. اختلاف بین میانگین‌ها نیز به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ درصد ارزیابی شد و نمودارها توسط نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

نتایج و بحث

مقایسه روش‌های ساپونین زدایی از آرد کینوا

اولین قدم در تولید محصولات پخت با استفاده از آرد کینوا، انتخاب روش استخراج مناسب و کارآمد حذف ساپونین از آن است. روش‌های استخراج ساپونین در این مطالعه شامل ماسراسیون، روش مرطوب، روش ترکیبی مرطوب و خشک، استخراج با امواج فرا صوت و استخراج با ماکروویو بود.

نتایج به دست آمده از استخراج ساپونین از کینوا با استفاده از روش‌های مختلف عصاره‌گیری نشان می‌دهد که روش فراصوت کمترین کارایی را در استخراج ساپونین داشت. بیشترین میزان حذف ساپونین در روش ترکیبی مرطوب و خشک بود، بعد از آن روش



شکل ۱- میزان حذف ساپونین با روش‌های مختلف

Fig. 1. Saponin removal rate by different methods

(Danz & Quisocala, 2016) و کاندیا دانز و کیوسوکالا (CaMPos naPán et al., 2021) سبوس‌گیری معمولاً راندمان حذف ساپونین ۹۵،۰٪ می‌رسند. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان دلیل بیشترین حذف به روش ترکیبی (مرطوب و خشک) را توجیه نمود. شارما و همکاران (Sharma et al., 2022) محتوای ساپونین در دانه کینوا خام ۱۳/۸۷ میلی گرم در گرم بدست آوردند. حذف ساپونین در دو روش جوشاندن (۱۵ دقیقه) و اتوکلاو به طور قابل توجهی

هو و همکاران (Hou et al., 2018) در پژوهشی مشابه از معادله انتشار برای بررسی سینتیک استخراج ساپونین‌ها از کینوا، با هدف کامل کردن مکانیسم شست‌شوی ساپونین استفاده کردند. در این مطالعه مشخص شد در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶ دقیقه ساپونین موجود در دانه‌های کینوا می‌تواند برای دستیابی به سطح مطمئن ساپونین‌ها برای مصرف انسان بدون آسیب‌دیدگی بذر با روش مرطوب استخراج شوند. مطابق با نتایج کامپوس ناپان و همکاران

ارزیابی بافت دونات

ارزیابی سفتی بافت دونات نشان داد که کمترین میزان سفتی در نمونه شاهد بود البته بین نمونه شاهد با نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد کینوا اختلاف چشمگیری مشاهده نشد ($P>0/05$)، اما با افزایش سطح ۴۰ درصد آرد کینوا میزان سفتی دونات بیشتر شد، افزایش سفتی بافت بدنال کاهش میزان گلوتن شد و در نتیجه توانایی آن در حفظ حباب هوای کاهش یافت در نتیجه بافت دونات سفت شد.

ایگلاس‌سیاس پوی و همکاران (Iglesias-Pui et al., 2015) و تورکت و همکاران (Turkut et al., 2016)، سفت شدن بافت نان و کیک (بترتیب) با افزایش آرد کینوا نشان دادند. نوری و همکاران (Nouri et al., 2017) محتوی رطوبت نیز نقش مهمی در سفتی مغز فرآورده‌های غلات به دلیل اثر پلاستی‌سایزری آن بر شبکه مغز این فرآورده‌ها ایفا می‌کند، با کاهش میزان گلوتن با جایگزینی آرد کینوا گلوتن تضعیف شده در نتیجه جذب آب کاهش می‌یابد و بدنال آن بافت دونات سفت‌تر شد.

درصد جذب روغن دونات

نتایج تجزیه واریانس جایگزینی آرد کینوا در فرمول دونات تأثیر معنی‌داری بر میزان جذب روغن نمونه‌های دونات نشان داد ($P<0/05$). میزان جذب روغن نمونه‌های دونات حاوی آرد کینوا در شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که استفاده از آرد کینوا در فرمول دونات منجر به کاهش معنی‌دار جذب روغن شد ($P<0/05$)، بطوری‌که نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد کینوا کمترین جذب روغن در مقایسه با نمونه شاهد و نمونه حاوی ۴۰ درصد آرد کینوا داشت.

هرچه افت رطوبت ماده غذایی حین فرآیند سرخ کردن بیشتر باشد، جذب روغن بیشتر می‌شود (Sakhale et al., 2011)، باتوجه به اینکه جایگزینی آرد گندم با آرد کینوا بدلیل میزان بالاتر پروتئین و فیبر سبب افزایش حفظ رطوبت در دونات می‌گردد در نتیجه کاهش جذب روغن در دونات با افزایش میزان آرد کینوا توجیح‌پذیر است، اما جایگزینی تا سطح ۴۰ درصد سبب افزایش جذب روغن شد اگرچه میزان درصد جذب روغن بازهم از نمونه شاهد کمتر بود. با افزایش کینوا میزان گلوتن در ساختار دونات کاهش می‌یابد، عامل اصلی بافت محصولات پخت و حفظ آب شبکه گلوتن است که آرد کینوا فاقد گلوتن بوده و جایگزینی بیشتر سبب تضعیف خمیر و خروج بیشتر رطوبت و در نتیجه جذب بیشتر روغن گردید.

محتویات ساپونین را به ترتیب ۶۴/۲۱ و ۱۳/۳۳ درصد کاهش دادند در حالی که برشته کردن (۶/۵ دقیقه) و فرآوری در مایکروویو (۵ دقیقه) به ترتیب ۲۵/۱۵ و ۹/۳۱ درصد ($p>0/05$) افزایش یافتند.

جیل رامیر و همکاران (Gil-Ramire et al., 2018) برای حذف ساپونین‌ها دو روش استخراج جامد-مایع با استفاده از اتانول/آب اکتباس و تجزیه و تحلیل طیف‌سنجی جرمی استفاده کردند. آنها نشان دادند که روش طیف‌سنجی جرمی عصاره‌ها قادر به تأیید حضور ساپونین‌ها نبود. بنابراین روش استخراج با اتانول انتخاب شد. همچنین آنها بیان کردند این روش یک جایگزین کارآمد و سازگار با محیط‌زیست برای استخراج است.

نیکل و همکاران (Nickel et al., 2016) بیان نمودند که شستشو همراه با پختن سطح ساپونین اصلی را به ۲/۵٪ کاهش داد.

ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی آردها و نمونه دونات

روش ترکیبی بعنوان بهترین روش ساپونین‌زدایی انتخاب شد. از آرد کینوا ساپونین‌زدایی در تهیه دونات در دو سطح (۲۰ و ۴۰ درصد) استفاده شد با دونات شاهد مقایسه شد. میزان فیبر، خاکستر و پروتئین آرد گندم و آرد کینوا و نمونه‌های دونات در جدول ۱ ارائه شده است. خصوصیات آرد گندم در محدوده آردهای متوسط تا قوی بوده با درصد استخراج ۲۱ درصد که برای دونات مناسب است. آنالیز آرد کینوا نشان داد که میزان خاکستر، فیبر و پروتئین در این آرد نسبت به آرد گندم بالاتر بود. میزان رطوبت آرد کینوا $0/22 \pm 11/03$ درصد و آرد گندم $0/15 \pm 11/56$ بدون اختلاف آماری معنی‌داری بود ($P>0/05$). مقدار پروتئین آرد کینوا $0/23 \pm 13/87$ ، میزان فیبر آرد کینوا $0/12 \pm 5/09$ درصد بدست آمد و این میزان به صورت معنی‌داری ($P<0/05$) بیشتر از مقدار فیبر، پروتئین و خاکستر در آرد گندم بود. ایگلاس‌سیاس و همکاران (Iglesias et al., 2015) و پراگر و همکاران (Präger et al., 2018) و آرد کینوا را بعنوان یک آرد با ارزش تغذیه‌ای بالا معرفی نموده‌اند و نشان دادند میزان پروتئین، فیبر و مواد معدنی در این آرد از آرد گندم کامل هم بیشتر است.

بررسی ویژگی‌های شیمیایی نمونه‌های دونات (جدول ۲) نشان می‌دهد که نمونه دونات شاهد که تنها از آرد گندم استفاده شده بود میزان خاکستر، فیبر بسیار کمتر بود. بیشترین میزان فیبر، پروتئین و خاکستر در نمونه تهیه شده با ۴۰ درصد آرد کینوا مشاهده شد. در مجموع مقایسه بین نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد جایگزینی آرد گندم با ۴۰ درصد آرد کینوا محتوای پروتئین، خاکستر و فیبر بطور چشمگیری بیشتر شد، در نتیجه ارزش تغذیه‌ای دونات بیشتر شد. لوراسو و همکاران (Lorusso et al., 2017) نشان دادند که استفاده از آرد کینوا در تهیه محتوای فیبر و پروتئین نمونه‌های پاستا را افزایش داد.

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی آرد گندم و آرد کینوا

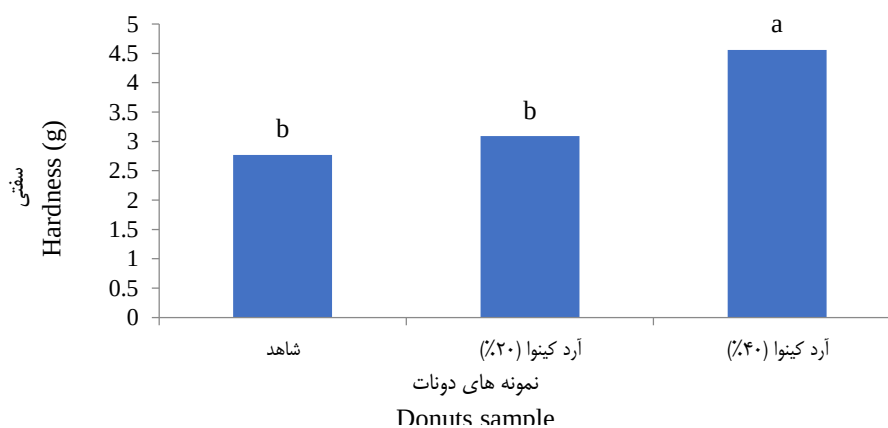
Table 1- Chemical properties of wheat flour and quinoa flour

آرد Flour	رطوبت Moisture content (%)	پروتئین Protein (%)	خاکستر Ash (%)	فیبر Fibre (%)
آرد گندم Wheat flour	11.56±0.15	11.96±0.76	0.71±0.00	1.62±0.11
آرد کینوا Quinoa flour	11.03±0.22	13.87±0.23	2.73±0.11	5.09±0.22

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی دونات

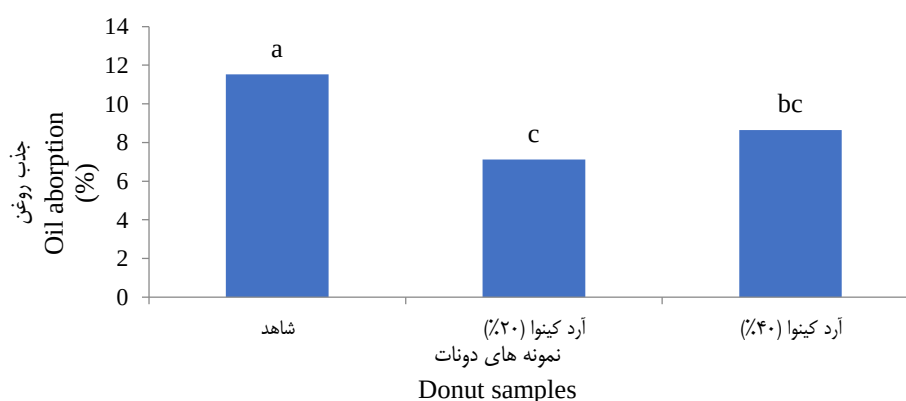
Table 2- Chemical properties of donuts

کیک Cake	پروتئین (Protein %)	خاکستر Ash (%)	فیبر (Fibre %)
دونات شاهد Control donuts	2.27 ^b ±0.16	0.76 ^b ±0.15	1.64 ^c ±0.07
دونات (۲۰٪ کینوا) Donuts (20% quinoa flour)	4.56 ^{ab} ±0.42	1.32 ^{ab} ±0.28	2.25 ^b ±0.19
دونات (۴۰٪ کینوا) Donuts (40% quinoa flour)	5.49 ^a ±0.35	1.97 ^a ±0.30	3.74 ^a ±0.24



شکل ۲- میزان سفتی در نمونه های دونات

Fig. 2. The amount of hardness in donut samples



شکل ۳- میزان جذب روغن در نمونه های دونات

Fig. 3. Oil absorption rate in donut samples

دمیر و کلنیک (Demir & Kılınç, 2017) نیز جایگزینی تا ۲۰ درصد آرد کینوا در کوکی را از نظر خصوصیات حسی طعم، بو، رنگ، تردی و پذیرش کلی در مقایسه با نمونه شاهد تهیه شده از آرد گندم مورد قبول دانستند. کائور و همکاران (Kaur et al., 2017) بیان نمودند که جایگزینی سطوح پایین آرد کینوا در محصولات پخت تاثیر چشمگیری بر خصوصیات حسی ندارد.

تصاویر میکروسکوپی دونات حاوی کینوا

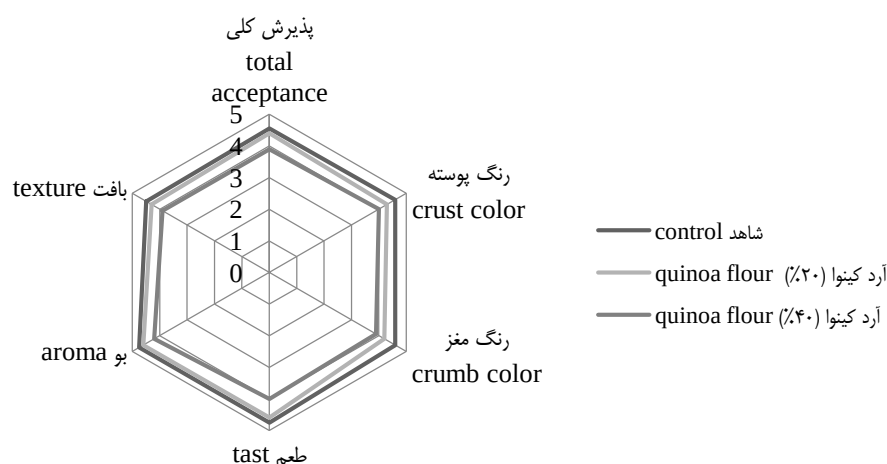
همانطور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود نمونه شاهد (A) دارای حفرات ریز و یکنواخت در ساختاری شبکه مانند نسبت به نمونه‌های حاوی آرد کینوا می‌باشد، بعد از آن در شکل (B) ساختار شبکه گلوتن جهت حفظ و پخش یکنواخت سلول‌های گازی نسبت به نمونه شاهد ضعیف‌تر است اما ساختار شبکه گلوتن قابل مشاهده است، همچنین به نظر می‌رسد در این نمونه استفاده از ۲۰ درصد آرد کینوا بدلیل داشتن پروتئین بیشتر و میزان چربی بیشتر و نشان دادن خواص امولسیفایری (Elgeti et al., 2014) حفرات بزرگ در ساختار شبکه مانند در دونات ایجاد شده است. در نمونه (C) که حاوی ۴۰ درصد آرد کینوا است مطابق با نتایج حجم مخصوص و تخلخل، شبکه گلوتن تضعیف شده و بخوبی نتوانسته است سلول‌های گازی را پوشش دهد در نتیجه طی فرآیند پخت و انبساط سلول‌های گازی، پارگی این سلول‌ها اتفاق افتاده و حباب‌های هوا به‌صورت دو یا چندتایی به یکدیگر ملحق شده اند و یک سلول گازی بزرگتر را ایجاد نموده‌اند و به موجب آن ساختار یکنواختی مشاهده نشد.

حقایق و زوارد (Haghayegh & Zavezd, 2021) نشان دادند که افزودن پودر رازیانه و صمغ شنبلیله به فرمول دونات در صد جذب روغن کاهش یافت. رشیدی و همکاران (Rashidi et al., 2017) بیان نمودند که استفاده از آنتی‌اکسیدان با مهار رادیکال‌ها و ممانعت از اکسایش مانع تجزیه روغن شده در نتیجه سبب کاهش جذب روغن در دونات می‌گردد. با توجه به نتایج مطالعه این محققین استفاده از آرد کینوا که منبعی از آنتی‌اکسیدان معرفی شده است (Jan et al., 2018) باعث کاهش درصد جذب روغن شد.

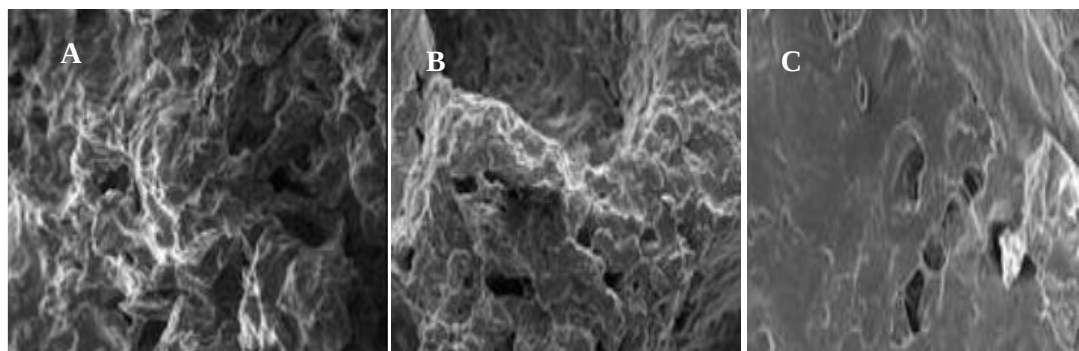
در پژوهش نوری و همکاران (Nouri et al., 2017) کاهش محتوی روغن دونات حاوی منابع فیبر خوراکی صمغ فارسی و پودر تفاله هویج با پیش فرآیند مایکروویو نشان داده شد.

خصوصیات حسی

نتایج افزودن آرد کینوا ساپونین‌زدایی شده بر ویژگی‌های حسی (رنگ پوسته، رنگ مغز، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی) دونات نشان داد که بیشترین امتیاز مربوط به نمونه شاهد و کمترین امتیاز مربوط به تیمار با ۴۰ درصد آرد کینوا بود. با استفاده از آرد کینوا امتیاز رنگ پوسته و رنگ مغز از نمونه شاهد کمتر بود. امتیاز خصوصیات حسی (طعم، بو و بافت) بین نمونه شاهد و نمونه حاوی ۲۰ درصد آرد کینوا تفاوت معنی‌داری ($P>0/05$)، نزد ارزیابان مشاهده نشد، اما افزایش آرد کینوا تا سطح ۴۰ درصد سبب کاهش مطلوبیت نزد ارزیابان گردید. در مجموع ارزیابی خصوصیات حسی دونات و پذیرش کلی نشان داد که جایگزینی تا سطح ۲۰ درصد آرد کینوا در دونات قابل پذیرش است اما بیشتر شدن آن، این محصول نزد ارزیابان مورد پذیرش نیست.



شکل ۴- خصوصیات حسی نمونه‌های دونات
Fig. 4. Sensory properties of donut samples



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های دونات حاوی آرد کینوا

A: نمونه دونات شاهد

B: نمونه دونات حاوی ۲۰ درصد آرد کینوا

C: نمونه دونات حاوی ۴۰ درصد آرد کینوا

Fig. 5. Electron microscope images of donut samples containing quinoa flour

A: control Donut

B: Donut containing 20% quinoa flour

C: Donut containing 40% quinoa flour

نتیجه‌گیری

در این تحقیق امکان تولید دونات با ارزش تغذیه بیشتر و درصد جذب روغن کمتر با استفاده از آرد کینوا بررسی شد. در ابتدا توانایی روش‌های مختلف برای حذف ساپونین بعنوان تلخی و فاکتور ضدتغذیه‌ای از آرد کینوا بررسی شد، نتایج نشان داد روش ترکیبی (مرطوب و خشک) بیشترین تأثیر بر حذف ساپونین را داشت. آرد کینوا ساپونین‌زدای شده در دو سطح (۲۰ و ۴۰ درصد) به فرمول دونات اضافه شد. آنالیز آرد کینوا نشان داد مقدار پروتئین، فیبر و خاکستر آرد کینوا از آرد گندم بود و مطابق با همین نتایج، محتوای خاکستر، پروتئین و فیبر دونات تهیه شده با ۴۰ درصد آرد کینوا به‌طور چشمگیری افزایش داشت. بررسی سفتی بافت و خصوصیات حسی دونات نشان داد که جایگزینی تا ۲۰ درصد آرد کینوا تفاوت معنی‌داری بر بافت دونات نداشت و نزد ارزیابان قابل قبول بود. درصد جذب روغن با استفاده از آرد کینوا در مقایسه با نمونه شاهد کاهش

چشمگیری داشت و جایگزینی ۲۰ درصد آرد کینوا با آرد گندم سبب کمترین درصد جذب روغن شد. نتایج این پژوهش نشان داد، تهیه دونات ترکیبی از آرد کینوا سبب بهبود ارزش تغذیه‌ای و کاهش جذب روغن شد.

میزان مشارکت

مهم‌تبار مرادنیاز: تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نوشتن - پیش‌نویس اصلی؛ **اکرم آریان‌فر:** مدیریت پروژه، نوشتن - بررسی و ویرایش؛ **علی محمدی ثانی:** اعتبارسنجی؛ **زهرا شیخ‌الاسلامی:** مدیریت داده‌ها، نظارت

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرده است.

References

1. AACC. (2000). *American association of cereal chemists*. AACC method 10-91. St. Paul Minnesota.
2. Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivná, L., Faměra, O., & Šottníková, V. (2017). The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science*, 75, 158-164 <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.004>
3. CaMPos naPán, M.U.P.J. (2021). Optimization of the saponin removal process to improve quinoa product quality and increase protein content. *Journal of Food and Nutrition Research*, 60(1), 59-65.
4. Candia Danz, L., & Olaguivel Quisocala, A.I. (2016). Diseño y evaluación de una escarificadora para la extracción de saponina de la quinua - Región Puno (Design and evaluation of a scarifier for the extraction of saponins from quinoa- at Puno Region). In: Universidad Nacional del Altiplano Repositorio Institucional [online]. Puno : National University of Altiplano.

5. Cheok, C.Y., Karim, S., Hanaa, A., & Sulaiman, R. (2014). Extraction and quantification of saponins: A Review *Food Research International*, 59, 16-40. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.057>
6. Dehghan Tanha, L., Karimi, M., & Saahifar, M. (2010). The effect of ipase enzyme and datam and glycerol mono-stearate emulsifiers of any quality and shelf life of frozen oily donuts. Islamic Azad University, M.C. Faculty of Nutrition Sciences and Food Technology. (In Persian)
7. Demir, M.K., & Kılınç, M. (2017). Utilization of quinoa flour in cookie production. *International Food Research Journal*, 24(6), 2394-2401.
8. Elgeti, D., Nordlohne, S.D., Föste, M., Besl, M., Linden, M., Heinz, V., Jekle, M., & Becker, T. (2014). Volume and texture improvement of gluten-free bread using quinoa white flour. *Journal of Cereal Science*, 59(1), 41-47. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.10.010>
9. Entezari, B., Karazhiyan, H., & Sharifi, A. (2017). The effect of Chubak extract on antioxidant and shelf life of doughnut. *Journal of Innovation and Technology in Food Science and Technology*, 9(1), 27-40. (In Persian)
10. Gavrilă, A.I., Tatia, R., Seciu-Grama, A.-M., Tarcomnicu, I., Negrea, C., Calinescu, I., Zalaru, C., Moldovan, L., Raiciu, A.D., & Popa, I. (2022). Ultrasound assisted extraction of saponins from *Hedera helix* L. and an in vitro biocompatibility evaluation of the extracts. *Pharmaceuticals*, 15, 1197 <https://doi.org/10.3390/ph15101197>
11. Ghaitaranpour, A., Koocheki, A., Mohebbi, M., & Ngadi, M.O. (2018). Effect of deep fat and hot air frying on doughnuts physical properties and kinetic of crust formation. *Journal of Cereal Science*, 83, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.07.006>
12. Gil-Ramirez, A., Salas-Veizaga, D.M., Grey, C., Karlsson, E.N., Rodriguez-Meizoso, I., & Linares-Pastén, J.A. (2018). Integrated process for sequential extraction of saponins, xylan and cellulose from quinoa stalks (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Industrial Crops and Products*, 121, 54-65. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.074>
13. Gómez-Caravaca, A.M., Iafelice, G., Verardo, V., Marconi, E., & Caboni, M.F. (2014). Influence of pearling process on phenolic and saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 157, 174-178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.023>
14. Haghayegh, G., & Zavehad, N. (2021). Evaluation of effect of Fennel powder and Fenugreek gum on technologic and antioxidant properties of fried doughnut. *FSCT*, 18(111), 23-35. (In Persian). <https://doi.org/10.52547/fsct.18.111.23>
15. Hou, Z., Fu, M., Zhang, W., & Ren, G. (2018). Research progress on saponins of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Safety and Quality*, 9(19), 5146-52. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103032>
16. Iglesias-Puig, E., Monedero, V., & Haros, M. (2015). Bread with whole quinoa flour and bifidobacterial phytases increases dietary mineral intake and bioavailability. *LWT-Food Science Technology*, 60(1), 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.09.045>
17. Jan, K.N., Panesar, P.S., & Singh, S. (2018). Optimization of antioxidant activity, textural and sensory characteristics of gluten-free cookies made from whole indian quinoa flour, *Lwt*, 93, 573-582. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.013>
18. Kaur, S., & Kaur, N. (2017). Development and sensory evaluation of gluten free bakery products using quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour. *Journal of Applied and Natural Science*, 9(4), 2449-2455. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i4.1552>
19. Keyhani, V., Mortazavi, S.A., Karimi, M., Karazhiyan, H., & Sheikholeslami, Z. (2015). Ultrasound-assisted extraction of saponins from chubak plant (*Acanthophyllum glandulosum*) root based on their emulsification and foaming properties. *Research and Innovation in Food Science and Industry*, 4(4), 325-342. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2016.01.30.444>
20. Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., Coda, R., Gobbetti, M., & Rizzello, C.G. (2017). Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *LWT*, 78, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.046>
21. Melito, H.S., & Farkas, B.E. (2012). Impact of infrared finishing on the mechanical and sensorial properties of wheat donuts. *Journal of Food Science*, 77(9), 224-230. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02847.x>
22. Mhada, M., Metougui, M.L., El Hazzam, K., El Kacimi, K., & Yasri, A. (2020). Variations of saponins, minerals and total phenolic compounds due to processing and cooking of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Foods*, 9, 660. <https://doi.org/10.3390/foods9050660>
23. Milovanović, M.M., Demin, M.A., Vucelić-Radović, B.V., Žarković, B.M., & Stikić, R.I. (2014). Evaluation of the nutritional quality of wheat bread prepared with quinoa, buckwheat and pumpkin seed blends. *Journal of Agricultural Sciences*, 59(3), 318-328. <https://doi.org/10.2298/JAS1403319M>
24. Nickel, J., Spanier, L.P., Botelho, F.T., Gularte, M.A., & Helbig, E. (2016). Effect of different types of processing on the total phenolic compound content, antioxidant capacity, and saponin content of *Chenopodium quinoa* Willd grains. *Food Chemistry*, 209, 139-143. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.031>

25. Nouri, M., Nasehi, B., Samavati, V., & Abdanan Mehdizade, S. (2017). Effect of microwave pre-treatment on physico-chemical properties of donut containing Persian gum and carrot pomace powder sources of dietary fiber. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(2), 227-239. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.49210>
26. Nowak, V., Du, J., & Charrondiere, U.R. (2016). Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Chemistry*, 193, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.111>
27. Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P.M., Mast, B., & Graeff-Hönniger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in southwestern Germany. *Agronomy Journal*, 8, 197. <https://doi.org/10.3390/plants10122689>
28. Rashidi, S., Niazmand, R., & Arianfar, A. (2017). Reducing the amount of acrylamide and absorption of donut oil using the antioxidant effect of sesame oil and its unsaturated soaps. *Research and Innovation in Food Science and Industry*, 6(1), 1-10. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2017.05.22.611>
29. Rehman, S., Paterson, A., Hussian, S., Bhatti, I.A., & Shahid, M.A.R. (2006). Influence of detoxified Indian Vetch (*Lathyrus sativus*) on sensory and protein quality characteristics of composite flour chapatti. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1172-1180. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2481>
30. Rizzello, C.G. (2017). Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features, *LWT*, 78, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.046>
31. Sakhale, B.K., Badgujar, J.B., Pawar, V.D., & Sananse, S.L. (2011). Effect of hydrocolloids incorporation incasing of samosa on reduction of oil uptake. *Journal of Food Process Technology*, 3(2), 120-133. <https://doi.org/10.1007%2Fs13197-011-0333-0>
32. Sepahvand, N.A., Humility, M., & Kahbazi, M. (2010). Quinoa, a valuable plant for food security and sustainable agriculture in Iran. 11th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding, Tehran, Iran. (In Persian)
33. Sharma, S., Kataria, A., & Singh, B. (2022). Effect of thermal processing on the bioactive compounds, antioxidative, antinutritional and functional characteristics of quinoa (*Chenopodium quinoa*), *LWT-Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113256>
34. Sheikholeslami, Z., Mahfouzi, M., Karimi, M., Hejrani, T., Ghiafehdavoodi, M., & Ghodsi, M. (2020). Evaluating the traditional bread properties with new formula: Affected by triticale and cress seed gum. *Food Science and Technology International*, 1082013220961777. <https://doi.org/10.1177/1082013220961777>
35. Tan, J., & Mitral, G.S. (2006). Physicochemical properties change of doughnuts during vacuum frying. *International Journal Food properties*, 9, 85-98. <https://doi.org/10.1080/10942910500473947>
36. Turkut, G.M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., & Tavman, S. (2016). Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science*, 69, 174e181. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>
37. Zolfaghari, Z., Mohebbi, M., & Haddad Khodaparast, M.H. (2013). Quality changes of donuts as influenced by leavening agent and hydrocolloid coating. *Journal Food Process*, 37, 34-45. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00611.x>

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 13-27

Effect of Chitosan Coating with Different Degrees of Deacetylation on the Shelf Life of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)

H. Ghorbanzadeh¹, J. Mohammadzadeh Milani^{ID 2*}, A. Motamedzadegan^{ID 2}

1 and 2- M.Sc. Graduated Student and Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: j.milani@sanru.ac.ir)

Received: 13.11.2023
Revised: 11.12.2023
Accepted: 14.12.2023
Available Online: 16.12.2023

How to cite this article:

Ghorbanzadeh, H., Mohammadzadeh Milani, J., & Motamedzadegan, A. (2025). Effect of chitosan coating with different degrees of deacetylation on the shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 13-27. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293>

Introduction

With the growth of the population and increasing demand for obtaining food and supplying the required food, the interest in the cultivation and consumption of edible mushrooms has increased. Since 1990, the world has focused on the mushroom production industry. In recent years, mushrooms have become one of the most important food and medicinal sources. One of the largest species of edible mushroom is button mushroom (*Agaricus bisporus*), which has high nutritional value due to the presence of fiber, carbohydrates, protein, amino acids, minerals, vitamins, etc., and also its antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic properties. This commodity has shown good health benefit for humans. The quality of button mushrooms is determined by their color, texture, and taste. Color is the first characteristic that is perceived by consumers. Browning is one of the main reasons for the loss of mushroom quality, which reduces the commercial value of mushrooms. Edible coating is considered as the best method for maintaining quality of perishable foods, these coatings almost prevent the penetration of oxygen, depending on the type of coating used, and reduce the loss of moisture during storage. Chitosan has functional characteristics such as antimicrobial and antioxidant properties. The purpose of this research was to find a suitable chitosan coating for button mushrooms that can maintain its characteristics such as color, texture hardness, and moisture during the storage period and increase the shelf life of mushroom.

Materials and Methods

To make chitosan solutions, first, each type of chitosan (70% deacetylated, 80% deacetylated, 90% deacetylated, and 100% deacetylated) was weighed in amounts of 0.5g, 1g, and 2g., then it was dissolved in 100 ml of 0.5% acetic acid and stirred for 12 hours at a speed of 1000 rpm at room temperature to dissolve uniformly. After 12 hours, each sample was centrifuged for 15 minutes at 6000 rpm at 25°C to separate undissolved materials. Mushrooms were prepared freshly harvested, washed with water, and then excess water was removed. After sorting and screening in terms of size and approximate weight, the mushrooms were added to 0.5%, 1%, and 2% chitosan solutions without being sliced and were immersed in the solution for one minute. The control sample was immersed in 0.5% acetic acid solution for one minute. After that, the mushrooms were air-dried at room temperature for one hour, and at the end, their excess water was removed with a tissue. The mushrooms were placed in 18*14 size polyethylene zip lock bags and stored in a refrigerator at 4°C. The effects of chitosan coating on weight loss, color and browning index, enzyme activity, texture, and total phenolic compounds of mushroom were studied.

Results and Discussion

The spoilage of edible mushrooms happens in a short time, and the storage of mushrooms has become one of the most important challenges in mushroom marketing. Coating edible mushrooms is one of the suitable methods to increase the shelf life of edible mushrooms. In this research, chitosan with four degrees of deacetylation and



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293>

three different concentrations was used as a coating for button mushroom. The results indicated that coating the mushroom with chitosan could delay the occurrence of spoilage and change its color or texture. Due to the very strong antimicrobial properties of chitosan, it is suggested to investigate the microbial load of edible button mushrooms and other tissue factors of the mushroom, such as gumminess, adhesive properties and cohesiveness.

Conclusion

The spoilage of edible mushrooms happens in a short time, and the storage of mushrooms has become one of the most important things in mushroom production. Coating edible mushrooms is one of the suitable methods to increase the shelf life of edible mushrooms. In this research, chitosan with four degrees of deacetylation and three different concentrations was used as a coating for button mushroom. The results indicated that coating the mushroom with chitosan could delay the occurrence of spoilage and change its color or texture. Due to the very strong antimicrobial properties of chitosan, it is suggested to investigate the microbial load of edible button mushrooms, also other tissue factors of the mushroom, such as gumminess, adhesive properties and cohesiveness can be studied.

Keywords: Button mushroom, Chitosan, Coating, Shelf life

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۲۷-۱۳

تأثیر پوشش کیتوزان با درجات مختلف استیل‌زدایی در ماندگاری قارچ دکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*)

هدی قربانزاده^۱ - جعفر محمد زاده میلانی^{۲*} - علی معتمدزادگان^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش طول مدت نگهداری قارچ خوراکی دکمه‌ای، استفاده از پوشش‌های خوراکی است. در این مطالعه، تأثیر کیتوزان به‌عنوان یکی از پوشش‌های خوراکی، با درصدهای استیل‌زدایی متفاوت (۷۰ تا ۱۰۰ درصد) با سه غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تأثیرات پوشش کیتوزانی بر روی افت وزنی، رنگ قارچ و اندیس قهوه‌ای شدن، فعالیت آنزیمی، بافت و ترکیبات فنلی کل مطالعه شد. به این منظور قارچ‌ها در محلول‌های کیتوزان با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد پوشش داده شدند و برای مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نتایج آزمون‌ها حاکی از تأثیر مناسب پوشش دهی کیتوزان بر نمونه‌های قارچ خوراکی بود، به‌طوری‌که میزان فنل کل در تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد با غلظت یک درصد، در روز دوازدهم به $0.45(u \cdot g^{-1})$ رسید، میزان آنزیم پراکسیداز در تیمار کیتوزان ۷۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ درصد، $0.8(u \cdot g^{-1})$ بود و میزان سفتی نمونه در تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد با غلظت ۲ درصد، تنها به میزان ۴۰۱ گرم کاهش پیدا کرد در صورتی‌که نمونه شاهد به میزان $3385/5$ گرم، سفتی خود را از دست داد. در کنترل افت وزنی، تیمار ۱۰۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد بهترین نتیجه را نشان داد و تنها ۱/۱۱ درصد افت وزنی داشت. آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد، در روز دوازدهم آزمایش به $0.67(u \cdot g^{-1})$ رسید. تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و ۹۰ درصد در آزمون حسی، نتیجه بهتری از ارزیاب‌ها دریافت کرد. تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد، عملکرد بسیار مناسبی نسبت به اندیس قهوه‌ای شدن نشان داد، به‌طوری‌که در روز دوازدهم آزمایش، اندیس قهوه‌ای شدن نمونه به میزان $85/47$ رسید.

واژه‌های کلیدی: پوشش، قارچ دکمه‌ای، کیتوزان، ماندگاری

مقدمه

صنعتی و در محیط‌هایی که دارای تأسیسات و تجهیزات است انجام می‌گردد.

از تعداد ۱۹۵۳ واحد پرورش قارچ خوراکی در کشور، ۱۹۰۹ واحد به تولید قارچ دکمه‌ای، ۳۳ واحد به پرورش قارچ صدفی و ۱۱ واحد نیز به پرورش هر دو نوع قارچ، فعالیت دارند. از واحدهای پرورش قارچ خوراکی کشور، ۱۲۶۷ واحد فعال و ۶۸۶ واحد غیر فعال می‌باشند (نتایج سرشماری از واحدهای پرورش قارچ خوراکی؛ ۱۴۰۰)

مقدار تولید انواع قارچ خوراکی در سال ۱۳۹۹ شامل ۱۰۶۰۶۴ تن قارچ دکمه‌ای و ۲۶۸ تن قارچ صدفی است (نتایج سرشماری از

چهار گونه عمده قارچ خوراکی که عبارتند از قارچ‌های دکمه‌ای، قارچ‌های صدفی، قارچ شیتاکه و قارچ فالمولینا، نزدیک به ۸۰ درصد تولید جهانی قارچ خوراکی را به خود اختصاص می‌دهند. پرورش قارچ خوراکی در ایران در قالب تولید دو نوع قارچ دکمه‌ای و قارچ صدفی انجام می‌شود. از آن‌جا که فعالیت قارچ دکمه‌ای به‌دلیل حساسیت بالا، باید در محیط‌هایی که درجه حرارت، نور و رطوبت به‌صورت دقیق کنترل می‌شود پرورش داده شود، فلذا پرورش آن به‌صورت

(Email: j.milani@sanru.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293>

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

واحدهای پرورش قارچ خوراکی؛ ۱۴۰۰). ایران با تولید ۱۰۱۳۶۵ تن در سال ۲۰۱۹ در مقایسه با سایر کشورها در تولید قارچ، رتبه ۹ را به خود اختصاص داد و بعد از ایران، انگلستان با ۱۰۰۷۸۱ تن در رتبه دهم قرار گرفت. چین با ۸۹۴۸۰۹۹ تن در سال ۲۰۱۹ بالاترین رتبه را در تولید قارچ خوراکی دارد. ژاپن، ایالات متحده و لهستان به ترتیب در رتبه‌های ۳، ۴ و ۵ این رتبه‌بندی قرار گرفتند (FAO Source). طبق نتایج سرشماری در سال ۱۴۰۰، مقدار ضایعات پس از تولید واحدهای پرورش قارچ خوراکی در ایران، ۱۳۶۱ تن بوده که ۱/۲۵ درصد کل تولیدات را شامل می‌شود.

با رشد جمعیت و تقاضای روزافزون برای تأمین مواد غذایی، گرایش به کشت و مصرف قارچ خوراکی نیز افزایش یافته است. از سال ۱۹۹۰، جهان به صورت متمرکز صنعت تولید قارچ را دنبال کرده است. در سال‌های اخیر به دلیل طعم و محتوای مغذی، قارچ به یکی از مهم‌ترین منابع غذایی و دارویی کاربردی تبدیل شده است. علاوه بر این که پروتئین‌های قارچ می‌توانند جایگزین مناسبی برای پروتئین‌های سبب غذایی باشند؛ انواع مختلفی از ویتامین‌ها و مواد معدنی نیز در قارچ‌های خوراکی وجود دارد (Lin & Sun, 2019). یکی از بزرگ‌ترین گونه‌های قارچ خوراکی، آگاریکوس بیسپورس (*Agaricus bisporus*) است که از ارزش غذایی و دارویی بالایی برخوردار است. مصرف این قارچ در شش تا هفت دهه گذشته به‌طور مداوم در حال افزایش بوده است (Usman et al., 2021). قارچ دکمه‌ای نام دیگر *Agaricus bisporus* است که منبع غذایی ارزشمند با چندین ترکیب فعال زیستی مهم است. قارچ دکمه‌ای یکی از محبوب‌ترین انواع قارچ‌های خوراکی در جهان است (Louis et al., 2021). به دلیل وجود مواردی همچون فیبر، کربوهیدرات، پروتئین، آمینواسید، مواد معدنی، ویتامین‌ها و ... قارچ دکمه‌ای دارای ارزش غذایی بالا و خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد دیابتی است (Kalač, 2013; Muszynska et al., 2017). لازم به ذکر است که این ماده غذایی خواص سلامتی بخش مناسبی برای انسان از خود نشان داده است (Jiang et al., 2015).

A. bisporus در مقایسه با سایر گونه‌های پرمصرف از نظر کربوهیدرات، پروتئین و چربی نسبتاً غنی است. قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) رایج‌ترین گونه قارچ خوراکی کشت شده در سراسر جهان است و به دلیل خواص غذایی، ارگانولپتیکی و دارویی آن در بین مصرف‌کنندگان بسیار محبوب است (Nasiri et al., 2018). کیفیت قارچ دکمه‌ای با رنگ، بافت و طعم آن تعیین می‌شود. رنگ اولین مشخصه‌ای است که توسط مصرف‌کنندگان درک می‌شود (Weijn et al., 2011). اخیراً پیشرفت‌هایی در حفظ خواص قارچ دکمه‌ای صورت گرفته است (Zhang et al., 2018). قهوه‌ای شدن

یکی از دلایل اصلی افت کیفیت قارچ است که این موضوع ارزش تجاری قارچ را کاهش می‌دهد، به‌طور کلی قارچ‌های سفید بازار مناسب‌تری دارند (Wu et al., 2016). از آنجایی که قابلیت نگهداری قارچ دکمه‌ای در دمای محیط (۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد) در کوتاه مدت بین ۳ تا ۴ روز و در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) حدود ۵ تا ۷ روز می‌باشد، ارزش اقتصادی خود را در مدت کوتاهی از دست می‌دهد. پس از این زمان، قارچ دکمه‌ای دچار قهوه‌ای شدن، از دست دادن وزن و رطوبت می‌گردد و حتی ممکن است مورد حمله باکتری‌ها و میکروب‌ها نیز قرار بگیرد (Jiang, 2013).

قارچ خوراکی به دلیل فسادپذیری بالا، طی مدت زمان کوتاهی ویژگی‌های مطلوب از جمله سفیدی، بافت ترد، رطوبت، طعم و مزه ابتدایی خود را از دست می‌دهد. تغییرات اتفاق افتاده در قارچ خوراکی، باعث کاهش بازارپسندی آن در طول مدت نگهداری می‌گردد. از این رو یافتن روشی مناسب برای طولانی کردن مدت زمان نگهداری قارچ و حفظ ویژگی‌های آن، همواره از مطالعات مربوط به این محصول بوده است.

سبزیجات، میوه‌های تازه و قارچ‌های خوراکی به مدت طولانی پس از برداشت نیز از نظر متابولیسمی فعال می‌باشند. تنفس یکی از فرآیندهای متابولیسمی است که انرژی لازم برای دیگر فعالیت‌ها را فراهم می‌کند. تنفس هوازی شامل تجزیه ذخایری هم‌چون کربوهیدرات‌ها و لیپیدها و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های ریزتر و ساده‌تر مثل کربن دی‌اکسید و آب می‌شود. محصولات این عمل برای فعالیت‌های بعدی مثل فعالیت‌های آنزیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت تنفس به عنوان یک معیار برای فعالیت‌های متابولیسمی در نظر گرفته می‌شود. قارچ‌ها در مقایسه با سبزیجات و میوه‌ها سرعت تنفس بالاتری دارند (Ares et al., 2006). قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ در طول نگهداری فرآیند پیچیده‌ای است. اختلال در یکپارچگی سلولی قارچ اجازه می‌دهد تا تماس بین آنزیم و سوبستراهای آنها برقرار شود (Beaulieu et al., 2002). آنزیم اصلی عامل قهوه‌ای شدن قارچ، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (Lei et al., 2018). عوامل مؤثر بر قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ عبارتند از: فعالیت و مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)، محتویات ترکیبات فنلی، عوامل بیماری‌زا و محیط پس از برداشت مانند دما و رطوبت نسبی؛ بنابراین، عوامل قابل کنترل مانند محیط پس از برداشت، فعالیت PPO و عوامل بیماری‌زا از جمله پرتفردارترین موضوعات در مطالعات پس از برداشت قارچ هستند (Joshi et al., 2018; Ghasemi-Varnamkhasti et al., 2018). روش‌های مختلفی برای کنترل قهوه‌ای شدن قارچ، وجود دارد. خنک‌سازی پرکاربردترین روش در افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی است. با این حال، اثر بازدارندگی

قهوه‌ای شدن قارچ با سرد شدن محدود است. روش‌های دیگری مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش‌دهی نیز توسط بسیاری از محققان با هدف یافتن مؤثرترین راه برای افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (Xu et al., 2005). باکتری‌ها، کپک‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و تغییرات بیوشیمیایی می‌توانند از عوامل فساد قارچ در طول نگهداری به حساب آیند (Jiang, 2013). بنابراین قارچ‌های خوراکی یا باید پس از برداشت مصرف شوند و یا در مدت کوتاهی، فرآوری گردند.

استفاده از پوشش‌های خوراکی یکی از خلاقانه‌ترین راه‌ها برای افزایش عمر تجاری محصولات تازه و فاسد شدنی است (Rezaiyan Attar et al., 2022). انواع پوشش‌ها به‌طور نسبی از نفوذ اکسیژن، جلوگیری می‌کنند و از دست رفتن رطوبت در طی نگهداری را کاهش داده و مانع از خروج آب از ماده غذایی می‌گردند (Zahedi et al., 2010). اولین بار استفاده از صمغ عربی برای افزایش طول مدت نگهداری گوجه‌فرنگی توانست گوجه‌فرنگی را تا ۲۰ روز بدون هیچ برگشت طعم یا فساد، نگهداری کند (Sedaghat & Zahedi, 2012). این عمل از طریق پوشش‌دهی سطح قارچ با لایه نازکی از مواد پوشش‌دهنده‌ی خوراکی انجام می‌پذیرد و موجب تأخیر در بروز علائم پیری در ماده غذایی و در نتیجه افزایش زمان ماندگاری آن می‌شوند. استفاده از این روش هزینه کمی دارد و می‌توان از آن برای طیف وسیعی از میوه و سبزیجات استفاده کرد، همچنین به دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری و زیست‌تخریب‌پذیر بودن، استفاده از این نوع پوشش‌ها متداول‌تر و اقتصادی‌تر است. لیپیدها، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها موارد رایج برای استفاده در مواد پوشش‌دهنده مواد غذایی به حساب می‌آیند (Jiang, 2013).

کیتوزان (پلی-۲-آمینو-۲-دئوکسی-D-گلوکوپیرانوز) نامی برای گروهی از ترکیبات دی‌استیل‌ه شده کامل یا جزئی از کیتین است که به دلیل خواص منحصر به فردی همچون زیست‌تخریب‌پذیر بودن و غیر سمی بودن، استفاده به تنهایی یا به همراه پلیمرهای طبیعی دیگر مثل نشاسته و ژلاتین و آلژینات در صنایع غذایی، داروسازی و دیگر صنایع، کاربردهای زیادی دارد. پلیمر کیتوزان (poly b-(1,4)n-acetyl-d-glucosamine) که به‌طور صنعتی توسط استیل‌زدایی شیمیایی کیتین موجود در اسکلت بیرونی بندپایان و سخت‌پوستان تولید می‌گردد، یکی از کارآمدترین موادی است که به‌عنوان پوشش روی میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شود (Rezaiyan Attar et al., 2023). کیتوزان دارای ویژگی‌های عملکردی مانند خصوصیات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی است، همچنین به‌عنوان فیلم خوراکی می‌تواند حامل بسیار خوبی برای ترکیب شدن با عوامل آنتی‌اکسیدانی و عوامل ضد میکروبی به حساب آید (Ardean et al., 2021).

کیتوزان را می‌توان با استیل‌زدایی جزئی یا کامل کیتین به دست آورد، گروه‌های استیل در زنجیره مولکولی کیتین برای تشکیل گروه‌های آمینه در کیتوزان حذف می‌شوند. به همین دلیل، کیتوزان را می‌توان به‌عنوان یک کوپلیمر طبقه‌بندی کرد که عمدتاً از ۲-آمینو-۲-دئوکسی-D-گلوکوپیرانوز (گلوکوزامین) و ۲-استامید-۲-دئوکسی-D-گلوکوپیرانوز (N استیل گلوکوزامین) که توسط پیوندهای گلیکوزیدی β ۱ به ۴ به هم مرتبط شده‌اند (Ardean et al., 2021). کیتوزان در آب نامحلول، اما در محلول‌های اسید آلی ضعیف محلول است. مشتقات کیتوزان به شکل استات، آسکورات، لاکتات و ملات محلول در آب هستند (Sudarshan, 1992; No et al., 2002).

مطالعات زیادی برای بررسی اثر پوشش‌دهی کیتوزان تا به امروز صورت پذیرفته، از جمله این پژوهش‌ها، استفاده از کیتوزان برای پوشش‌دهی گوجه‌فرنگی (El Ghaouth et al., 1992)، زردآلو (Ghasemnezhad et al., 2010)، انبه (Chien et al., 2007)، موز (Win et al., 2007)، میوه لیچی (Jiang et al., 2005) و پسته (Rezaiyan Attar et al., 2023) می‌باشد.

خواص منحصر به فرد کیتوزان، همچون خاصیت ضد میکروبی، تشکیل لایه محافظ و همچنین مقاومت بالا در برابر گازها و بخار آب است که آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده به‌عنوان پوشش تبدیل می‌کند (Rezaiyan Attar et al., 2022). هدف از انجام این پژوهش، یافتن پوشش کیتوزانی مناسب برای قارچ دکمه‌ای می‌باشد که بتواند ویژگی‌هایی از جمله رنگ، سختی بافت و رطوبت آن را در طول مدت نگهداری به‌خوبی حفظ کرده و زمان نگهداری قارچ را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

قارچ سفید دکمه‌ای مورد نیاز از یک واحد تولیدی تجاری قارچ در مازندران، شهر فریدون‌کنار، پودر کیتوزان استیل‌زدایی شده با وزن مولکولی بالا (با درجات استیل‌زدایی ۷۰ درصد، ۸۰ درصد، ۹۰ درصد و ۱۰۰ درصد)، از شرکت ایران کیتوزان واقع در شهر شیراز و مواد شیمیایی و معرف‌ها از شرکت سیگما تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه

برای ساخت محلول‌های کیتوزان، ابتدا از هر نوع کیتوزان (۷۰ درصد استیل‌زدایی شده، ۸۰ درصد استیل‌زدایی شده، ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده و ۱۰۰ درصد استیل‌زدایی شده) به مقادیر ۰/۵ گرم، ۱ گرم و ۲ گرم توزین شد، سپس در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسید استیک حل و برای مدت ۱۲ ساعت با سرعت ۱۰۰۰ rpm در

دمای محیط هم‌زده شد تا به‌طور یکنواخت حل شود (Win et al., 2007). پس از ۱۲ ساعت، هر نمونه به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد تا مواد حل نشده از آن جدا گردد (Jiang & Li, 2001). قارچ‌دکمه‌ای به‌صورت تازه برداشت شده، شسته‌شو با آب و سپس رطوبت اضافی آن گرفته شد. قارچ‌ها بدون اسلایس شدن و به‌صورت کامل پس از سورتینگ و غربال‌گری از لحاظ اندازه و وزن تقریبی، در محلول‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد

کیتوزان به‌مدت یک دقیقه غوطه‌ور شدند. نمونه شاهد در محلول ۰/۵ درصد اسیداستیک به‌مدت یک دقیقه غوطه‌ور شد. پس از آن، قارچ‌ها در دمای محیط به‌مدت یک ساعت با هوای آزاد خشک شدند و در انتها رطوبت اضافی آن‌ها با دستمال گرفته شد (Jiang & Li, 2001). قارچ‌ها در کیسه‌های زیپ کیپ پلی‌اتیلنی در سایز ۱۸ در ۱۴ قرار داده شدند و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش، به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- کد تیمارهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر
Table 1- Code of treatments studied in current research

کد Code	تیمار Treatment
C7-0.5	Chitosan70% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد
C7-1	Chitosan 70% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت ۱ درصد
C7-2	Chitosan 70% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت ۲ درصد
C8-0.5	Chitosan80% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد
C8-1	Chitosan 80% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۱ درصد
C8-2	Chitosan 80% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۲ درصد
C9-0.5	Chitosan90% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد
C9-1	Chitosan 90% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۱ درصد
C9-2	Chitosan 90% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۲ درصد
C10-0.5	Chitosan100% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد
C10-1	Chitosan 100% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۱ درصد
C10-2	Chitosan 100% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۲ درصد
CT	Control شاهد

اندازه‌گیری افت وزنی

قارچ‌ها قبل از اعمال هرگونه تغییر اعم از پوشش‌دهی و یا شسته‌شو، وزن‌کشی شدند و از این طریق تا حدودی غربال صورت گرفت. سپس تمامی نمونه‌ها بعد از پوشش‌دهی و خشک شدن وزن‌کشی شدند و این وزن به‌عنوان وزن روز اول یادداشت شد. وزن‌کشی از نمونه‌ها هر سه روز تکرار شد و وزن نمونه‌ها در روزهای اول، سوم، ششم، نهم و دوازدهم یادداشت گردید. به‌منظور محاسبه‌ی تغییرات وزن و اندازه‌گیری درصد افت وزنی، از فرمول (۱) استفاده شد

و درصد افت وزن برای هر نمونه به‌صورت جداگانه محاسبه گردید (Sedaghat & Zahedi, 2012). هر نمونه دارای ۳ تکرار برای کاهش خطای آزمون است.

$$weigh\ loss(\%) = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \quad (1)$$

در این فرمول، w_1 معادل وزن اولیه نمونه و w_2 معادل وزن نمونه بعد از نگهداری است.

ارزیابی رنگ قارچ

برای ارزیابی رنگ قارچ از دستگاه عکس‌برداری اتوماتیک هانتربل و نرم‌افزار Image J استفاده شد تا میزان فاکتورهای a^* و b^* بدست آید. سپس با استفاده از فرمول (۲) نمونه‌ها با نمونه شاهد مقایسه شد (Jiang, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (2)$$

اندیس قهوه‌ای شدن

اندیس قهوه‌ای شدن، نشان‌دهنده خلوص رنگ قهوه‌ای است و از رابطه (۳) و (۴) بدست آمد (Lin et al., 2017):

$$BI = \frac{100 \times (x - 0.31)}{0.172} \quad (3)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (4)$$

تعیین ترکیبات فنلی

برای تعیین ترکیبات فنلی کل، ابتدا ۵ گرم قارچ از هر نمونه وزن‌کشی و با استفاده از ازت مایع در هاون کوبیده شد و کاملاً به صورت پودر درآمد. در ادامه با ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد ترکیب شد و به مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با دور ۱۶۰ rpm قرار گرفت. پس از ۲۴ ساعت، تمامی نمونه‌ها با دور ۵۰۰۰ به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق، سانتریفیوژ شدند و بعد با استفاده از فیلتر پارچه‌ای جداسازی صورت گرفت (Lavid et al., 2001). مقدار یک میلی‌لیتر از عصاره با یک میلی‌لیتر واکنشگر فولین سیکالتو ترکیب شد و پس از ۳ دقیقه، یک میلی‌لیتر سدیم کربنات ۷ درصد به آن افزوده شد و پس از آن به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. تمامی نمونه‌ها به مدت ۹۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۵۰ نانومتر، جذب نمونه‌ها خوانده شد.

فعالیت آنزیمی

به منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی، ابتدا از قارچ‌ها عصاره‌گیری انجام شد، برای این منظور، ۲ گرم قارچ با استفاده از ازت مایع در هاون کوبیده شد و سپس با ۸ میلی‌لیتر محلول بافر سدیم فسفات و EDTA ترکیب شد (Lin et al., 2017).

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

نمونه‌ها پس از سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ در مدت ۱۵ دقیقه، با استفاده از فیلتر پارچه‌ای همگن شدند و قسمت‌های حل نشده جدا گردید، پس از آن جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Sun & Song, 2003).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، نمونه‌های عصاره‌گیری شده، ابتدا با دور ۵۰۰۰ و به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سپس به ۵۰ میکرولیتر عصاره بافت، ۵ میلی‌مول گایاکول و ۵ میلی‌مول هیدروژن پراکسید اضافه شد و جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Hu et al., 2015).

ارزیابی بافت

سنجش بافت برای تمام نمونه‌ها در روزهای یک، شش و دوازدهم پوشش‌دهی با استفاده از دستگاه بافت‌سنج بروکفیلد با استفاده از آزمون نفوذ با پروب استوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متر با سرعت یک میلی‌متر بر ثانیه صورت گرفت.

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی، از آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد و بر اساس رنگ قارچ، طعم قارچ، بو و پذیرش کلی امتیازدهی صورت گرفت. برای این منظور از ۱۰ نفر ارزیاب عادی در رده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال دعوت شد تا در شرایط یک‌سان، ۱۳ نمونه را مورد ارزیابی خود قرار دهند.

تجزیه و تحلیل آماری

طراحی آزمایشات پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی و با سه تکرار صورت پذیرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس دوطرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از روش آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر پوشش کیتوزان بر افت وزن

قارچ خوراکی دکمه‌ای دارای مقادیر بسیار زیادی آب بوده و از رطوبت بالایی برخوردار است. از این رو در طول نگهداری قارچ خوراکی امکان از دست رفتن آب و رطوبت آن و در پی آن کاهش وزن قارچ وجود دارد که باعث کاهش مطلوبیت محصول می‌شود. پوشش‌های مورد استفاده برای محصولات به طور مناسبی تا حدودی از این افت وزن و از دست رفتن آب و رطوبت ماده غذایی جلوگیری می‌نمایند. نمونه شاهد به دلیل نداشتن هیچ لایه محافظی در سطح، به سرعت آب خود را از دست داده و افت وزنی در آن سریع‌تر و بیشتر اتفاق می‌افتد.

مانع در انتشار مواد باشد. علاوه بر این، غلظت بالای پوشش کیتوزان منجر به ایجاد یک لایه با ضخامت بالا شده و افت وزنی را کاهش می‌دهد (Rezaian Attar et al., 2023).

تأثیر پوشش کیتوزان بر رنگ و اندیس قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی

یکی از رایج‌ترین مواردی که در قارچ خوراکی دیده می‌شود، قهوه‌ای شدن رنگ آن و از دست رفتن رنگ سفید اولیه قارچ است که این تغییر رنگ به دلیل فعالیت آنزیمی در قارچ می‌باشد. تغییر رنگ قارچ از سفید به قهوه‌ای و ایجاد لکه‌های رنگی بر روی آن بازپسندی محصول را پایین آورده و از کیفیت آن می‌کاهد. پوشش‌های مورد استفاده برای قارچ‌های خوراکی در درجه اول برای جلوگیری بیشتر از قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ و کاهش فعالیت‌های آنزیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تیمارهایی از کیتوزان به عنوان پوشش مورد استفاده در این پژوهش، به طور مناسبی اندیس قهوه‌ای شدن در قارچ را پایین آوردند و روشنایی قارچ را بیشتر کردند. از بین تیمارهای استفاده شده، بهترین نتیجه را به ترتیب تیمارهای کیتوزان ۹۰ درصد دی‌استیل شده با غلظت ۰/۵ در صد، ۹۰ درصد دی‌استیل شده با غلظت ۱ در صد، ۹۰ درصد دی‌استیل شده با غلظت ۲ در صد و ۱۰۰ درصد دی‌استیل شده با غلظت ۲ در صد از خود نشان دادند. نتایج حاصل، قابل مقایسه با الغوث و همکاران (El Ghaouth et al., 1992) در بررسی اثر پوشش کیتوزانی بر گوجه‌فرنگی و کاهش اندیس قهوه‌ای شدن در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه کنترل می‌باشد (جدول ۳).

در این پژوهش، از ماده‌ی کیتوزان با ۴ درصد استیل‌زدایی و همچنین در ۳ غلظت متفاوت برای قارچ خوراکی استفاده شد و بلافاصله پس از پوشش‌دهی و پس از آن هر ۳ روز، وزن کشی قارچ‌های تیمار شده و تیمار نشده صورت گرفت. نتایج حاصل، حاکی از آن بود که اکثر تیمارها در مقایسه با نمونه کنترل، عملکرد خوبی را از خود نشان دادند و از افت وزنی قارچ در طول مدت نگهداری تا حد زیادی جلوگیری کردند اما مقادیر افت وزنی در هیچ کدام از تیمارها به صورت معنی‌دار نبود. تیمارهای کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ در صد و غلظت ۲ در صد، ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ در صد، ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۱ در صد و ۱۰۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ در صد بهترین نتیجه را نشان دادند (جدول ۲). اثرات پوشش به عنوان یک سد نیمه تراوا در برابر O_2 ، CO_2 ، رطوبت و حرکت املاح، در نتیجه کاهش تنفس و از دست دادن آب می‌تواند نتیجه کاهش افت وزنی در نمونه‌های پوشش داده شده باشد. نتایج پژوهش حاضر هم سو با مطالعات صداقت و زاهدی (Sedaghat & Zahedi, 2012) برای پوشش‌دهی قارچ خوراکی با صمغ عربی است. در این مقاله، پوشش‌دهی با صمغ عربی افت وزنی در قارچ خوراکی به دلایل افزایش آب‌گریزی و نفوذپذیری پوشش کاهش پیدا کرد و حداقل کاهش وزن مشاهده شد (Sedaghat & Zahedi, 2012).

همچنین رضائیان عطار و همکاران (Rezaian Attar et al., 2023) گزارش کردند که پوشش کیتوزانی در میوه پسته افت وزنی را نسبت به نمونه شاهد کاهش داد. مقادیر کمتر کاهش وزن در نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان ممکن است به دلیل ایجاد یک

جدول ۲- درصد افت وزنی تیمارها

Table 2- Percentage of weight loss of treatments

تیمارها Treatments	روز سوم Day 3	روز ششم Day 6	روز نهم Day 9	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.78±0.11 ^{Hd}	1.08±0.13 ^{Kc}	1.70±0.20 ^{lb}	2.69±0.29 ^{Ga}
C7-1	1.34±0.16 ^{Dd}	1.56±0.13 ^{Ec}	1.86±0.16 ^{Gb}	2.72±0.20 ^{Fa}
C7-2	2.90±1.11 ^{Ad}	3.42±1.4 ^{Ac}	4.72±1.59 ^{Ab}	6.59±1.70 ^{Aa}
C8-0.5	0.76±0.15 ^{Jd}	1.12±0.19 ^{lc}	1.52±0.19 ^{lb}	2.31±0.28 ^{Ia}
C8-1	1.64±0.53 ^{Cd}	2.09±0.69 ^{Cc}	2.51±0.52 ^{Cb}	3.26±0.47 ^{Ca}
C8-2	2.74±1.06 ^{Bd}	3.23±1.53 ^{Bc}	4.06±2.06 ^{Bb}	4.81±2.58 ^{Ba}
C9-0.5	0.73±0.12 ^{Kd}	1.04±0.22 ^{Lc}	1.36±0.24 ^{Lb}	1.91±0.14 ^{Ka}
C9-1	0.82±0.25 ^{Gd}	1.24±0.33 ^{Hc}	1.89±0.44 ^{Fb}	2.74±0.60 ^{Ea}
C9-2	1.09±0.46 ^{Fd}	1.70±0.75 ^{Dc}	2.09±0.64 ^{Db}	3.12±0.75 ^{Da}
C10-0.5	0.62±0.07 ^{Ld}	1.10±0.06 ^{lc}	1.50±0.06 ^{Kb}	2.14±0.30 ^{Ja}
C10-1	1.11±0.44 ^{Ed}	1.44±0.42 ^{Fc}	1.96±0.84 ^{Eb}	2.69±1.30 ^{Ga}
C10-2	0.77±0.28 ^{Id}	1.03±0.36 ^{Mc}	1.36±0.45 ^{Lb}	1.88±0.80 ^{La}
CT	0.76±0.07 ^{Jd}	1.31±0.11 ^{Gc}	1.80±0.21 ^{Hb}	2.42±0.20 ^{Ha}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و همچنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

تعیین ترکیبات فنلی کل

تغییرات میزان ترکیبات فنلی کل در طی نگهداری قارچ خوراکی در مدت زمان پوشش دهی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد. قبل از نمونه‌ی شاهد، تیمارهای دی‌استیل شده ۷۰ درصد با غلظت ۱ در صد و کیتوزان دی‌استیل شده ۷۰ در صد با غلظت ۰/۵ درصد، بیشترین حفظ ترکیبات فنلی کل را نشان دادند و از کاهش و از دست رفتن ترکیبات فنلی جلوگیری کردند (جدول ۴).

به دلیل اینکه ترکیبات فنلی در رنگ قهوه‌ای ایجاد شده در قارچ مؤثر هستند، هر چه میزان ترکیبات فنلی بالاتر باشد، میزان قهوه‌ای شدن در آن کمتر خواهد بود، از این رو می‌توان ذکر کرد که ترکیبات فنلی یک عامل محدود کننده برای تغییر رنگ به حساب می‌آیند. قاسم‌نژاد و همکاران (Ghasemnezhad et al., 2010) به بررسی اثر پوشش کیتوزان بر میوه زردآلو پرداختند که نتایج به دست آمده در این پژوهش نیز حاکی از حفظ ترکیبات فنلی در تیمارهای پوشش داده شده با کیتوزان بوده است (Ghasemnezhad et al., 2010).

جدول ۳- تفاوت اندیس قهوه‌ای شدن تیمارها در طول مدت نگهداری

Table 3- difference of browning index of treatments

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	87.99±0.1 ^{Kc}	112.94±0.1 ^{Eb}	115.61±0.1 ^{Fa}
C7-1	93.657±0.1 ^{Ic}	104.02±0.1 ^{Gb}	115.02±0.1 ^{Ga}
C7-2	106.89±0.1 ^{Fc}	124.35±0.1 ^{Ab}	147.48±0.1 ^{Aa}
C8-0.5	87.63±0.1 ^{Ac}	92.32±0.1 ^{Lb}	93.58±0.1 ^{La}
C8-1	101.38±0.1 ^{Gc}	116.19±0.1 ^{Bb}	138.15±0.1 ^{Ba}
C8-2	84.44±0.1 ^{Ca}	100.15±0.08 ^{Ib}	124.33±0.1 ^{Da}
C9-0.5	79.17±0.1 ^{Db}	78.72±0.1 ^{Dc}	85.47±0.1 ^{Ca}
C9-1	69.82±0.1 ^{Fc}	87.89±0.1 ^{Mb}	110.11±0.1 ^{Ia}
C9-2	99.39±0.1 ^{Hc}	102.61±0.1 ^{Hb}	111.84±0.1 ^{Ha}
C10-0.5	71.33±0.1 ^{Ec}	79.25±0.1 ^{Cb}	83.80±0.1 ^{Ea}
C10-1	93.21±0.1 ^{Jc}	107.99±0.1 ^{Fb}	130.34±0.1 ^{Ca}
C10-2	86.05±0.1 ^{Bc}	92.84±0.1 ^{Kb}	104.60±0.1 ^{Ka}
CT	87.81±0.1 ^{Lc}	93.79±0.1 ^{Jb}	108.86±0.10 ^{Ja}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و همچنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

جدول ۴- مقادیر فنل کل در روزهای مختلف نگهداری ($U.g^{-1}$)

Table 4- Amounts of total phenol on different days of storage ($U.g^{-1}$)

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.41±0.008 ^{cM}	0.51±0.0055 ^{aC}	0.45±0.0055 ^{bEF}
C7-1	0.44±0.002 ^{bL}	0.23±0.002 ^{cD}	0.63±0.0015 ^{aA}
C7-2	0.49±0.0055 ^{bGH}	0.82±0.018 ^{baB}	0.40±0.0115 ^{cI}
C8-0.5	0.58±0.005 ^{bC}	0.91±0.053 ^{aA}	0.43±0.0045 ^{cFG}
C8-1	0.47±0.0045 ^{aJK}	0.23±0.003 ^{bD}	0.48±0.003 ^{aC}
C8-2	0.51±0.003 ^{aFG}	0.23±0.01 ^{cD}	0.44±0.0095 ^{bEFG}
C9-0.5	0.48±0.0015 ^{aHIJ}	0.17±0.0015 ^{cEF}	0.46±0.007 ^{bDE}
C9-1	0.53±0.003 ^{aE}	0.16±0.001 ^{cF}	0.44±0.0015 ^{bEFG}
C9-2	0.60±0.0025 ^{aB}	0.084±0.0035 ^{cH}	0.41±0.0025 ^{bHI}
C10-0.5	0.49±0.0015 ^{aHI}	0.11±0.002 ^{cG}	0.45±0.003 ^{bEF}
C10-1	0.53±0.0025 ^{aE}	0.16±0.0015 ^{cF}	0.42±0.0015 ^{bGH}
C10-2	0.69±0.004 ^{aA}	0.18±0.008 ^{cE}	0.43±0.001 ^{bFG}
CT	0.55±0.0055 ^{aD}	0.11±0.0015 ^{bG}	0.56±0.0005 ^{aB}

حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و همچنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیمی در قارچ خوراکی

اکسیداسیون فنلی در نتیجه‌ی فعالیت آنزیم تیروزیناز و اکسیداسیون مونوفنل‌ها به اکسیدفنل‌ها و سپس اکسیداسیون آن‌ها به فرم کینون و در نهایت پلیمریزه شدن خود به خودی و تولید پیگمان‌های سیاه، قرمز یا قهوه‌ای رخ می‌دهد. علاوه بر این موضوع، در نتیجه‌ی پیری، غشاهای سلولی پاره شده و آنزیم و سوبسترا فرصت ترکیب شدن با یکدیگر را پیدا می‌کنند و در نهایت قهوه‌ای شدن رخ می‌دهد (Ares et al., 2006).

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

غیرفعال‌سازی آنزیم پلی‌فنل اکسیداز که آنزیم اصلی مسئول قهوه‌ای شدن آنزیمی در قارچ است، با استفاده از حرارت یا استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها یا مهارکننده‌های آنزیم برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی و افزایش ماندگاری قارچ برای استفاده‌های تجاری از آن، بسیار ضروری است (Luo & Barbosa-Canovas, 1996; Zhang & Flurkey, 1997). از آنجایی که هر چه مقادیر آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در قارچ بالاتر باشد، اندیس قهوه‌ای شدن نیز بالاتر می‌رود، اگر بتوان این روند را کنترل کرد، قهوه‌ای شدن قارچ کاهش پیدا خواهد کرد. بهترین نتیجه از تیمار پوشش داده شده با کیتوزان استیل‌زدایی شده با درصد ۹۰ و غلظت ۲ درصد، پس از آن تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۱۰۰ درصد دی‌استیل‌ه شده با غلظت ۵/۰ درصد و تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۱۰۰ درصد دی‌استیل‌ه شده

با غلظت ۱ درصد حاصل شد (جدول ۵). نتایج پژوهش حاضر همسو با نتایج جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2005) می‌باشد. در این مطالعه گزارش شده است که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار پوشش داده شده با کیتوزان نسبت به نمونه کنترل کمتر است و این پوشش در میوه لیچی توانسته است فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز را کنترل کند (Jiang et al., 2005).

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

افزایش پراکسیداز نشان‌دهنده کاهش کیفیت ماده‌ی غذایی است. این آنزیم مسئول تغییرات مختلفی در ترکیبات شیمیایی است، به‌طوری‌که می‌تواند بر خصوصیات کیفی و فساد قارچ تأثیر بگذارد. آنزیم پراکسیداز هم‌چنین می‌تواند بر عطر و طعم محصول اثر بگذارد و سبب افت کیفیت خوراکی و تغذیه‌ای قارچ گردد (Fasidi & Kadiri, 1991). به همین دلیل غیرفعال کردن یا کاهش فعالیت پراکسیداز مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور کلی پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک مانع حفاظت‌کننده بر سطح محصول تازه، باعث کاهش دسترسی به اکسیژن گردیده و فساد و چروکیده شدن را به تعویق می‌اندازد و سرعت آن را آهسته‌تر می‌کند. قهوه‌ای شدن‌های آنزیمی بیشتر ناشی از آنزیم‌هایی مانند پراکسیداز است. ارتباط POD با قهوه‌ای شدن آنزیمی و دفاع آنتی‌اکسیدانی توسط تحقیقات قبلی آشکار شده است. افزایش پراکسیداز نشانه‌ای از کاهش کیفیت محصول است و به فرآیند قهوه‌ای شدن آنزیمی مربوط می‌شود (Lin et al., 2017).

جدول ۵- مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در طول مدت نگهداری ($U \cdot mg^{-1} \text{protein}$)Table 5- The amount of polyphenol oxidase enzyme during the storage period ($U \cdot mg^{-1} \text{protein}$)

تیمارها Treatments	روز سوم Day 3	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.65±0.0155 ^{cG}	1.64±0.0025 ^{aB}	1.05±0.001 ^{bF}
C7-1	0.81±0.028 ^{cE}	0.92±0.002 ^{aJ}	0.84±0.009 ^{bH}
C7-2	0.58±0.002 ^{cH}	1.35±0.011 ^{bE}	1.90±0.0045 ^{aA}
C8-0.5	0.85±0.0025 ^{cD}	1.75±0.0105 ^{aA}	1.04±0.024 ^{bF}
C8-1	0.59±0.019 ^{cH}	1.00±0.0015 ^{bH}	1.25±0.002 ^{aC}
C8-2	0.46±0.001 ^{cI}	1.17±0.0035 ^{aF}	1.10±0.0095 ^{bE}
C9-0.5	0.66±0.0115 ^{cG}	0.93±0.008 ^{aJ}	0.84±0.006 ^{bH}
C9-1	0.89±0.001 ^{cC}	1.14±0.004 ^{bG}	1.18±0.0015 ^{aD}
C9-2	0.74±0.001 ^{bF}	1.18±0.026 ^{aF}	0.67±0.0235 ^{cJ}
C10-0.5	1.06±0.0095 ^{bB}	1.61±0.0045 ^{aC}	1.04±0.0255 ^{bF}
C10-1	1.21±0.0395 ^{bA}	1.60±0.007 ^{aC}	0.95±0.006 ^{cG}
C10-2	0.82±0.001 ^{cE}	1.38±0.001 ^{bD}	1.57±0.003 ^{aB}
CT	0.85±0.0035 ^{bD}	1.15±0.0005 ^{aFG}	1.18±0.015 ^{aD}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

جدول ۶- مقادیر آنزیم پراکسیداز در طی مدت نگهداری ($U.mg^{-1}protein$)
Table 6- Peroxidase enzyme levels during the storage period ($U.mg^{-1}protein$)

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	1.03±0.0325 ^{aDE}	0.80±0.0015 ^{bl}
C7-1	0.57±0.0065 ^{bl}	0.87±0.01 ^{aH}
C7-2	0.87±0.0435 ^{aF}	0.67±0.0015 ^{bj}
C8-0.5	0.65±0.1005 ^{bH}	1.04±0.0015 ^{aF}
C8-1	0.51±0.001 ^{bj}	0.99±0.0005 ^{aG}
C8-2	0.88±0.0015 ^{bF}	1.23±0.0045 ^{aD}
C9-0.5	1.17±0.049 ^{bB}	1.25±0.002 ^{aD}
C9-1	0.70±0.0225 ^{bH}	1.36±0.002 ^{aC}
C9-2	0.52±0.0095 ^{bj}	0.87±0.001 ^{aH}
C10-0.5	0.79±0.0435 ^{bG}	1.40±0.0065 ^{aB}
C10-1	1.08±0.05 ^{bC}	1.68±0.011 ^{aA}
C10-2	0.91±0.035 ^{bF}	1.12±0.008 ^{aE}
CT	1.41±0.002 ^{aA}	1.39±0.0015 ^{aBC}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

و سختی اولیه‌ی قارچ در نمونه شاهد در طی ۱۲ روز با اختلاف زیادی از روز اول مشاهده شد. تیمارهای پوشش‌دهی شده اکثراً در حفظ سفتی بافت، بهتر عمل کرده و توانستند حالت‌های بافتی را تا حدودی در طی مدت نگهداری حفظ کنند. تفاوت سختی بافت در تیمار پوشش‌دهی شده با کیتوزان ۷۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد بهترین عملکرد را بین تیمارها نشان داد و تفاوت معناداری بین سختی بافت در روز اول و روز ششم و روز دوازدهم وجود نداشت. پس از آن، تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد با غلظت ۰/۵ در صد نیز نتایج تقریباً قابل قبولی داشت، در این تیمار، میزان سفتی قارچ در روز ششم بیشتر از روز اول بود اما تا روز دوازدهم این مقدار کاهش پیدا کرد و تقریباً به میزان سفتی روز اول نزدیک شد و تفاوت معنی‌داری بین سفتی بافت در روز اول و روز دوازدهم مشاهده نشد (جدول ۷). صداقت و همکاران (Sedaghat & Zahedi, 2012)، در مطالعه‌ای، قارچ خوراکی را با امولسیون صمغ عربی پوشش دادند و نتیجه حاصل را چنین گزارش کردند که در طول نگهداری قارچ، در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد، در ۴ روز اول سختی افزایش پیدا کرد و رسیدگی قارچ پس از آن باعث از دست دادن سفتی شد، میزان از دست دادن سفتی قارچ در تیمارهای بدون پوشش ۳۹ درصد و در تیمارهای پوشش داده شده ۲۱ درصد بوده است (Sedaghat & Zahedi, 2012).

رضائیان عطار و همکاران (Rezaiyan Attar et al., 2023) نیز در مطالعه‌ای به بررسی اثر پوشش کیتوزان بر میوه پسته پرداختند که نتایج حاصل، نشان‌دهنده تأثیر این پوشش بر حفظ سفتی بافت محصول در طول نگهداری بوده است.

هر چه آنزیم پراکسیداز در روز دوازدهم کمتر از روز اول باشد، نتیجه بهتری حاصل می‌شود. تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۷۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد در درجه اول بهترین عملکرد را داشته، پس از آن تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۷۰ درصد با غلظت ۲ درصد، میزان آنزیم پراکسیداز را در قارچ‌ها کاهش داد. نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌داری در روز اول و روز دوازدهم نشان نداد (جدول ۶). در مطالعه‌ی صورت گرفته توسط یووی و همکاران (Youwei & Yinzhe, 2013)، پوشش‌دهی انگور با کیتوزان، توانسته است فعالیت آنزیم پراکسیداز را در محصول تا حد مناسبی کنترل نماید (Youwei & Yinzhe, 2013). نتایج این پژوهش قابل مقایسه با پژوهش حاضر می‌باشد که نشان‌دهنده کنترل و حفظ بیشتر آنزیم پراکسیداز در تیمار پوشش داده شده نسبت به نمونه شاهد بوده است.

تأثیر پوشش کیتوزان بر بافت و سفتی قارچ خوراکی

بافت یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اندازه‌گیری کیفیت در محصولات است. برای قارچ خوراکی دکمه‌ای نیز بافت یکی از اساسی‌ترین ملاک‌های ارزیابی می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی تغییرات متابولیکی در قارچ می‌باشد (Gao et al., 2014).

سفتی بافت

یکی از اهداف پوشش‌دهی قارچ خوراکی، حفظ حالت‌های اولیه‌ی بافت قارچ می‌باشد. سفتی بافت قارچ با دستگاه بافت‌سنج در طی ۱۲ روز اندازه‌گیری شد و میزان سفتی قارچ در روزهای اول، ششم و دوازدهم با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفت. از دست رفتن سفتی

جدول ۷- میزان سفتی بافت در روزهای متفاوت آزمایش (g)

تیماها	روز اول	روز ششم	روز دوازدهم
Treatments	Day 1	Day 6	Day 12
C7-0.5	2092±732 ^{Hab}	2390±39 ^{FGa}	1403±294 ^{EFHb}
C7-1	3888.5±605.5 ^{BCa}	3009.5±1.5 ^{BEFb}	1759±61 ^{DEFc}
C7-2	3097±191 ^{DGa}	2413±398 ^{EFGa}	2696±593 ^{ABCa}
C8-0.5	2890±751 ^{DFGa}	2868±349 ^{CEFa}	1165.5±151.5 ^{FGHb}
C8-1	3816.5±662.5 ^{BCDa}	2960.5±412.5 ^{CEFb}	1217±192 ^{FGHc}
C8-2	3607.5±78.5 ^{CDEa}	3364±854 ^{ABa}	2300±355 ^{BCDb}
C9-0.5	3200±750 ^{CDEFa}	2550±78 ^{CEFa}	873±77 ^{Hb}
C9-1	3315±346 ^{CDEa}	2438±144 ^{EFGb}	1193.5±445.5 ^{FGHc}
C9-2	3920.5±425.5 ^{BCa}	3572.5±232.5 ^{ABa}	1654±612 ^{DEFGb}
C10-0.5	3793.5±73.5 ^{BCDa}	2556.5±66.5 ^{CEFb}	1315.5±45.5 ^{FGHc}
C10-1	4501±241 ^{ABa}	2815.5±48.5 ^{CEFb}	2059±44 ^{CDEc}
C10-2	3714±172 ^{CDEa}	3176±147 ^{BDEa}	999.5±378.5 ^{GHb}
CT	4680±377 ^{Aa}	2836.5±529.5 ^{DEFb}	1294.5±80.5 ^{FGHc}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

اعلام کنند. بهترین نمونه از نظر ارزیابی‌ها، تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت یک درصد بود و این تیمار با تیمارهای پوشش داده شده با کیتوزان استیل‌زدایی شده با درصد‌های ۸۰ با غلظت ۰/۵ درصد و ۱۰۰ درصد با غلظت ۰/۵ درصد تفاوت معنی‌داری نداشت. به مراتب بقیه تیمارها نمره‌های کمتری دریافت کردند. به‌طور کلی بهترین نتیجه در آزمون حسی از تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۹۰ درصد با غلظت ۱ درصد دریافت شد (جدول ۸). نتایج حاصل، موافق نظر چن و همکاران (Chien et al., 2007) بوده است، چنان‌که پوشش کیتوزان توانسته است طعم و مزه، ویژگی‌های حسی و رنگ آن‌ها را در طول مدت نگهداری حفظ کند و قهوه‌ای شدن را به تأخیر بیندازد (Chien et al., 2007).

نتیجه‌گیری

فساد قارچ خوراکی در طول مدت زمان کوتاهی اتفاق می‌افتد و نگهداری از قارچ در مدت زمان طولانی‌تر به یکی از موارد مهم در تولید قارچ تبدیل شده است. پوشش‌دهی قارچ خوراکی یکی از روش‌های مناسب جهت افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی است. در این پژوهش از کیتوزان با چهار درجه استیل‌زدایی ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد با سه غلظت (۰/۵، ۱ و ۲ درصد) به‌عنوان پوشش قارچ خوراکی استفاده شد. نتایج حاصل حاکی از آن بود که تمام تیمارهای پوشش‌دهی کیتوزان توانستند موجب تأخیر در بروز فساد و تغییر رنگ یا بافت آن شوند. بهترین تیمار، کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد در حفظ مقادیر فنل کل، کنترل فعالیت آنزیم پراکسیداز و میزان

کاهش تعرق و بهبود احتباس آب، پس از اعمال پوشش کیتوزان، باعث حفظ رطوبت و در پی آن، بافت محصول می‌شود. یکی دیگر از دلایل تأخیر نرم شدن ممکن است کاهش نرخ تنفس میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان باشد (Rezaiyan Attar et al., 2023).

آزمون حسی

در ارزیابی رنگ قارچ‌های تست شده در آزمون حسی، بهترین رنگ از نظر ارزیابی‌ها متعلق به تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد با غلظت یک درصد بود و پس از آن تیمار کیتوزان با استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد با غلظت ۰/۵ درصد بالاترین نمره را در تست هدونیک دریافت کرد. بین تیمارهای کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد با تیمارهای کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد با غلظت ۰/۵ درصد، ۱۰۰ درصد با غلظت ۲ درصد و شاهد تفاوت معنی‌دار نیست. به‌طور کلی از نظر رنگ، بهترین نتیجه را تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۹۰ درصد و غلظت ۱ درصد داشت. از لحاظ طعم، تمامی تیمارهای پوشش داده شده نمره قابل قبولی از ارزیابی‌ها دریافت کرد، با اختلاف زیادی طعم تیمارهای پوشش داده شده با کیتوزان از نمونه‌های شاهد بهتر و مورد قبول‌تر برای ارزیابی‌ها بود. نتایج ارزیابی حسی بو، برای تمامی نمونه‌ها تقریباً یکسان بود و تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود نداشت به جز نمونه‌ی پوشش داده شده با کیتوزان ۷۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد که از درجه پذیرش کمتری برخوردار بود. از ارزیابی‌ها خواسته شد تا به هر نمونه به‌طور کلی امتیاز دهند و درجه پذیرش کلی خود را

همچنین دیگر فاکتورهای بافتی قارچ، مثل خاصیت صمغینگی، خاصیت چسبندگی و انسجام نیز می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

میزان مشارکت

هدی قربانزاده: تحقیق و بررسی، مدیریت داده‌ها، نرم‌افزار، نوشتن - پیش‌نویس اصلی؛ **جعفر محمد زاده میلانی:** مفهوم‌سازی، تأمین مالی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، نوشتن - بررسی و ویرایش، **علی معتمدزادگان:** نظارت، نوشتن - بررسی و ویرایش

منابع تأمین مالی

این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری از حمایت مالی برخوردار گردید.

سفتی قارچ در طول نگهداری بوده است، در کنترل افت وزنی، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز و آزمون حسی، تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ در صد و ۹۰ در صد نتیجه بهتری داشتند و از نظر اندیس قهوه‌ای شدن و بافت، تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد عملکرد مناسب‌تری از خود نشان داده است. به دلیل تفاوت عملکردی انواع پوشش‌های استفاده شده، پیشنهاد می‌شود که با توجه به نیاز، از یکی از انواع پوشش‌دهی استفاده شود، چنان‌که برای مواردی که رنگ و بافت قارچ‌خوراکی بیشتر مدنظر باشد، بهتر است از تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ در صد استفاده گردد و چنانچه مواردی هم‌چون کنترل وزن یا موارد حسی مورد نظر باشد، بهتر است از تیمارهای ۹۰ و ۱۰۰ در صد استیل‌زدایی شده استفاده شود. به دلیل خواص ضد میکروبی بسیار قوی کیتوزان، پیشنهاد می‌شود که بار میکروبی قارچ‌خوراکی دکمه‌ای پوشش داده شده، بررسی شود.

جدول ۸- ارزیابی حسی بر اساس طعم و مزه، رنگ، بو و پذیرش کلی

Table 8- Sensory evaluation based on taste, color, odor and total acceptability

تیمارها Treatments	رنگ Color	مزه Flavor	بو Smell	پذیرش کلی Total Acceptability
C7-0.5	2.6±1.07 ^{ED}	4.8±0.42 ^A	4.9±0.31 ^A	3.6±0.69 ^{EF}
C7-1	3.1±0.73 ^{DC}	4.9±0.31 ^A	4.7±0.48 ^A	4.1±0.56 ^{CDE}
C7-2	2±0.81 ^E	4.7±0.48 ^A	4.2±1.03 ^B	3.3±0.48 ^F
C8-0.5	4±0.47 ^{BC}	4.9±0.31 ^{AB}	4.9±0.31 ^A	4.6±0.51 ^{ABC}
C8-1	3.2±0.63 ^{DC}	4.9±0.31 ^A	4.8±0.63 ^A	4±0.47 ^{DE}
C8-2	2.8±1.13 ^{ED}	4.8±0.42 ^A	4.7±0.48 ^A	3.9±0.73 ^{DE}
C9-0.5	3.3±1.15 ^{DC}	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A	4.2±0.632 ^{BCD}
C9-1	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A
C9-2	3.2±1.13 ^{DC}	4.9±0.31 ^A	4.5±0.97 ^{AB}	4.1±0.73 ^{CDE}
C10-0.5	4.6±0.69 ^{AB}	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A	4.7±0.48 ^{AB}
C10-1	3.4±1.17 ^{DC}	4.9±0.31 ^A	4.9±0.31 ^A	4.2±0.63 ^{BCD}
C10-2	3.8±0.63 ^{BC}	4.9±0.31 ^A	4.7±0.48 ^A	4.2±0.42 ^{BCD}
CT	3.8±0.91 ^{BC}	4.4±0.69 ^B	4.9±0.31 ^A	4.3±0.67 ^{BCD}

*حروف غیر یکسان در هر ستون به معنای تفاوت معنادار می‌باشد.

* Different letters in each column mean a significant difference.

References

- Ares, G., Carina P., Gámbaro, A., Lareo C., & Lema, P. (2006). Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, 41, 191-97. <https://doi.org/10.3390/ijms22147449>
- Beaulieu, M., Aprano, G.D., & Lacroix, M. (2002). Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry*, 63, 311-15. [https://doi.org/10.1016/S0969-806X\(01\)00518-7](https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00518-7)
- Bozena, M., Kala, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W. (2017). Composition and biological properties of *Agaricus bisporus* fruiting bodies-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 67. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2016-0032>
- Chien, P.J., Sheu, F., & Yang, F.H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 225-229. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.022>
- Cristina, A., Davidescu, C.M., Nemeş, N.S., Negrea, A., Ciopec, M., Duteanu, N., Negrea, P., Duda-Seiman, D., & Musta, V. (2021). Factors influencing the antibacterial activity of chitosan and chitosan modified by functionalization. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, 7449. <https://doi.org/10.3390/ijms22147449>
- El Ghaouth, A., Ponnampalam, R., Castaigne, F., & Arul, J. (1992). Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *HortScience*, 27(9), 1016-1018. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.9.1016>

7. Eliezer, L., Villalobos-Carvajal, R., Reyes-Parra, J., Jara-Quijada, E., Ruiz, C., Andrades, P., Gacitúa, J., & Beldarraín-Iznaga, T. (2021). Preservation of mushrooms (*Agaricus bisporus*) by an alginate-based-coating containing a cinnamaldehyde essential oil nanoemulsion. *Food Packaging and Shelf Life*, 28, 100662. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100662>
8. Fasidi, I.O., & Kadiri, M. (1991). Changes in enzyme activities of *Termitomyces robustus* (Beli) Heim and *Lentinus subnudus* Berk during sporophore development. *Food Chemistry*, 39, 109-16. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(91\)90089-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90089-7)
9. Gantner, M., Dominika, G., Pogorzelska, E., Brodowska, M., Wojtasik-Kalinowska, I., & Godziszewska, J. (2017). The effect of film type and modified atmosphere packaging with different initial gas composition on the shelf life of white mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 41, e13083. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13083>
10. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohammad-Razdari, A., Yoosefian, S.H., & Izadi, Z. (2018). Effects of the combination of gamma irradiation and Ag nanoparticles polyethylene films on the quality of fresh bottom mushroom (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 42, e13652. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13652>
11. Ghasemnezhad, M., Shiri, M.A., & Sanavi, M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 25-33.
12. Hong Kyoon, N., Young Park, N., Lee, S.H., & Meyers S.P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International Journal of Food Microbiology*, 74, 65-72. <https://doi.org/10.1177/1082013211433075>
13. Jiang, Y., Li, J., & Jiang, W. (2005). Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT-food Science and Technology*, 38(7), 757-761. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.004>
14. Jing, L., Li, B., Zhang, N., Yan, R., Guan, W., Brennan, C.S., Gao, H., & Peng, B. (2018). Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 139, 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022>
15. Kompal, J., Warby, J., Valverde, J., Tiwari, B., Cullen, P.J., & Frias, J.M. (2018). Impact of cold chain and product variability on quality attributes of modified atmosphere packed mushrooms (*Agaricus bisporus*) throughout distribution. *Journal of Food Engineering*, 232, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.019>
16. Luo, Y., & Barbosa-Canovas, G.V. (1996). Preservation of apple slices using ascorbic acid and 4-hexylresorcinol/Preservación de rodajas de manzana con ácido ascórbico y 4-hexilresorcinol', *Food Science and Technology International*, 2, 315-21. <https://doi.org/10.1177/108201329600200505>
17. Mengsha, G., Feng, L., & Jiang, T. (2014). Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chemistry*, 149, 107-13. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073>
18. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M.A., & Niakousari, M. (2018). Application of Tragacanth gum impregnated with Satureja khuzistanica essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 218-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.003>
19. Noa, L., Barkay, Z., & Tel-Or, E. (2001). Accumulation of heavy metals in epidermal glands of the waterlily (*Nymphaeaceae*). *Planta*, 212, 313-22. <https://doi.org/10.1007/s004250000399>
20. Pavel, K. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 209-18. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5960>
21. Qiong, L., Lu, Y., Zhang, J., Liu, W., Guan, W., & Wang, Z. (2017). Effects of high CO₂ in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 123, 112-18. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.006>
22. Rezaian Attar, F. (2022). Modeling the respiration rate of chitosan coated fresh in-hull pistachios (*Pistacia vera* L. cv. Badami) for modified atmosphere packaging design. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 16(2), 1049-1061. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01235-8>
23. Rezaian Attar, F. (2023). Modified atmosphere packaging with chitosan coating to prevent deterioration of fresh in-hull Badami's pistachio fruit. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 10(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40538-023-00393-9>
24. Sedaghat, N., & Zahedi, Y. (2012). Application of edible coating and acidic washing for extending the storage life of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Science and Technology International*, 18, 523-30. <https://doi.org/10.1177/1082013211433075>
25. Sudarshan, N.R., Hoover, D.G., & Knorr, D. (1992). Antibacterial action of chitosan. *Food Biotechnology*, 6, 257-72. <https://doi.org/10.1080/08905439209549838>

26. Sun, N.K., & Song, K.B. (2003). Effect of nonthermal treatment on the molecular properties of mushroom polyphenoloxidase. *Journal of Food Science*, 68, 1639-43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12305.x>
27. Tianjia, J. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere', *Postharvest Biology and Technology*, 76, 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005>
28. Tianjia, J., Luo, Z., & Ying, T. (2015). Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chemistry*, 172, 692-98. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.130>
29. Usman, M., Ghulam M., & Allah, D. (2021). Nutritional, medicinal, and cosmetic value of bioactive compounds in button mushroom (*Agaricus bisporus*): a review. *Applied Sciences*, 11, 5943. <https://doi.org/10.3390/app11135943>
30. Weijn, A., Tomassen, M.M.M., Bastiaan-Net, S., Eahj Hendrix, J.J.P., Baars, A.S.M., Sonnenberg, H.J., Wichers, & Mes, J.J. (2011). *Browning sensitivity of button mushrooms*. In Proceedings of the 7th international conference on mushroom biology and mushroom products, 203-11.
31. Win, N., Kyu Kyu, P., Jitareerat, S., Kanlayanarat, & Sangchote, S. (2007). Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 333-40. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.020>
32. Xinling, W., Guan, W., Yan, R., Lei, J., Xu, L., & Wang, Z. (2016). Effects of UV-C on antioxidant activity, total phenolics and main phenolic compounds of the melanin biosynthesis pathway in different tissues of button mushroom. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.017>
33. Xu, Y.X., Myong Kim, K., Hanna, M.A., & Nag, D. (2005). Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 21, 185-92. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.03.002>
34. Xiaohui, L., & Sun, D.W. (2019). Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.007>
35. Yong-Hua, H., Chen, C.M., Xu, L., Cui, Y., Yu, X.Y., Gao, H.J., Wang, Q., Liu, K., Shi, Y., & Chen, Q.X. (2015). Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, 104, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.007>
36. Youwei, Y., & Yinzhe, R. (2013). Grape preservation using chitosan combined with β -Cyclodextrin. *International Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1155/2013/209235>
37. Yueming, J., & Li, Y. (2001). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry*, 73, 139-43. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00246-6)
38. Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., & Sedaghat, N. (2010). Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *Journal of Food Engineering*, 100, 102-08. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.033>
39. Zhang, K., Yuan-Yuan P., & Sun, D.W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science & Technology*, 78, 72-82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012>
40. Zhang, X., & Flurkey, W.H. (1997). Phenoloxidases in Portabella mushrooms. *Journal of Food Science*, 62, 97-100. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04376.x>

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 29-45

Preparation of Nanoniosomes at different Cholesterol Concentrations Using the Thin-film Hydration Method for Nanoencapsulation of Pure Polyphenolic Compounds

Z. Ganjeh-Soltanabadi¹, R. Shaddel^{2*}, Y. Zahedi²

1, 2 and 3- M.Sc Graduated and Associate Professor in Food Science & Technology, Department of Food Science & Technology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: r.shaddel@uma.ac.ir)

Received: 07.07.2024

Revised: 25.09.2024

Accepted: 26.09.2024

Available Online: 16.02.2025

How to cite this article:

Ganjeh-Soltanabadi, Z., Shaddel, R., & Zahedi, Y. (2025). Preparation of nanoniosomes at different cholesterol concentrations using the thin-film hydration method for nanoencapsulation of pure polyphenolic compounds. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 29-45. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88833.1344>

Introduction

Nowadays, the attention and desire of consumers to the role of food in health and nutrition has led the manufacturers to produce functional food and researchers to study this field. Polyphenols are secondary metabolites produced by many plants. They have anti-obesity, anti-inflammatory, anti-cancer and antioxidants activities. Despite all the mentioned benefits, due to the vulnerability of phenolic compounds to the environmental conditions and their low bioavailability in the digestive system, efforts have been made to encapsulate them with nanoniosomes. Encapsulation of polyphenolic compounds with nanoniosomes is an effective way to increase their stability and bioavailability as well as hinder their undesirable taste and smell. Niosomes are class of bi-layered structure formed by hydration of non-ionic surfactant, cholesterol or other amphiphilic molecules. This structure has two hydrophilic and hydrophobic properties, so it has the ability to be encapsulated with different solubility. Fortification food with polyphenols promotes community health. Therefore, the aim of this research was to produce nanoniosomes containing polyphenolic compounds, and to determine their important physical and chemical properties.

Materials and Methods

In this research, four polyphenol-loaded nanoniosomes were prepared using Span 60 and Tween 80 surfactants with a ratio of 3:1, and cholesterol with the concentration of 0, 10, 20 and 30 (mg/140 mg surfactant) as F1, F2, F3 and F4 treatments respectively. Physicochemical properties of the polyphenol-loaded niosomes (particle size, polydispersity index (PDI), zeta potential, encapsulation efficiency (EE)) were analyzed, and the formulation with the best characteristics was selected based on having the smallest size, less PDI and the highest EE. The selected formula was analyzed for morphology (scanning electron microscope (SEM)) and probably interactions (Fourier transforms infrared spectrometry (FTIR)). Additionally, the ability to preserve polyphenolic compounds as free or inside the nanoniosomes during the storage period of 60 days was investigated. Further, the *in vitro* release of polyphenol from niosomes (gastric and intestinal simulated fluid) was also evaluated. The experiment was performed as completely randomized design (CRD) and the obtained data were analyzed with one-way analysis of variance (ANOVA).

Results and Discussion

Results indicated that the effect of using different amounts of cholesterol on the average particle size (Z-average) of nanoniosomes was significant ($p < 0.05$). With increasing cholesterol up to 20 mg (F1 to F3), the Z-average decreased, but with further increase to 30 mg (F4), the Z-average increased. Different concentrations of cholesterol showed significant influence on the PDI of nanoniosomes. The minimum value was observed for F3 (20 mg cholesterol) and the maximum for F4. The incorporation of cholesterol in the nanoniosomes decreased the zeta potential ($p < 0.05$), dedicated an increased electrostatic stability of the particle, and the values were in the range of -50.35 to -65.36 mV. The value of EE was in the range of 88-95%, and F3 treatment had the maximum EE. Based on particle size, PDI, zeta potential and EE, F3 was selected as the best nanoparticle for other assays.

According to the FTIR results, there was no change in the spectrum of nanonosome (F3) containing polyphenol peaks, and the polyphenols were properly enclosed in the nanonosomal vesicles without changing its nature. SEM results also showed vesicles with a uniform and appropriate structure. Nanonosome (F3) containing polyphenol was more stable than the control sample (polyphenol) during 60 days of storage at ambient temperature, which indicated the higher potential of nanonisomes to preserve the polyphenolic compounds during storage. The release behavior in the simulated digestive system (gastric and small intestine media) indicated a diffusion-based release system, and the Kopcha model was the best model to describe the release behavior of polyphenol from the fabricated niosomes in the simulated digestive environment.

Conclusion

According to the results of this research, it is concluded that nanoencapsulation of polyphenols as a rich source of antioxidant properties inside the nanonisomes can be an effective strategy to maintain their nutritional value. These nanonisomes can be utilized to produce functional foods, and the effects of their addition on the physico-chemical properties of a model food can be investigated.

Keywords: Antioxidant, Bioactive, Functional, Nanoencapsulation

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۴۵-۲۹

تهیه نانونیوزوم در غلظت‌های مختلف کلسترول با روش هیدراتاسیون لایه نازک برای نانوریزپوشانی ترکیبات پلی‌فنلی خالص

زهره گنجه سلطان‌آبادی^۱ - رضوان شاددل^{۲*} - یونس زاهدی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵

چکیده

هدف از این مطالعه تهیه نانوکپسول‌های نانونیوزومی به منظور حفاظت از ترکیبات پلی‌فنلی و سپس ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی نانونیوزوم‌های حاصله بود. ۴ فرمول نانوذرات نیوزومی با استفاده از ۱۴۰ میلی‌گرم سورفکتانت‌های غیریونی اسپن ۶۰ و توئین ۸۰ با نسبت ۱:۳ و کلسترول به مقدار ۰ (F1)، ۱۰ (F2)، ۲۰ (F3) و ۳۰ (F4) (۱۴۰ mg/mg) سورفکتانت با استفاده از روش هیدراتاسیون لایه نازک تولید شد. اندازه ذرات، شاخص توزیع اندازه ذرات (PDI)، پتانسیل زتا و بارده ریزپوشانی روی نانونیوزوم‌ها ارزیابی شد. پس از انتخاب نانونیوزوم با بهترین خصوصیات، تصویربرداری میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، طیف‌سنجی مادون قرمز (FTIR) و پایداری شیمیایی نانونیوزوم‌ها در مدت ۶۰ روز نگهداری بررسی شد. نتایج نشان داد که میانگین اندازه ذرات، PDI و پتانسیل زتا برای فرمول‌های مختلف نانونیوزوم به ترتیب در محدوده ۳۵۴-۱۰۳/۵ نانومتر، ۰/۹۲-۰/۱۷ و ۵۰/۳۵ تا ۶۵/۳۶ میلی‌ولت قرار گرفت. مقدار بارده ریزپوشانی در دامنه ۹۵-۸۸٪ واقع شد که تیمار F3 دارای بیشینه بارده بوده و بر اساس اندازه ذرات، PDI و پتانسیل زتا بعنوان نانونیوزوم با بهترین خصوصیات برای سایر آزمون‌ها انتخاب گردید. بر اساس نتایج FTIR در طیف نانونیوزوم (F3) حاوی پلی‌فنل پیک‌ها تغییری نداشت و ترکیب پلی‌فنلی به‌طور مناسبی در ساختار نانونیوزوم بدون تغییر ماهیت محصور شده بود. همچنین نتایج SEM و زیگول‌های با ساختار یکنواخت و مناسب را نشان داد. نانونیوزوم (F3) حاوی پلی‌فنل در مدت ۶۰ روز نگهداری در دمای محیط پایداری بالاتری نسبت به نمونه شاهد (پلی‌فنل) داشت که نشان‌دهنده توانایی بالای نانونیوزوم در حفظ ترکیبات پلی‌فنلی در زمان نگهداری بود و به‌عنوان بهترین نمونه جهت حفاظت از ترکیبات پلی‌فنلی برای تولید غذاهای عملگرا می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، بر اساس پروفایل رهایش نانوحامل‌های توسعه‌یافته، بیشتر پلی‌فنل‌ها در روده کوچک آزاد شدند؛ مدل کوپچا می‌تواند رفتار رهایش پلی‌فنل از نانو حامل‌های ساخته شده را توصیف کند.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، زیست‌فعال، فراسودمند، نانوریزپوشانی

مقدمه

پلی‌فنل‌ها متابولیت‌های ثانویه موجود در همه گیاهان آوندی هستند که در طول رشد طبیعی آن‌ها یا در پاسخ به شرایط استرس محیطی سنتز می‌شوند (Munin & Edwards-Lévy, 2011). تعداد زیادی از ترکیبات پلی‌فنلی آلی، مصنوعی یا نیمه‌مصنوعی از ترکیب

ساده اسیدگالیک تا ترکیبات پیچیده شناخته شده است (Quideau et al., 2011; Vetrani et al., 2014). پلی‌فنل‌ها از جمله فلاونوئیدها، تانن‌ها، لیگنان‌ها و استیلبن‌ها مواد گیاهی آنتی‌اکسیدانی رایج در رژیم غذایی انسان هستند. بسیاری از گیاهان معطر و دارویی، میوه‌ها، سبزیجات، آجیل و دانه‌ها غنی از پلی‌فنل بوده که برای افزایش سلامتی و طول عمر مفید هستند در واقع به نوعی غذا-درو می‌باشند (Mustafa et al., 2020). ترکیبات غذا-دارو اجزایی از ماده غذایی هستند که علاوه بر داشتن خواص تغذیه‌ای پایه، دارای خواص فعالیت بیولوژیکی ارزشمند و سلامتی‌بخش هستند و باعث پیشگیری و یا درمان بیماری‌ها می‌شوند. مهمترین آن‌ها شامل ویتامین‌ها،

۱ و ۲- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*) نویسنده مسئول:
(Email: r.shaddel@uma.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88833.1344>
3- Nutraceutical

و نیوزومها یکی از متداولترین و شناختهشدهترین روشها جهت بهبود رهایش، جذب، توزیع و زیستدسترسی و همچنین تثبیت آنها در برابر طیف وسیعی از مواد است (Gorjian et al., 2021).

نانونیوزومها ذرات کلئیدی هستند که از مولکولهای لیپیدی تشکیل شدهاند و به محض واکنش با آب، بهصورت غشاهای دولایه‌ای تشکیل می‌شوند. وارد شدن انرژی و نیروی برشی مانند هموژنیزاسیون و سونیکاسیون منجر به تشکیل ساختارهای کروی یا وزیکولها می‌شود (Sguizzato et al., 2021). نیوزومها دارای ساختارهای میکروسکوپی لایه‌ای هستند که از هیدراتاسیون کلسترول با سورفکتانت‌های غیریونی در محیط آبی تهیه می‌شوند و از سیستم‌های مهم دارورسانی و غنی‌سازی غذا می‌باشند. ساختارهای دولایه نیوزم شامل یک فضای توخالی در مرکز است و به‌دلیل هندسه خاص خود می‌توانند مواد زیست‌فعال و یا داروهای آب‌دوست و همچنین آگریز را در ساختار خود محصور کنند. نیوزومها مقرون به صرفه‌تر از لیپوزومها هستند و به‌طور گسترده به‌عنوان جایگزین برای لیپوزومها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. آنها از نظر شیمیایی و فیزیکی پایدارتر هستند و ممکن است جذب سلولی بیشتری داشته باشد. علاوه بر این، آنها دارای مزیت‌هایی مانند زیست‌تخریب‌پذیری، زیست‌سازگاری، عدم سمیت و راندمان ریزپوشانی بالا هستند و با دامنه گسترده‌تری از اندازه (۱۰-۱۰۰ نانومتر) قابل تهیه هستند. از لحاظ حلالیت، نیوزومها طیف وسیع‌تری از ترکیبات شامل انواع هیدروفیل (در داخل یک فاز آبی) و لیپوفیل (در ناحیه به خصوصی در بیرون لایه‌های چربی) را به دام می‌اندازند (Khoee & Yaghoobian, 2017; Imran et al., 2016). با وجود این مزایا، نیوزومها دارای معایبی همچون توده‌ای شدن، نشت ترکیبات ریزپوشانی شده و هیدرولیز می‌باشد (Bhardwaj et al., 2020).

علی‌رغم تمام مزایای ذکر شده برای پلی‌فنل‌ها، این ترکیبات به‌دلیل وجود پیوندهای غیراشباع در ساختارهای مولکولی دارای واکنش‌پذیری بالا بوده و تحت شرایط مختلف مانند اکسیژن، دما، نور، تغییرات pH، فعالیت آبی و آنزیم‌ها سریع تجزیه می‌گردند. همچنین، در دستگاه گوارش زیست‌دسترسی کمی داشته و کاملاً جذب نمی‌شوند (Clifford et al., 2017; Khan et al., 2016). علاوه بر اینها، بسیاری از پلی‌فنل‌ها طعم نامطلوبی دارند که باید قبل از ترکیب آنها در مواد غذایی یا داروهای خوراکی پوشانده شود؛ برای غلبه بر این مشکلات، استفاده از نانوحامل‌ها پیشنهاد شده است (Munin & Edwards-Lévy, 2011). در یک دهه گذشته به‌دلیل مزایا و قابلیت‌های متعدد، تحقیقات انجام شده در زمینه کپسوله‌سازی ترکیبات حساس دارویی و غذایی درون نانونیوزومها به‌منظور حفاظت از ترکیبات مؤثره مانند پلی‌فنل‌ها، افزایش زیست‌دسترسی و پوشاندن

کاروتنوئیدها، آنتوسیانین‌ها، فلاونوئیدها، استرول‌ها و اسیدهای چرب ضروری می‌باشند (Williams et al., Birben et al., 2012). در سال‌های اخیر، انواعی از فعالیت‌های زیستی اسیدهای فنولیک از جمله فعالیت ضد سرطانی، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، بازدارندگی در برابر ویروس هپاتیت C، ضد باکتریایی و ضد ویروسی، کاهش آنژین قلبی و فشار خون بالا، اثربخشی در برابر دیابت، بیماری‌های قلبی-عروقی و بیماری نورودژنراتیو^۱ گزارش شده است (Shahidi & Yeo, 2016). دریافت پلی‌فنل‌ها با مصرف انواع زیادی از مواد غذایی گیاهی حاصل می‌شود، زیرا منبع اصلی پلی‌فنل‌ها غذاهایی مانند عسل، حبوبات و میوه‌هایی مانند سیب، انار، توت‌فرنگی، شاه‌توت، زغال‌اخته، تمشک، گیلان، طالبی، انگور، آلو و گلابی هستند. علاوه بر این، سبزیجاتی مانند جعفری، کلم بروکلی، کرفس، کلم و پیاز، چای سبز، چای سفید، چای سیاه، شکلات و همچنین روغن زیتون سرشار از پلی‌فنل هستند (Birben et al., 2012; Williams et al., 2004; Mustafa et al., 2020). پس از مصرف غذا ترکیبات فنلی توسط آنزیم‌ها و شرایط pH از ماتریکس غذایی در دستگاه گوارش آزاد می‌شوند. فنل‌های آزاد شده در روده کوچک جذب و به دنبال آن با ترکیبات دیگر ترکیب می‌شوند و وارد سیستم گردش خون می‌شوند (Shahidi & Yeo, 2016).

ریزپوشانی فرآیندی است که به موجب آن مواد زیست‌فعال در کپسول‌هایی پوشش داده شده و یا به دام می‌افتند تا در برابر شرایط بد محیطی مانند دمای بالا، اکسیژن، نور، تغییرات pH، برهم‌کنش‌های نامطلوب با سایر ترکیبات و غیره محافظت شده تا انتقال هدفمند اجزای زیست‌فعال بارگذاری شده به محل مورد نظر با میزان مناسب، از طریق انتخاب صحیح دیواره فراهم شود (Lashkari, 2022). در سال‌های اخیر در صنایع غذایی به علت نیاز به افزودن ترکیبات زیست‌فعال در محصولات غذایی ریزپوشانی مورد توجه قرار گرفته است و به‌دلیل حساس بودن ترکیبات زیست‌فعال به شرایط محیطی، فرآوری مواد غذایی و نیز شرایط اسیدی-صفاوری دستگاه گوارش، ریزپوشانی جهت محافظت مؤثر از آنها به کار برده می‌شود (Nedovic et al., 2011). سیستم‌های حامل شامل ترکیبات زیست‌فعال ریزپوشانی شده در مواد دیواره هستند. موادی که در تهیه دیواره استفاده می‌شود باید بر پایه اجزای غذایی بوده، زیست‌تخریب‌پذیر باشد و همچنین توانایی تشکیل مانع بین فاز درونی و اطراف را داشته باشد (Sozer & Kokini, 2009). نانوحامل‌های با قابلیت تولید در صنایع غذای شامل انواع بر پایه بیوپلیمرها و لیپیدها (نانولیپوزومها، نانونیوزومها، نانوامولسیونها و میکروامولسیونها) می‌باشند. کپسوله کردن ترکیبات زیست‌فعال طبیعی توسط لیپوزومها

خط منحنی استاندارد اسید گالیک حاصل مشخص گردید (معادله ۱) (Shahidi & Naczsk, 2003). در این معادله y جذب نمونه مجهول و x غلظت نمونه مجهول را نشان می‌دهد:

$$y = 0.0013x \quad (1)$$

آماده‌سازی نیوزوم‌های حاوی پلی‌فنل

در این پژوهش از تکنیک هیدراتاسیون لایه نازک به روش علمی و همکاران (Elmi et al., 2021) با کمی تغییرات استفاده شد. برای این منظور مقادیر مشخصی از سورفکتانت‌های غیریونی اسپن ۶۰ و توئین ۸۰، طبق جدول ۱، توزین و به بالن ۵۰ میلی‌لیتر منتقل شد. از آنجایی که نانوذرات نیوزوم به دو صورت با کلسترول و بدون کلسترول سنتز می‌شوند، در نمونه‌های حاوی کلسترول به نسبت تعیین شده کلسترول وزن و به محتویات بالن اضافه شد. در نمونه فاقد کلسترول، فقط مقادیر مشخص شده از مخلوط سورفکتانت‌ها وجود دارد. سپس، ۱۰ میلی‌لیتر حلال کلروفرم به مخلوط آنها اضافه کرده و با دستگاه تبخیر کننده چرخان (مدل Labtech 400EV-ایتالیا) با حمام آب 60°C و تعداد چرخش ۹۰ دور در دقیقه حلال کلروفرم تحت شرایط خلا تبخیر گردید. در این مرحله یک فیلم نازک در اطراف دیواره بالن تشکیل می‌شود که حاوی نیوزوم‌های سنتز شده با ابعاد میکرو و به‌صورت وزیکول‌های چند لایه‌ای می‌باشند. پس از آن، مرحله هیدراته کردن نیوزوم‌ها انجام شد؛ برای این منظور ۱۰ میلی‌لیتر آب دو بار تقطیر حاوی ۰/۰۲ گرم پودر پلی‌فنل با دمای $^{\circ}\text{C}$ ۶۵ به بالن دستگاه تبخیر کننده چرخان اضافه شد و هیدراتاسیون به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۹۰ دور در دقیقه بدون خلا انجام شد. محلول حاصل از روتاری اواپراتور جهت یکنواخت‌تر شدن و همگن شدن، توسط دستگاه هموژنایزر تحت همزدن مکانیکی به مدت ۱۵ دقیقه و سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه قرار گرفت. سپس، برای کاهش اندازه ذرات نیوزوم و تبدیل وزیکول‌های چندلایه‌ای به وزیکول‌های تک لایه‌ای از دستگاه اولتراسونیک هموژنایزر (مدل Ultrasonic Homogenizer FAPAN 300 R-ایران) به مدت ۱۰ دقیقه با ۱ دقیقه فاصله و از حمام یخ برای جلوگیری از آسیب دیدن وزیکول‌ها استفاده شد. در پایان نانوذرات سنتز شده در داخل ویال‌های شیشه‌ای محافظت شده با فویل‌های آلومینیومی در دمای $^{\circ}\text{C}$ ۴ نگهداری شد تا آزمون‌های تعیین اندازه ذرات، پتانسیل زتا، پایداری فیزیکی و شیمیایی و بازده ریزپوشانی انجام گیرد.

طعم نامطلوب روند رو به رشدی را تجربه نموده است. بر اساس بررسی منابع تاکنون پژوهش‌های اندکی در مورد نانوریزپوشانی ترکیبات پلی‌فنلی با نانونیوزوم انجام شده است. لذا هدف از این پژوهش تولید نانونیوزوم‌های حاوی ترکیبات پلی‌فنلی از طریق تعیین نسبت مناسب سورفکتانت به کلسترول در دیواره نیوزوم و سپس تعیین ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی آن‌ها بود.

مواد و روش‌ها

کلسترول از شرکت سیگما آلدیج آلمان، فولین سیوکالچو، اسید گالیک، سوربیتان مونواسترات ۶۰ و پلی‌اکسی اتیلن سوربیتان ۸۰ از شرکت مرک آلمان، کلروفرم و کربنات سدیم از شرکت آروین شیمی دلتا و پودر پلی‌فنل از شرکت صنایع غذایی آراد نوین رویش ایرانیان تهیه گردید.

اندازه‌گیری ترکیبات پلی‌فنلی

برای رسم منحنی کالیبراسیون، محلول استوک اسیدگالیک در غلظت ۴۰۰ ppm آماده گردید. برای این منظور ۴۰ میلی‌گرم اسیدگالیک با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. سپس، رقت‌های ۲۰۰-۰ میلی‌گرم بر لیتر (۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰، ۵۰، ۲۵، ۰) میلی‌گرم بر لیتر از آن تهیه و به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسید. ۰/۵ میلی‌لیتر از هر کدام از رقت‌های مختلف اسیدگالیک به بالن‌های ۲۵ میلی‌لیتری انتقال داده شد و با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰٪ فولین سیوکالچو کاملاً ترکیب شدند؛ سپس به هر کدام ۲ میلی‌لیتر محلول ۷/۵٪ کربنات سدیم اضافه شد. این محلول‌ها بصورت کاملاً فویل‌پیچی شده (برای جلوگیری از ورود نور) به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب آن‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Bel Photonics UV-M51، ایتالیا) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. منحنی کالیبراسیون غلظت اسید گالیک در برابر میزان جذب ترسیم شده و معادله مربوط به آن به دست آمد. در مرحله بعد، محلول پلی‌فنل در غلظت ۲۵۲۰ ppm تهیه شد. ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول پلی‌فنل با ۲/۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰٪ فولین سیوکالچو مخلوط شد. سپس، ۲ میلی‌لیتر محلول کربنات سدیم ۷/۵٪ به آن افزوده شد و به‌صورت کاملاً فویل پیچ به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق نگهداری شد. برای تهیه نمونه شاهد ۰/۵ میلی‌لیتر آب مقطر جایگزین پلی‌فنل شد و سپس فولین سیوکالچو و کربنات سدیم اضافه گردید و جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد. مقدار ترکیبات فنلی برحسب میلی‌گرم اسید گالیک در گرم پلی‌فنل بر اساس معادله

جدول ۱- ترکیبات تشکیل دهنده نانونیوزوم‌های مختلف

Table 1- Chemical compositions of different nanoniosomes

کلسترول Cholesterol (mg/ 140 mg surfactant)	پلی فنل Polyphenol (mg/140 mg surfactant)	توئین ۸۰ : اسپن ۶۰ Span 60 : Tween 80	نمونه Sample
0	20	3 : 1	F ₁
10	20	3 : 1	F ₂
20	20	3 : 1	F ₃
30	20	3 : 1	F ₄

شکستن دیواره نیوزومی در بخش ریزپوشانی شده از کلروفرم با نسبت ۱ به ۱ استفاده شد. در ادامه بخش ریزپوشانی شده به مدت ۱۰ دقیقه روی شیکر قرار گرفت. در اثر تکان خوردن کلروفرم در قسمت زیرین نمونه و قسمت ریزپوشانی شده در قسمت بالای فالدون فیلتر آمیکون قرار گرفت که برای تعیین غلظت هر دو قسمت از اسپکتروسکوپی با طول موج ۷۶۵ نانومتر استفاده گردید. همچنین قسمت آزاد نمونه نیز به درون ظرفی منتقل شد و غلظت آن نیز در طول موج ۷۶۵ نانومتر تعیین شد. برای محاسبه درصد ریزپوشانی از رابطه (۲) استفاده گردید:

$$X = \frac{\text{مقدار پلی فنل کپسوله شده در نانونیوزوم}}{\text{مقدار پلی فنل کپسوله شده در نانونیوزوم + مقدار پلی فنل آزاد}}$$

درصد ریزپوشانی = 100

(۲)

پایداری محلول نیوزوم حاوی پلی فنل

پایداری فیزیکی به صورت بصری و با بررسی دوفازه شدن محلول‌ها طی دو ماه نگهداری در دمای محیط مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی تأثیر ساختار نیوزوم برای پایداری شیمیایی، ترکیبات فتولی آزاد و کپسوله شده در طی ۶۰ روز نگهداری در دمای ۲۵°C در فواصل زمانی ۱۵ روز توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۵ نانومتر اندازه‌گیری و با روز اول مقایسه گردید (Pezeshky et al., 2016).

طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

به منظور بررسی هرگونه برهمکنش احتمالی، طیف‌سنجی فروسرخ تبدیل فوریه از نیوزوم خالی (بدون پلی فنل)، نیوزوم بارگذاری شده با پلی فنل و پودر پلی فنل و کلسترول توسط اسپکتروفتومتر FTIR در دامنه ۴۰۰-۴۰۰۰ cm⁻¹ انجام گردید.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

به منظور بررسی مورفولوژی، تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی از نمونه فرمولاسیون نیوزوم انتخابی حاوی پلی فنل انجام گرفت. برای این منظور، یک قطره از محلول نانونیوزمی روی لام قرار داده شد و به مدت ۳ ساعت در مجاورت هوا خشک گردید. در

ارزیابی نانونیوزوم‌های حاوی پلی فنل

اندازه ذرات، شاخص توزیع ذرات (PDI) و پتانسیل

زتا

متوسط اندازه ذرات و توزیع اندازه ذرات نانونیوزوم‌های تولید شده با استفاده از دستگاه پراکنش پویای نور لیزر^۲ (Horiba, SZ-100) (ژاپن) اندازه‌گیری شد. برای این منظور ابتدا محلول حاوی نانونیوزوم با آب مقطر به نسبت ۱ به ۱۰۰ مخلوط شد. سپس، نمونه درون یک سلول استوانه‌ای ریخته شد و به شکل عمودی در دستگاه قرار گرفت. متوسط اندازه ذرات بر اساس میانگین قطر حجمی تعیین شد.

پتانسیل زتا

برای تعیین پتانسیل زتای نمونه‌های نانونیوزوم از دستگاه زتاسایزر (Horiba, SZ-100 - ژاپن) استفاده شد. برای این منظور، هر یک از نمونه‌ها نخست با استفاده از آب مقطر ۵۰ برابر رقیق شد. سپس، نمونه‌ها توسط سرنگی به داخل لوله موئین (سل) منتقل و لوله موئین در محل مخصوص در داخل دستگاه قرار گرفت. اندازه‌گیری پتانسیل زتا در دمای ۲۵°C و توان ۱۴۹ وات انجام شد.

بازده ریزپوشانی

جهت اندازه‌گیری بازده ریزپوشانی از روش علمی و همکاران (Elmi et al., 2021) با کمی تغییرات استفاده شد. برای این منظور از دستگاه اسپکتروفتومتر (Bel Photonics مدل UV-M51، ایتالیا) بر اساس اندازه‌گیری پلی فنل آزاد و به دام افتاده استفاده شد. ۵۰۰ میکرولیتر سوسپانسیون نیوزومی را جهت انحلال کامل پلی فنل با ۳/۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل شده و سپس، برای جدا کردن پلی فنل ریزپوشانی شده و آزاد از سانتریفیوژ با ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه استفاده شد که در آخر قسمت ریزپوشانی شده در بالای فیلتر آمیکون و قسمت آزاد نمونه در پایین ظرف قرار گرفت. جهت

1- Polydispersity Index

2- Dynamic light scattering

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. آنالیز واریانس یک طرفه داده‌های حاصل از آزمون‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شده و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ مقایسه گردید. برای رسم نمودارها نیز نرم‌افزار Excel مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

اندازه ذرات نانونیوزوم‌ها

بر اساس نتایج بدست آمده تأثیر استفاده از مقادیر مختلف کلسترول بر میانگین اندازه ذرات (Z-Average) نانونیوزوم‌ها معنی‌دار بود ($P < 0.05$). اندازه ذرات پارامتر مهمی در مواد غذایی است که مستقیماً بر خصوصیات ظاهری، خصوصیات حسی، پایداری، بازده ریزپوشانی (EE)، مشخصات رهاسازی و عملکرد بیولوژیکی آن (افزایش جذب خوراکی ریز مغذی به دام افتاده در نانونیوزوم) مؤثر است (Danaee et al., 2015). از عوامل تأثیرگذار در کاهش اندازه ذرات نیوزوم‌ها نوع اولتراسونیک مورد استفاده می‌باشد. جهت بررسی تأثیر محتوای کلسترول بر میانگین اندازه ذرات نیوزوم‌ها، فرمولاسیون‌های مختلف تهیه و اندازه ذرات بررسی گردیده است. نتایج بررسی اندازه ذرات در شکل ۱ نشان داده شده است. میانگین قطر هیدرودینامیکی ذرات، همان اندازه ذرات را نشان می‌دهد، کوچکترین و بزرگترین اندازه ذرات تولید شده در این پژوهش به ترتیب 103.5 ± 1.27 و 354.2 ± 2.11 نانومتر بود که در محدوده مناسب ذرات نانو قرار دارد و می‌تواند ویژگی‌های منحصر به فرد نانوذرات را نشان دهند. این اندازه‌ها به دلیل شرایط خاص تولید و فرآوری ذرات به دست آمده‌اند و می‌توانند در کاربردهای مختلف صنایع غذایی مفید باشند.

همانطور که در نتایج مشاهده می‌شود، استفاده از کلسترول تا ۲۰ mg در فرمول نانونیوزوم (F1 تا F3)، میانگین اندازه ذرات کاهش یافته است اما با افزایش میزان کلسترول به ۳۰ mg (F4)، میانگین اندازه ذرات بیشتر شده است. افزودن کلسترول می‌تواند آبریزی دو لایه را افزایش دهد و منجر به کاهش انرژی آزاد سطح و در نتیجه کاهش اندازه ذرات شود با این حال، از طرف دیگر، کلسترول می‌تواند مشابه مواد هسته فعال عمل کند و حجم وزیکول‌ها را در غلظت بالا افزایش دهد (Pezeshky et al., 2016; Nowroozi et al., 2018). علاوه بر این، کلسترول به دلیل نقش پایدارکنندگی که روی ساختار لایه‌ای در نیوزوم‌ها دارد، سبب افزایش پایداری وزیکول‌ها در مقابل امواج فراصوت می‌شود. بنابراین فراصوت قادر است در غلظت‌های پایین کاسترول به‌طور مؤثری اندازه ذرات نیوزوم‌ها را کاهش دهد بدون آنکه آسیبی به نیوزوم وارد شود. اما در غلظت‌های بالای کلسترول

ادامه لایه‌ی خشک شده توسط ورقه‌ای از طلا با استفاده از دستگاه اسپاترینگ پوشش داده شد و مشاهده و تصویربرداری از ساختار نانونیوزوم‌ها با بزرگنمایی ۳۰ هزار و ۵۰ هزار توسط میکروسکوپ الکترونی انجام شد.

رهایش برون تنی پلی‌فنل‌ها از نانولیپوزم (مایع شبیه‌سازی شده معده و روده)

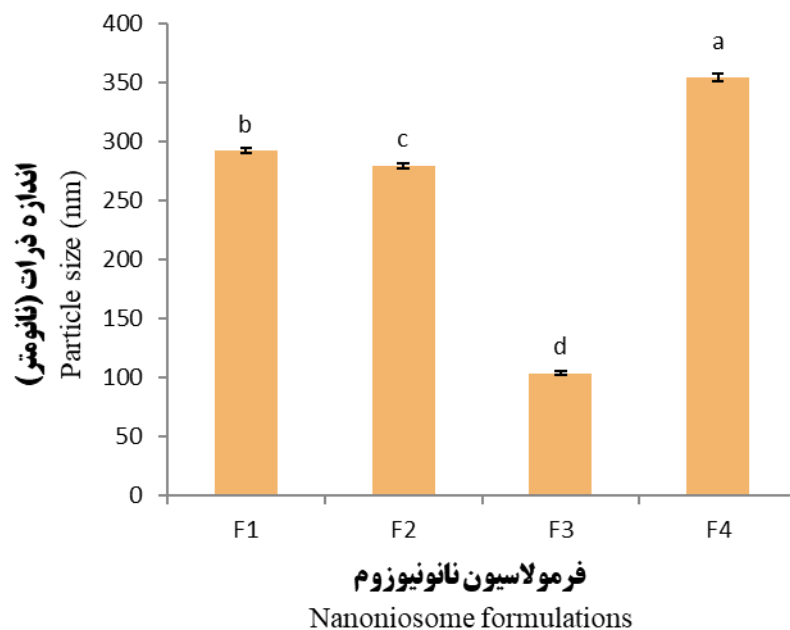
مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) بر اساس روش توصیف شده توسط مولاویدی و همکاران (Molaveisi et al., 2021) تهیه شد. ابتدا، پلی‌فنل‌ها از طریق سانتریفیوژ با سرعت ۹۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه جدا شدند. سپس نانولیپوزوم به مایع شبیه‌سازی شده که شامل $NaCl$ ۰/۲ w/w و w/w ۰/۳۲ پپسین مشتق شده از مخاط معده خوک بود، اضافه شد. نانولیپوزوم و SGF به نسبت ۲:۱ در pH ۲ مخلوط شدند. مخلوط حاصل در حمام آب با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد تحت تکان دادن قرار گرفت (Molaveisi et al., 2021). در فواصل زمانی مختلف، نمونه‌ها از مخلوط جمع‌آوری شدند و رهایش پلی‌فنل با قرار دادن لوله‌های اپندورف در آب سرد متوقف شد. غلظت پلی‌فنل آزاد شده با استفاده از اسپکتروفتومتری و اندازه‌گیری‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر تعیین شد. آزمایش‌ها با سه تکرار انجام شدند.

رهایش پلی‌فنل در مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF) بر اساس روش پیشنهادی توسط سیدآبادی و همکاران (Seyedabadi et al., 2021) ارزیابی شد. بخشی از محیط SGF که قبلاً هضم شده بود، در SIF که شامل $CaCl_2$ 30 mM، Tween® 80 ۰/۵ w/v و w/w ۰/۵ نمک‌های صفراوی و ۲۵mM پتاسیم دی‌هیدروژن فسفات در pH ۶/۸ بود، انکوبه و مجدداً استفاده شد. مخلوط در حمام آب تکان‌دهنده با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد و سرعت تکان دادن ۱۷۰ دور در دقیقه قرار گرفت. در فواصل زمانی مختلف، نمونه‌ها از مخلوط انکوبه شده جمع‌آوری شدند و فرآیند هیدرولیز با قرار دادن لوله‌های اپندورف در حمام آب یخ به مدت ۱۵ دقیقه متوقف شد. سپس نمونه‌ها دو مرحله سانتریفیوژ شدند: مرحله اول با سرعت ۹۰۰۰ g به مدت ۱۵ دقیقه برای حذف ذرات رسوبی، و مرحله دوم با سانتریفیوژ کردن سوپرناتان حاوی پلی‌فنل آزاد با سرعت ۳۳۰۰ g به مدت تقریباً ۲۰ دقیقه. در نهایت، سوپرناتان از طریق فیلتر غشایی (۶ Vivaspin®، MWCO 100، Cytiva؛ kDa، ایتالیا) فیلتر شد. محتوای پلی‌فنل با استفاده از اسپکتروفتومتری و اندازه‌گیری‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر تعیین شد (Seyedabadi et al., 2021).

تجزیه و تحلیل آماری

نانونیوزمها دچار افزایش گردید ولی در مورد امولسیفایرهای اسپان ۸۰، توئین ۲۰ و توئین ۸۰ روند افزایشی اندازه نانونیوزمها با بیشتر شدن مقدار کلسترول ثبت گردید (Ravaghi et al., 2016). در تحقیق دیگری، مقامی کیا و همکاران (Maqamikia et al., 2021) گزارش نمودند در حضور اسپان ۶۰، افزایش کلسترول سبب افزایش اندازه نانونیوزمها و در صورت استفاده از توئین ۲۰ و یا ۸۰ با افزایش کلسترول اندازه نانونیوزمها کاهش خواهد یافت.

به دلیل سختی مولکول آن می تواند اثر پایدارکنندگی کلسترول از بین رود و ذرات درشتی تشکیل شوند (Maqamikia et al., 2021). بطور مشابهی پاتل و همکاران (Patel et al., 2012) مشاهده نمودند در نانونیوزمهای تهیه شده از اسپان ۴۰ با افزایش غلظت کلسترول در غشای نانونیوزومی در ابتدا اندازه وزیکولها از ۱۶۹ به ۱۰۵ نانومتر رسیده و سپس مجدداً تا ۱۱۴ نانومتر افزایش یافت. در تحقیقی افزایش غلظت کلسترول در حضور امولسیفایر اسپان ۶۰ در ابتدا منجر به کاهش اندازه نانونیوزومی و با بیشتر شدن سطح کلسترول قطر



شکل ۱- اندازه ذرات نمونه های نانونیوزوم تهیه شده با سورفکتانت های اسپن ۶۰ و توئین ۸۰ با نسبت ۱:۳ و کلسترول به مقدار ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰

(حروف متفاوت روی هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار می باشد ($p < 0.05$))

Fig. 1. The particle size of nanoniosome samples prepared with Span 60 and Tween 80 surfactants with a ratio of 1:3 and cholesterol in the amount of 0, 10, 20 and 30 mg.

Different letters on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$)

کمتر از ۰/۲ می باشند تحت عنوان سیستم های یکپارچه یا مونودیسپرس شناخته می شوند که از پایداری قابل توجهی طی دوره نگهداری برخوردار خواهند بود.

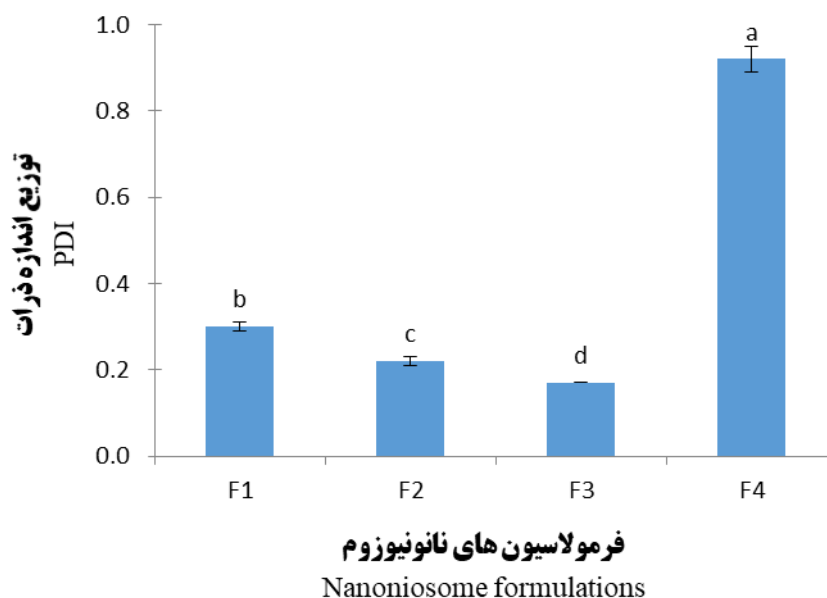
اضافه کردن ۲۰ mg کلسترول توزیع اندازه ذرات را یکنواخت تر نمود به طوری که در این نمونه شاخص PDI ۰/۱۷ بود، اما افزایش کلسترول تا ۳۰ mg سبب افزایش توزیع اندازه ذرات شد. کلسترول به دلیل نقش پایدارکنندگی که روی ساختار لایه ای در نیوزومها دارد، سبب افزایش پایداری می شود. اما در غلظت های بالای کلسترول به دلیل سختی مولکول آن می تواند اثر پایدارکنندگی کلسترول از بین

توزیع اندازه ذرات (PDI)

بر اساس نتایج بدست آمده تأثیر استفاده از مقادیر مختلف کلسترول بر شاخص توزیع اندازه ذرات (PDI) نانونیوزومها معنی دار بود ($P < 0.05$). همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می گردد مقادیر PDI در محدوده ۰/۱۷-۰/۹۲ می باشد. کمترین مقدار در نمونه حاوی ۲۰ mg کلسترول (F3) و بیشترین مقدار برای نمونه حاوی ۳۰ mg کلسترول (F4) مشاهده شد. شاخص پایین PDI بیانگر یکنواختی توزیع ذرات می باشد و PDI در حدود ۰/۲ مقدار قابل قبول برای توزیع مناسب خواهد بود. سیستم هایی که دارای شاخص PDI

با افزایش نسبت مولی کلسترول به امولسیفایر، توزیع اندازه ذرات و نیز شاخص پراکندگی افزایش می‌یابد. همچنین، شاخص PDI برای نیوزوم‌های تهیه شده در این پژوهش در محدوده ۰/۱۸ تا ۰/۷۲ بود.

رود و ذرات درشتی تشکیل شوند (Essa, 2010). همان‌طور که بیان شد این رفتارها ممکن است ناشی از نقش پایدارکنندگی کلسترول در مقادیر پایین‌تر نسبت به مقادیر بالاتر در فرمولاسیون نیوزوم‌ها می‌باشد. نتایج مشابه با سایر محققین گزارش شده است؛ مقامی‌کیا و همکاران (Maqamikia et al., 2021) در پژوهش خود نشان دادند



شکل ۲- اندازه ذرات نمونه‌های نانونیوزوم تهیه شده با سورفکتانت‌های اسپن ۶۰ و توئین ۸۰ با نسبت ۱:۳ و کلسترول به مقدار ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰

(حروف متفاوت روی هر ستون نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$))

Fig. 2. Polydispersity index (PDI) of nanoniosome samples prepared with Span 60 and Tween 80 surfactants with a ratio of 1:3 and cholesterol in the amount of 0, 10, 20 and 30 mg.

Different letters on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$)

سیستم است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود استفاده از کلسترول در فرمولاسیون نانونیوزوم سبب کاهش پتانسیل زتا در نانونیوزوم‌ها گردید اما بین نانونیوزوم‌های حاوی ۲۰ و ۳۰ mg کلسترول تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($P > 0.05$). مقدار پتانسیل زتا در این پژوهش در دامنه ۵۰/۳۵- تا ۶۵/۶- میلی‌ولت به دست آمده است. نانونیوزوم‌هایی با مقادیر پتانسیل زتا بالاتر از ۳۰+ میلی‌ولت یا کمتر از ۳۰- میلی‌ولت، پایداری الکترواستاتیکی طولانی‌مدت از خود نشان می‌دهند (Gorjian et al., 2021). پایداری ذرات به علت برهمکنش‌های جذبی مانند جاذبه الکتروستاتیک از بین می‌رود. وزیکول‌های لیپیدی به علت خواص ترمودینامیکی دارای ساختار ناپایدار هستند و طی دوره نگهداری ممکن است توده‌ای شده و رسوب کنند، با تشدید دافعه بین‌مولکولی و همچنین تشدید دافعه الکتروستاتیک، این امکان وجود دارد که از توده‌ای شدن و تشکیل

پتانسیل زتا

بررسی نتایج بدست آمده استفاده از مقادیر مختلف کلسترول در فرمول‌های مختلف نانونیوزوم‌ها بر میزان پتانسیل زتا، تفاوت معنی‌داری در سطح معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0.05$). پتانسیل زتا بهترین شاخص برای تعیین وضعیت الکتریکی سطحی دیسپرسیون‌ها است که بار کلی ذره در یک محیط مایع را نشان می‌دهد و شامل اختلاف پتانسیل بین لایه یونی متحرک و لایه غیرمتحرک می‌باشد زیرا نشان‌دهنده میزان تجمع بار در لایه غیرمتحرک و شدت جذب یون‌های مخالف به سطح ذره است. آگاهی از پتانسیل زتا می‌تواند به کنترل تجمع و همجوشی نانولیپوزوم‌ها که از عوامل مؤثر بر پایداری سیستم‌های لیپوزوم هستند کمک کند (Mozafari, 2010). مقادیر پتانسیل زتای منفی می‌تواند برهمکنش دافعه‌ای بین ذرات ایجاد کرده و از تجمع جلوگیری کند که نشان‌دهنده پایداری فیزیکی خوب

زیرا بین لایه‌های دوتایی توزیع می‌شود، فضای خالی را اشغال می‌کند و سیالیت غشاء را کاهش می‌دهد، بنابراین باعث افزایش بازده ریزپوشانی می‌شود (Chen et al., 2019). راملی و همکاران (Ramli et al., 2021) نیز تایید کردند که افزایش بیش از حد نسبت کلسترول تأثیر منفی بر بازده ریزپوشانی برهموم با استفاده از نانولیپوزوم داشته است. بازده بالای ریزپوشانی در مقادیر کم کلسترول را می‌توان به بهبود پایداری غشا به دلیل تأثیر کلسترول بر تقلیل سیالیت غشا نسبت داد و کارایی پایین در نسبت‌های بیشتر کلسترول را به گسیختگی غشا در مقادیر زیاد کلسترول نسبت داد (Fan et al., 2008).

تحقیقات متفاوتی روی تأثیر کلسترول در ترکیب نانولیپوزوم بر بازده ریزپوشانی انجام شده است؛ در تحقیق انجام گرفته توسط علمی و همکاران (Elmi et al., 2021) بالاترین بازده ریزپوشانی کوئرتستین در نانولیپوزوم حاوی ۵ mg فیتوسترول (۹۵/۶۸٪) مشاهده شد، این محققین بیان کردند که ماهیت چربی دوست فیتواسترول، سبب قرار دادن آن بین دو لایه چربی دوست شده و سفتی غشاء را افزایش داده که احتمالاً منجر به کاهش خروج کوئرتستین به محیط بیرونی شده است، با این حال، مقادیر بالاتر فیتواسترول باعث کاهش راندمان ریزپوشانی شد، زیرا مقادیر اضافی فیتواسترول با کوئرتستین برای ترکیب در دو لایه آبگریز رقابت می‌کند. رواقی و همکاران (Ravaghi et al., 2016) نیز نشان دادند که کلسترول می‌تواند بازده ریزپوشانی نیوزوم‌های حاوی کانتاگران‌تین را افزایش دهد اما مقادیر اضافی کلسترول بازده ریزپوشانی را کاهش می‌دهد. نتایج مشابهی توسط مقسومی و همکاران (Moghassemi et al., 2017) به دست آمد؛ آن‌ها نیوزوم‌های آلبومین سرم گاوی را تهیه و تأثیر کلسترول را با استفاده از درصدهای مختلف (۰، ۲۰، ۴۰ و ۸۰) بررسی کردند و بیان کردند نیوزوم‌های با ۶۰٪ کلسترول بالاترین بازده ریزپوشانی را داشته‌اند اما افزایش غلظت کلسترول بیش از ۶۰٪ باعث کاهش میزان بازده ریزپوشانی شده است. در تحقیق دیگری که بر ریزپوشانی نایسین توسط نانولیپوزوم متمرکز بوده است نتایج نشان داد که کاربرد کلسترول در تشکیل لیپوزوم، مانع گسیختگی غشای لیپوزومی توسط نایسین شده است و از طرفی نیز موجب کاهش بازده ریزپوشانی نایسین در لیپوزوم شده است (Laridi et al., 2003).

با توجه به نتایج بدست آمده از میانگین اندازه ذرات، شاخص توزیع اندازه ذرات، پتانسیل زتا و بازده ریزپوشانی، نمونه حاوی ۲۰ mg کلسترول (F3) به عنوان نمونه نانولیپوزوم با بهترین خصوصیات انتخاب گردید. سپس، پایداری در زمان ۶۰ روز نگهداری، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و FTIR برای نانولیپوزوم انتخابی بررسی شد.

وزیکول‌های بزرگتر مانعت شود. در صورت پوشش دادن سطح وزیکول‌ها با موادی که دارای بار یکسان هستند می‌توان دافعه الکتروستاتیکی کافی برای جلوگیری از توده‌ای شدن وزیکول‌ها را ایجاد کرد (Briuglia et al., 2015). علاوه بر این، نشان داده شده که وزیکول‌های آنیونی (مانند استفاده از کلسترول) به طور مؤثرتر و سریع‌تری توسط سلول‌ها نسبت به وزیکول‌های خنثی جذب می‌شوند. کلسترول از جمله مواد غیرسمی، بی خطر و ارزان قیمتی است که می‌تواند دافعه الکتروستاتیک ایجاد کرده و به عنوان پایدار کننده نانولیپوزوم استفاده شود، عواملی مانند نوع و مقدار پایدارکننده (کلسترول)، نوع و غلظت ماده فعال (پلی فنل) و نوع یون‌های موجود در محلول، تأثیر برجسته‌ای بر پتانسیل زتا نانولیپوزوم‌ها دارند دلیل پایداری نانولیپوزوم با اضافه شدن کلسترول را می‌توان به این واقعیت نسبت داد که گروه هیدروکسیل مستقر در سر کلسترول یک پیوند هیدروژنی با پلی فنل (دارای بار مثبت) ایجاد کند و آنرا به داخل غشا سوق دهد و بار منفی موجود در سورفکتانت استفاده شده (توئین و اسپن) به سطح غشا کشیده شود و بدنبال آن بار منفی بیشتر شده و باعث دفع الکتروستاتیک ذرات شود (Nakhaei et al., 2021).

جدول ۲- مقادیر پتانسیل زتا برای نانولیپوزوم‌های مختلف
Table 2- Zeta potentials of different nanoniosomes

نمونه‌های نانولیپوزوم Nanoniosomes	پتانسیل زتا Zeta potential (mV)
F1	-50.35 ± 0.51
F2	-58.42 ± 1.03
F3	-64.10 ± 0.24
F4	-65.60 ± 0.85

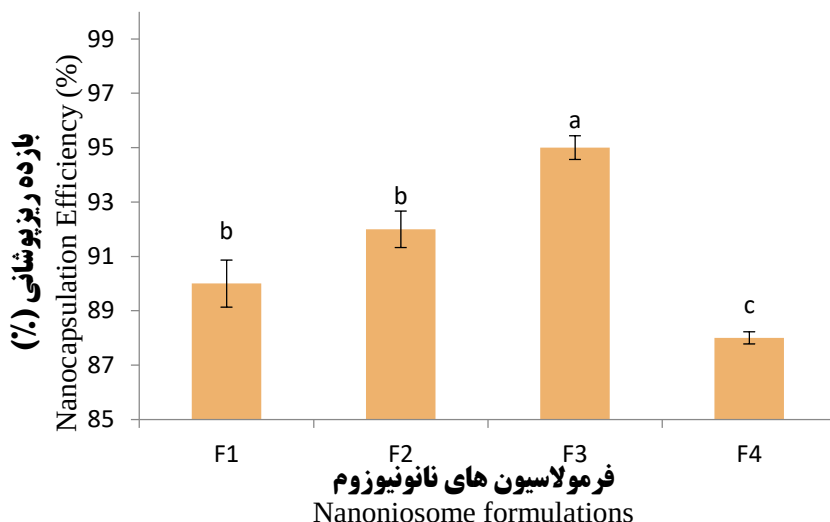
بازده ریزپوشانی

بازده ریزپوشانی یکی از مهمترین پارامترهای فیزیکی-شیمیایی در بهینه‌سازی فرمولاسیون است. بازده ریزپوشانی بالا، زیست‌دسترسی ترکیبات فعال گیاهی را تضمین می‌کند. بازده ریزپوشانی نانولیپوزوم‌ها به پارامترهای مختلفی از جمله روش ساخت نانولیپوزوم، نوع سورفکتانت‌ها، شرایط محیطی مانند دما، pH، قدرت یونی، مواد افزودنی و ماهیت ترکیب پوشش داده شده بستگی دارد. بازده ریزپوشانی نیوزوم‌ها اغلب در محدوده ۷۵-۹۰٪ گزارش شده است (Khoei & Yaghoobian, 2017). همانطور که در شکل ۳ مشخص است، اضافه کردن ۲۰ mg کلسترول در فرمول نانولیپوزوم، باعث بهبود بازده ریزپوشانی پلی فنل شده است اما با افزایش کلسترول تا ۳۰ mg، بازده ریزپوشانی پلی فنل کاهش یافته است. کلسترول به علت اثر تثبیت کننده غشاء باعث افزایش بازده ریزپوشانی می‌شود

پایداری پلی‌فنل

ریزپوشانی مواد زیست‌فعال در مقیاس نانو رویکردی است که باعث حفاظت بهتر مواد حساس، زیست‌فراهمی بالاتر آن‌ها، انحلال مواد آبگریز در محیط‌های آبی، کنترل اثرات طعمی و رنگی مواد زیست‌فعال و رهایش کنترل شده این مواد می‌گردد. بنابراین زمانی

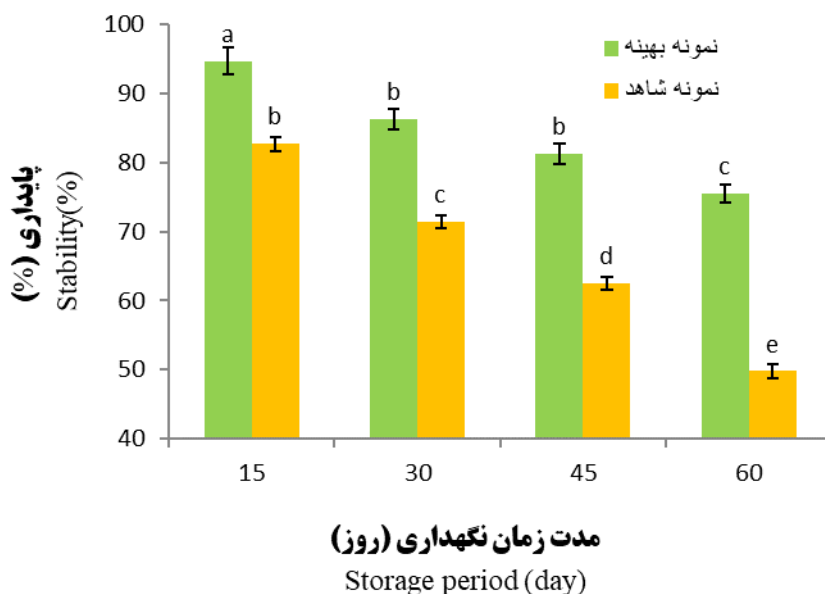
می‌توان ادعا کرد ریزپوشانی مواد زیست‌فعال موفق بوده است که ذرات حاصله در گذر زمان تا حد زیادی خاصیت اولیه خود را حفظ کنند. پایداری نیوزوم تحت تأثیر چندین پارامتر از جمله اندازه ذرات، PDI، اختلاف پتانسیل زتا، ظرفیت محصور شده و نوع سورفکتانت است (Khoee & Yaghoobian, 2017).



شکل ۳- راندمان نانوکپسولاسیون (%) نمونه‌های نانونیوزوم بارگذاری شده با پلی‌فنل‌ها

(حروف متفاوت روی هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$))

Fig. 3. Nanoencapsulation efficiency (%) of nanoniosome samples loaded with polyphenols
Different letters on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$)



شکل ۴- پایداری پلی‌فنل‌ها و نانونیوزوم‌های بارگذاری شده با پلی‌فنل‌ها در مدت دو ماه نگهداری

(حروف متفاوت روی هر ستون نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$))

Fig. 4. Stability of polyphenols and nanoniosomes-loaded polyphenols during two months of storage
Different letters on the top of bars indicate significant differences ($p < 0.05$)

در این تحقیق پایداری نانونیوزوم حاوی پلی فنل با نمونه شاهد طی یک دوره ۶۰ روزه در دمای محیط بررسی شد. نانونیوزوم حاوی پلی فنل پایداری خوبی از خود نشان داده و دوفازه شدن نسبت به نمونه شاهد کمتر روی داد (شکل ۴). وجود کلسترول در غشای نانونیوزوم باعث کاهش نزدیکی و مجاورت پلی فنل با غشای نانونیوزوم شده و در نتیجه باعث حفظ پایداری نانونیوزوم گردید.

انبوهش^۱ و سپس درهم آمیختگی^۲ علت اصلی ناپایداری و افزایش اندازه ذرات هستند، بنابراین مهمترین فرآیندی که موجب ناپایداری سیستم های کلوئیدی می گردد، انبوهش ذرات در طول دوره نگهداری است (Pezeshky et al., 2016). نیروهای جذبی بین ذرات موجب چسبیدگی ذرات به یکدیگر شده و در نهایت ساختارهای بزرگتری تشکیل می شود و اگر فرایندهای تهنشینی و شناور شدن ذرات نانونیوزومی در زمان نگهداری سیستم اتفاق بیفتد، نشانگر توده شدن ذرات است. در رابطه با اثر کلسترول بر پایداری ذرات می توان چنین گفت که کلسترول در مقادیر بهینه با افزایش سفتی غشا و ارتقا پتانسیل زتا، باعث افزایش دافعه الکترواستاتیک بین ذرات می شود و از فرایند به هم آمیختگی ذرات ممانعت می کند و باعث بهبود پایداری ذرات می گردد (Bang et al., 2011). این نتایج در تحقیقات گذشته نیز تأیید شد که روش ریزپوشانی انتخابی یک تکنیک رضایت بخش برای تثبیت و افزایش ماندگاری ترکیبات زیست فعال بود. در واقع، ریزپوشانی می تواند یک سد محافظ در برابر اکسیژن، نور، گرما و رطوبت ایجاد کند که دلایل اصلی بی ثباتی ترکیبات زیست فعال هستند (Shaddel et al., 2018). امجدی و همکاران (Amjadi et al., 2018) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که پایداری بتانین در پاستیل حاوی بتانین آنکپسوله شده با نانولیپوزوم بیشتر از پاستیل حاوی بتانین آزاد بوده و پایداری بتانین در این نمونه ها بخاطر اثر حفاظتی نانولیپوزوم در برابر اکسایش و هیدرولیز در مدت زمان نگهداری از ۹۶٪ به ۸۹٪ کاهش یافت در حالی که در پاستیل حاوی بتانین آزاد میزان پایداری از ۸۴٪ به ۴۱٪ تقلیل پیدا کرد.

طیف سنجی مادون قرمز (FTIR)

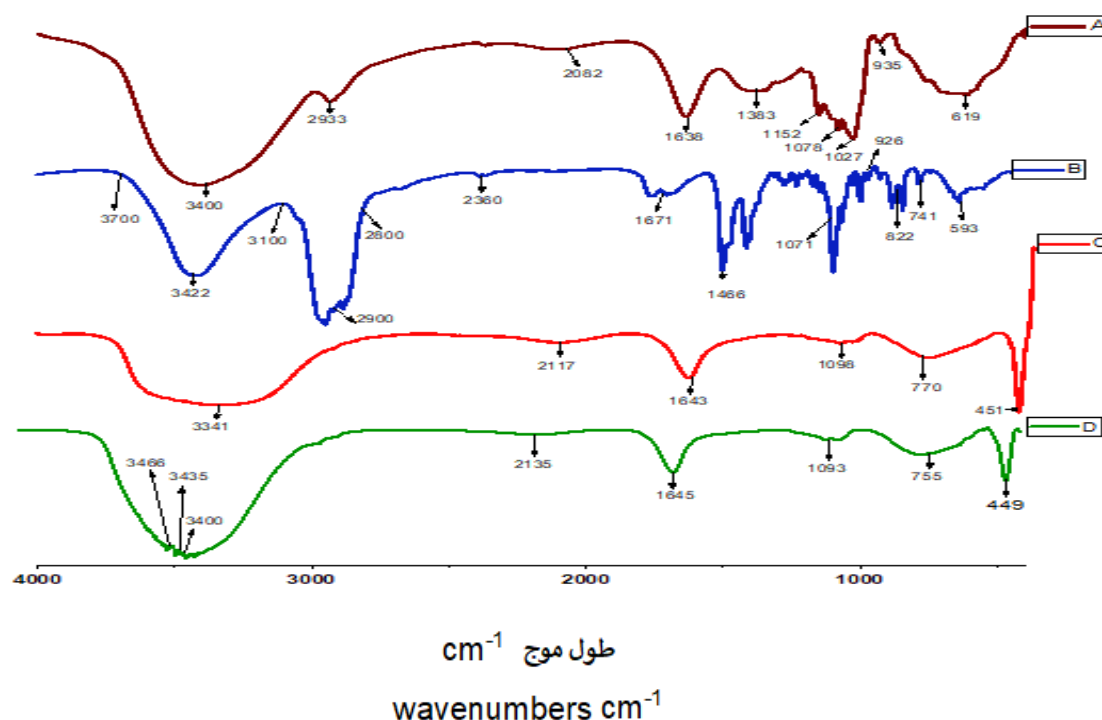
آزمون FTIR روش مطلوبی جهت تعیین و تفکیک ترکیبات آلی و گروه های عاملی موجود در مواد می باشد. اصول شناسایی گروه های عاملی در این آزمون به صورت کیفی است، به گونه ای که با اندازه گیری و ثبت شدت جذب در پیک های منحنی (طول موج شدت جذب) امکان شناسایی ترکیبات و بر هم کنش های آنها وجود دارد. بر اساس این اصل که گروه های عاملی شدت جذب مشخصی در فرکانس های

مشخص دارند، چنانچه در ساختار ترکیبات تغییراتی رخ دهد طول موج های دارای پیک و شدت جذب در آنها تغییر خواهد کرد. در این پژوهش در ابتدا طیف جذب در محدوده فراسرخ IR برای پودر پلی فنل و کلسترول رسم شد و گروه های عاملی موجود معرفی گردید و در ادامه طیف جذب در محدوده فراسرخ برای نانونیوزوم خالی و نانونیوزوم حاوی پلی فنل با یکدیگر مقایسه شد (شکل ۵). در ساختار کلسترول، ارتعاش کششی از گروه های هیدروکسیل به صورت کششی در طول موج محدوده $3700-3100\text{ cm}^{-1}$ همچنین گروه عاملی متیلی آزاد (ارتعاشات کششی نامتقارن پیوند CH_3 ، $\text{C}=\text{C}$ و CH_2) در محدوده 2800 تا 2900 cm^{-1} قابل مشاهده هستند. همچنین، پیک های 1057 و 840 cm^{-1} نیز به ترتیب مربوط به حلقه کلسترول و پیوند کششی $\text{C}-\text{C}-\text{C}$ در مولکول کلسترول هستند. در ساختار پلی فنل، پیک های 3400 cm^{-1} و 1638 cm^{-1} به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی $\text{O}-\text{H}$ و $\text{C}=\text{O}$ گروه فنلی بوده، 1383 cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}$ الکل)، 1159 cm^{-1} (OH آروماتیک)، 1078 cm^{-1} (گروه های اولیه OH)، 1027 cm^{-1} ($\text{C}-\text{O}$ الکل) و 1152 cm^{-1} مربوط به گروه استری $\text{C}-\text{O}-\text{C}$ در پلی فنل هاست هستند. مقایسه در طیف FTIR نانونیوزوم خالی و نشان می دهد که نانونیوزوم خالی پیک های مشابه طیف کلسترول مشاهده می شود و فاقد پیک های مربوط به پلی فنل است اما در نانونیوزوم حاوی پلی فنل پیک های مشخص مربوط به کلسترول و هم پلی فنل قابل مشاهده است، چنانچه در این طیف طول موج 1643 cm^{-1} مربوط به گروه های آروماتیک می باشد. در ساختار نانونیوزوم حاوی پلی فنل عدم وجود پیک های مربوط به پودر پلی فنل در مناطق 1638 cm^{-1} ، 1152 ، 1383 ، 1078 ، 1027 cm^{-1} ریزپوشانی پودر پلی فنل را در نانونیوزوم ها نشان می دهد. همچنین وجود پیک های 3466 cm^{-1} و 3435 cm^{-1} ساختار نیوزوم، احتمالاً در نتیجه برهم کنش پلی فنل با مواد دیواره نانونیوزوم و تأییدی بر ریزپوشانی موفقیت آمیز پلی فنل در نانونیوزوم باشد. علاوه بر جابجایی ها، شدت و شکل پیک ها نیز تغییر کرد. واضح ترین تغییرات طیفی مربوط به نوار کششی 1645 cm^{-1} است بود که پس از ریزپوشانی واضح تر شد.

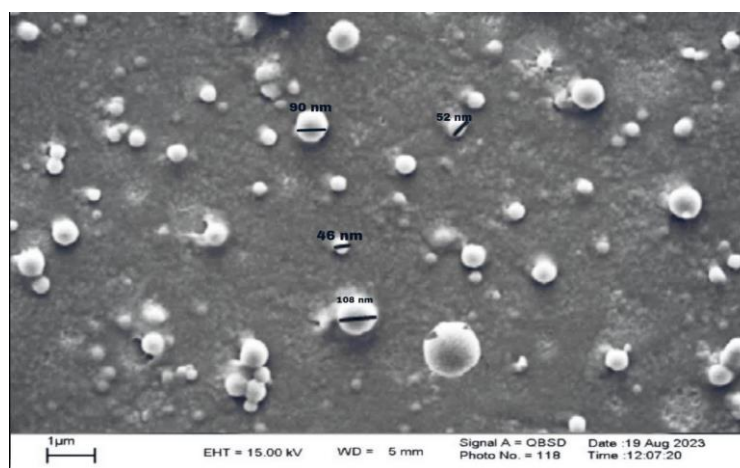
آنالیز تصاویر SEM

به منظور ارزیابی شکل و اندازه نانونیوزوم حاوی پلی فنل، تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه گردید. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می شود ساختار ذرات به صورت تقریباً کروی است و اندازه ی اکثر آنها زیر 200 nm می باشد که با نتایج مربوط به اندازه گیری ذرات با استفاده از روش پراکندگی دینامیکی نور (DLS) مطابقت دارد. همچنین، دارای شکل کروی و تقریباً بیضوی و سطح نسبتاً صاف می باشند.

- 1- Flocculation
- 2- Coalescence



شکل ۵- نتایج آنالیز FTIR (A= پلی فنول، B= کلسترول، C= نانونیوزوم انتخابی خالی (F3)، D= نانونیوزوم انتخابی حاوی پلی فنول)
Fig. 6. FTIR spectra for A = polyphenol, B = cholesterol, C = blank nanoniosome (F3), and D = polyphenol-loaded nanoniosome



شکل ۶- تصویر میکروسکوپ الکترونی از نانونیوزوم‌های انتخابی بارگذاری شده با پلی فنل‌ها
Fig. 7. SEM image of polyphenol-loaded nanoniosomes F3

سنسنتیک رهایش

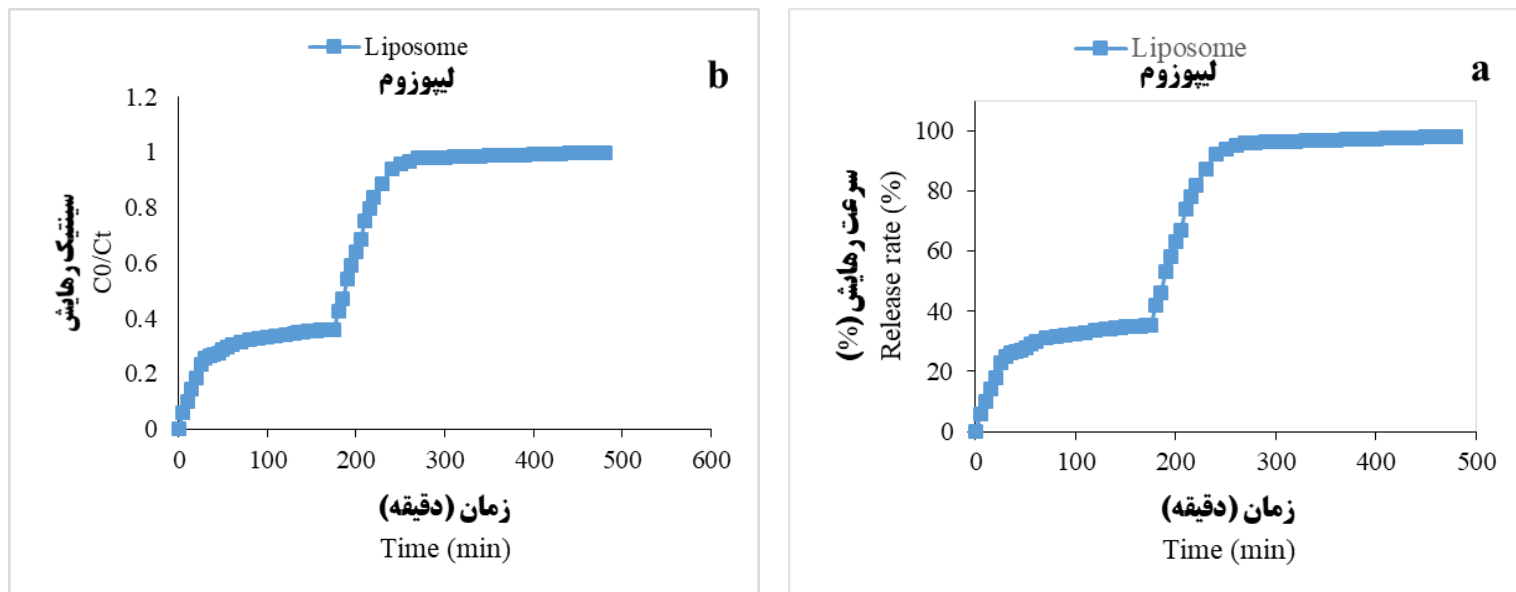
شکل aV پروفایل رهایش پلی فنل از نانونیوزوم انتخابی در مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) و مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF) در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. مطالعه رهایش برون‌تنی نشان داد که نرخ رهایش در SGF برای نانونیوزوم انتخابی تدریجی

بود. در مورد نانونیوزوم، تقریباً ۳۳/۵ درصد از پلی فنل در SGF رها شد. این نشان‌دهنده نگهداری بیشتر پلی فنل در نانونیوزوم‌ها است. رفتار رهایش در SIF نیز روند مشابهی با SGF داشت و رهایش تدریجی در آن نیز مشاهده شد. در SIF، تقریباً ۶۴/۵ درصد از کل پلی فنل از حامل نانونیوزوم رها شد. به‌طور کلی، حامل نانونیوزوم در

داده‌های رهائش نمونه‌ها بود. در سیستم نانونیوزوم انتخابی، K_1 به‌طور مداوم بالاتر از K_2 بود. به‌طور خاص، مقادیر K_1 برای سیستم نانونیوزوم انتخابی $0/009$ بود. مقادیر K_2 مربوطه $0/002$ بودند که نشان‌دهنده مکانیزم رهائش انتشار است. این نشان می‌دهد که رهائش پایدار پلی‌فنل می‌تواند در طولانی مدت در SIF رخ دهد. همچنین، مدل‌سازی رهائش و سنتیک پلی‌فنل از نانونیوزوم انتخابی در مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) و مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF) در جدول ۳ مشخص شده است.

طول فرآیند هضم حدود $98/1$ درصد از کل پلی‌فنل را در مایع هضم شبیه‌سازی شده رها کرد.

در شکل ۷b، درصد رهائش و مدل‌سازی سنتیک رهائش پلی‌فنل از نانونیوزوم انتخابی در مایع هضم شبیه‌سازی شده (SGF و SIF) در منحنی پیوسته نشان داده شده است. برای تعیین مناسبترین مدل برای توصیف رهائش پلی‌فنل از نانونیوزوم در مایع هضم شبیه‌سازی شده، چندین معادله از جمله هیگوشی، ریگر-پاس، پاس-ساهلین و کوپچا مورد بررسی قرار گرفتند. معادله کوپچا بالاترین مقدار R^2 و کمترین RMSE را نشان داد که نشان‌دهنده بهترین تطابق برای



شکل ۷- (a) پروفایل رهائش پلی‌فنل از نانونیوزوم انتخابی در مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) و مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF)؛ (b) سنتیک رهائش پلی‌فنل در مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) و مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF)

Fig. 7. a) Polyphenol release profile from selected nanoniosome in simulated gastric fluid (SGF) and simulated intestinal fluid (SIF), b) Polyphenol release kinetics in simulated gastric fluid (SGF) and simulated intestinal fluid (SIF)

جدول ۳- مدل‌سازی رهائش و سنتیک پلی‌فنل از نانونیوزوم انتخابی در مایع شبیه‌سازی شده معده (SGF) و مایع شبیه‌سازی شده روده (SIF)
Table 3- Modeling the release and kinetics of polyphenol from selective nanoniosomes in simulated gastric fluid (SGF) and simulated intestinal fluid (SIF)

زمان Time (min)	درصد رهائش Release rate (%)	C_0/C_t
0	0	0
25	23	0.234454638
50	28	0.295810398
100	32.5	0.326004077
150	34.8	0.354740061
200	63	0.642201835
250	94	0.958205912
300	96.3	0.980632008
350	96.8	0.985714262
400	97.3	0.989846325
450	97.8	0.996941896

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نانونیوزوم‌های مختلفی با کمک دو سورفکتانت اسپن ۶۰ و توئین ۲۰ و مقادیر مختلف کلسترول (صفر، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی‌گرم) در فرمولاسیون نانونیوزوم تهیه شد. نتایج اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات، پتانسیل زتا و بازده ریزپوشانی نشان داد که نانونیوزوم‌های حاوی ۲۰ mg کلسترول دارای اندازه ذرات کوچکتر، پتانسیل زتای کمتر، توزیع اندازه ذرات یکنواخت‌تر و بازده ریزپوشانی بیشتر بودند. بنابراین به‌عنوان نمونه نانونیوزوم با بهترین خصوصیات انتخاب گردید. نتایج آزمون‌های FTIR و SEM نیز مؤید شرایط مناسب این نانونیوزوم‌ها بودند. قابلیت حفظ ترکیبات پلی‌فنی به‌عنوان موادی ارزشمند و زیست‌فعال بصورت آزاد یا درون نانونیوزوم در مدت زمان نگهداری ۶۰ روز بررسی و حاکی از توانایی بالای نانونیوزوم در نگهداری این ترکیبات بود. در نهایت، رفتار رهایش در سیستم گوارشی شبیه‌سازی شده (محیط معده و روده کوچک) نشان‌دهنده سیستم رهایش مبتنی بر انتشار بود و مدل کوپچا بهترین مدل برای توصیف رفتار رهایش پلی‌فنل از نانونیوزوم‌های ساخته شده در محیط گوارشی شبیه‌سازی شده بود. با توجه به نتایج این پژوهش می‌توان گفت ریزپوشانی کردن پلی‌فنل‌ها به‌عنوان یک منبع سرشار از

خاصیت آنتی‌اکسیدانی در درون نانونیوزوم‌ها می‌تواند راهکاری مؤثر برای حفظ ارزش غذایی این مواد می‌باشد. در تحقیقات آتی می‌توان از این نانونیوزوم‌ها برای تولید مواد غذایی فراسودمند بهره جست و اثرات افزودن آن‌ها را روی خواص فیزیکی-شیمیایی ماده غذایی مدل بررسی نمود.

میزان مشارکت

زهره گنجه سلطان آبادی: جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نرم‌افزار، نوشتن - آماده‌سازی پیش‌نویس اصلی؛ **رضوان شاددل:** مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تأمین مالی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، منابع، نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی، تجسم، نوشتن - بررسی و ویرایش؛ **یونس زاهدی:** روش‌شناسی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، اعتبارسنجی، نوشتن - بررسی و ویرایش.

منابع تأمین مالی

این کار توسط دانشگاه محقق اردبیلی، پشتیبانی مالی شد.

References

- Amjadi, S., Ghorbani, M., Hamishehkar, H., & Roufegarinejad, L. (2018). Improvement in the stability of betanin by liposomal nanocarriers: Its application in gummy candy as a food model. *Food Chemistry*, 256, 156-16. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.114>
- Bang, S., Hwang, I., Yu, Y., Kwon, H., Kim, D., & Park, H. (2011). Influence of chitosan coating on the liposomal surface on physicochemical properties and the release profile of nanocarrier systems. *Journal of Microencapsulation*, 28(7), 595-604. <https://doi.org/10.3109/02652048.2011.557748>
- Bhardwaj, P., Tripathi, P., Gupta, R., & Pandey, S. (2020). Niosomes: A review on niosomal research in the last decade. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 56, 101581. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101581>
- Birben, E., Sahiner, U.M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative stress and antioxidant defense. *World Allergy Organization Journal*, 5, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2020.101581>
- Briuglia, M.-L., Rotella, C., McFarlane, A., & Lamprou, D.A. (2015). Influence of cholesterol on liposome stability and on in vitro drug release. *Drug Delivery and Translational Research*, 5, 231-242. <https://doi.org/10.1007/s13346-015-0220-8>
- Chen, S., Hanning, S., Falconer, J., Locke, M., & Wen, J. (2019). Recent advances in non-ionic surfactant vesicles (niosomes): Fabrication, characterization, pharmaceutical and cosmetic applications. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 144, 18-39. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2019.08.015>
- Clifford, T., Constantinou, C.M., Keane, K.M., West, D.J., Howatson, G., & Stevenson, E.J. (2017). The plasma bioavailability of nitrate and betanin from *Beta vulgaris rubra* in humans. *European Journal of Nutrition*, 56, 1245-1254. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1173-5>
- Danaee, M., Farzinebrahimi, R., Kadir, M.A., Sinniah, U.R., Mohamad, R., & Mat Taha, R. (2015). Effects of MeJA and SA elicitation on secondary metabolic activity, antioxidant content and callogenesis in *Phyllanthus pulcher*. *Brazilian Journal of Botany*, 38, 265-272. <https://doi.org/10.1007/s40415-015-0140-3>
- Elmi, N., Ghanbarzadeh, B., Ayaseh, A., Sahraee, S., Heshmati, M.K., Hoseini, M., & Pezeshki, A. (2021). Physical properties and stability of quercetin loaded niosomes: stabilizing effects of phytosterol and polyethylene glycol in orange juice model. *Journal of Food Engineering*, 296, 110463. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110463>

10. Essa, E.A. (2010). Effect of formulation and processing variables on the particle size of sorbitan monopalmitate niosomes. *Asian Journal of Pharmaceutics (AJP)*, 4 (4). <https://doi.org/10.22377/ajp.v4i4.289>
11. Fan, M., Xu, S., Xia, S., & Zhang, X. (2008). Preparation of salidroside nano-liposomes by ethanol injection method and *in vitro* release study. *European Food Research and Technology*, 227, 167-174. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0706-9>
12. Gorjian, H., Amiri, Z.R., Milani, J.M., & Khaligh, N.G. (2021). Preparation and characterization of the encapsulated myrtle extract nanoliposome and nanoniosome without using cholesterol and toxic organic solvents: A comparative study. *Food Chemistry*, 342, 128342. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128342>
13. Imran, M., Shah, M.R., Ullah, F., Ullah, S., Elhissi, A.M., Nawaz, W., Ahmad, F., Sadiq, A., & Ali, I. (2016). Glycoside-based niosomal nanocarrier for enhanced *in-vivo* performance of Cefixime. *International Journal of Pharmaceutics*, 505(1-2), 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2016.03.042>
14. Khan, M.I., Madni, A., & Peltonen, L. (2016). Development and *in-vitro* characterization of sorbitan monolaurate and poloxamer 184 based niosomes for oral delivery of diacerein. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 95, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2016.09.002>
15. Khoei, S., & Yaghoobian, M. (2017). Niosomes: A novel approach in modern drug delivery systems. In *Nanostructures for drug delivery* (pp. 207-237). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-46143-6.00006-3>
16. Laridi, R., Kheadr, E., Benech, R.-O., Vuilleumard, J., Lacroix, C., & Fliss, I. (2003). Liposome encapsulated nisin Z: optimization, stability and release during milk fermentation. *International Dairy Journal*, 13(4), 325-336. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00194-2](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00194-2)
17. Lashkari H. (2022). Crocin encapsulation in niosome and liposome carriers and investigation of their properties. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 19(128), 171-182. <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.128.171>
18. Lubbers, S., & Guichard, E. (2003). The effects of sugars and pectin on flavour release from a fruit pastille model system. *Food Chemistry*, 81(2), 269-273. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00422-3](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00422-3)
19. Maqamikia, H., Hakimzadeh, V., Arianfar, A., Rajabzade, Q., & Shahidi-Noghabi, M. (2021). Improving the stability and bioaccessibility of vitamin D3 in the structure of nanoniosomes designed by different surfactants. *Research and Innovation in Food Science and Technology (JRIFST)*, 10(3), 249-260. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.254761.1195>
20. Moghassemi, S., Hadjizadeh, A., & Omidfar, K. (2017). Formulation and characterization of bovine serum albumin-loaded niosome. *Aaps PharmSciTech*, 18, 27-33. <https://doi.org/10.1208/s12249-016-0487-1>
21. Molaveisi, M., Noghabi, M.S., Parastouei, K., & Taheri, R.A. (2021). Fate of nanophytosomes containing bioactive compounds of Echinacea extract in an acidic food beverage. *Food Structure*, 27, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100177>
22. Mozafari, M.R. (2010). Nanoliposomes: preparation and analysis. *Liposomes: Methods and Protocols*, Volume 1: *Pharmaceutical Nanocarriers*, 29-50. https://doi.org/10.1007/978-1-60327-360-2_2
23. Munin, A., & Edwards-Lévy, F. (2011). Encapsulation of natural polyphenolic compounds; a review. *Pharmaceutics*, 3(4), 793-829. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics3040793>
24. Mustafa, S.K., Oyouni, A.A.W.A., Aljohani, M.M., & Ahmad, M.A. (2020). Polyphenols more than an Antioxidant: Role and Scope. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 14(1). <https://doi.org/10.22207/JPAM.14.1.08>
25. Nakhaei, P., Margiana, R., Bokov, D.O., Abdelbasset, W.K., Jadidi Kouhbanani, M.A., Varma, R.S., Marofi, F., Jarahian, M., & Beheshtkhoo, N. (2021). Liposomes: structure, biomedical applications, and stability parameters with emphasis on cholesterol. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 705886. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.705886>
26. Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S., & Bugarski, B. (2011). An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, 1, 1806-1815. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>
27. Nowroozi, F., Almasi, A., Javidi, J., Haeri, A., & Dadashzadeh, S. (2018). Effect of surfactant type, cholesterol content and various downsizing methods on the particle size of niosomes. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, 17(Suppl2), 1. <https://doi.org/10.22037/IJPR.2018.2368>
28. Pascua, Y., Koç, H., & Foegeding, E.A. (2013). Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 18(4), 324-333. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.03.009>
29. Patel, K.K., Kumar, P., & Thakkar, H.P. (2012). Formulation of niosomal gel for enhanced transdermal lopinavir delivery and its comparative evaluation with ethosomal gel. *AAPS PharmSciTech* 13(4), 1502-1510. <https://doi.org/10.1208/s12249-012-9871-7>

30. Pezeshky, A., Ghanbarzadeh, B., Hamishehkar, H., Moghadam, M., & Babazadeh, A. (2016). Vitamin A palmitate-bearing nanoliposomes: Preparation and characterization. *Food Bioscience*, 13, 49-55. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2015.12.002>
31. Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition*, 50(3), 586-621. <https://doi.org/10.1002/anie.201000044>
32. Ramli, N., Ali, N., Hamzah, S., & Yatim, N. (2021). Physicochemical characteristics of liposome encapsulation of stingless bees' propolis. *Heliyon*, 7(4). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06649>
33. Ravaghi, M., Razavi, S.H., Mousavi, S.M., Sinico, C., & Fadda, A.M. (2016). Stabilization of natural canthaxanthin produced by *Dietzia natronolimnaea* HS-1 by encapsulation in niosomes. *LWT*, 73, 498-504. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.027>
34. Seyedabadi, M.M., Rostami, H., Jafari, S.M., & Fathi, M. (2021). Development and characterization of chitosan-coated nanoliposomes for encapsulation of caffeine. *Food Bioscience*, 40, 100857. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100857>
35. Sguizzato, M., Esposito, E., & Cortesi, R. (2021). Lipid-based nanosystems as a tool to overcome skin barrier. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(15), 8319. <https://doi.org/10.3390/ijms22158319>
36. Shaddel, R., Hesari, J., Azadmard-Damirchi, S., Hamishehkar, H., Fathi-Achachlouei, B., & Huang, Q. (2018). Use of gelatin and gum Arabic for encapsulation of black raspberry anthocyanins by complex coacervation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 107, 1800-1810. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.044>
37. Shahidi, F., & Naczk, M. (2003). *Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9780203508732>
38. Shahidi, F., & Yeo, J. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9), 1216. <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
39. Sozer, N., & Kokini, J.L. (2009). Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends in Biotechnology*, 27(2), 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010>
40. Subramaniam, P. (2016). The stability and shelf life of confectionery products. In *The stability and shelf life of food* (pp. 545-573). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00019-8>
41. Vetrani, C., Rivellese, A.A., Annuzzi, G., Mattila, I., Meudec, E., Hyötyläinen, T., Orešič, M., & Aura, A.M. (2014). Phenolic metabolites as compliance biomarker for polyphenol intake in a randomized controlled human intervention. *Food Research International*, 63, 233-238. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.01.018>
42. Williams, R.J., Spencer, J.P., & Rice-Evans, C. (2004). Flavonoids: antioxidants or signalling molecules? *Free radical biology and medicine*, 36(7), 838-849. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2004.01.001>
43. Zahedi, Y., Shaddel, R., Salamatian, M., & Szumny, A. (2024). Nanoliposomal encapsulation of *Capparis spinosa* extract and its application in jelly formulation. *Molecules*, 29(12), 2804. <https://doi.org/10.3390/molecules29122804>

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 47-59

Shelf Life Extension of Grouper Fish Fillet (*Epinephelus coioides*) Using Biodegradable Chitosan/Chia Mucilage Coating Containing *Rubia tinctorum* L. Plant Extract

M. Nouri^{1*}

1- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

(*- Corresponding Author Email: Marjan.nouri@iau.ac.ir)

Received: 19.07.2024
Revised: 19.09.2024
Accepted: 10.11.2024
Available Online: 16.02.2025

How to cite this article:

Nouri, M. (2025). Shelf life extension of Grouper fish fillet (*Epinephelus coioides*) using biodegradable chitosan/chia mucilage coating containing *Rubia tinctorum* L. plant extract. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 47-59. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88978.1349>

Introduction

Fish supplies a type of nutrients containing protein and long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acids (n-3 PUFAs) and micronutrients such as selenium, iodine, potassium, D and B-vitamins. Groupers are one of the best fishes in the south of Iran that are extensively distributed in tropical and warm waters all over the world. The perishability is considered as one of the main problems for fish with high nutritional value in food supply chains during the shelf life. The use of edible coatings indicates a novel method to extend the shelf life. The aim of present research was to apply biodegradable chitosan/ chia mucilage coating containing *Rubia tinctorum* L. plant extract (0, 0.5, 1 and 2 % as T₁, T₂, T₃ and also T₄) on the surface of grouper fillet fish to maintain qualitative and microbial attributes during the shelf life (1, 15, 30 and 45 days).

Materials and Methods

The qualitative and qualitative assays (peroxide index (meq O₂/kg sample), thiobarbituric acid (mg MA/kg), total volatile nitrogen (mg /100 g) and trimethylamine (mg /100 g)), microbial counts (aerobic mesophilic and lactic acid bacteria, total coliforms, mold and also yeast), texture (hardness, adhesion, flexibility, cohesiveness and gumminess), sensory attributes (taste, smell, color, texture and overall evaluation) and measurement of identified biogenic amines were carried out during the shelf life.

Results and Discussion

The results illustrated that oxidation parameters of treatments such as peroxide index, trimethylamine, total volatile nitrogen components and thiobarbituric acid were declined by increasing the extract concentration in a fixed time period ($p \geq 0.05$). The highest and lowest microbial loads were obtained in T₁ and T₄ during the storage, respectively. The microbial counts increased significantly ($p < 0.05$) by extending the storage time of treatments and on the other hand, this decreased significantly ($p < 0.05$) by increasing the concentration of *Rubia tinctorum* L. extract in a fixed period of time. The utilization of *Rubia tinctorum* L. extract and chia mucilage in a coating of chitosan created a synergistic effect and led to a lower microbial load in treatments. On the other hand, a reduction was occurred in textural attributes particularly cohesiveness and hardness through moisture loss and drying of coating surface in fillets during storage ($p < 0.05$). The softening tissue could be related to the higher microbial activities during storage, although intensity of these changes was lower in T₃ and T₄ treatments due to the lower microbial load, which indicated the positive effect of *Rubia tinctorum* L. extract on maintaining tissue quality. All examined factors changed and most of the mentioned parameters in T₁ and T₂ exceeded the permissible limit during storage, but T₃ and T₄ had better conditions during storage. Finally, fish fillet coated with 1 % *Rubia tinctorum* L. extract (T₃) compared to others demonstrated better sensory evaluation at the end of shelf life, which was selected as the superior treatment. The type and amount of biogenic amines in control and T₃ (superior sample) illustrated that the highest amine compound was recorded for histamine at 79.87 (mg/kg) on the 15th day and the lowest level in tyramine at 0.79 (mg/kg) on the 1st day of storage. The concentration of amines increased

significantly during storage time ($p < 0.05$).

Conclusion

The results shown that applying chitosan/ chia mucilage coating including *Rubia tinctorum* L. extract has significant effect on extending the shelf life of fish fillets.

Keywords: Antioxidant, Edible coating, Grouper fillet, *Rubia tinctorum* L., Shelf life

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۴۷-۵۹

افزایش عمر ماندگاری فیله ماهی (*Epinephelus coioides*) با پوشش زیست تخریب پذیر کیتوزان/موسیلاژ چیا حاوی عصاره روناس (*Rubia tinctorum* L.)

مرجان نوری ^۱ ID *

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۰

چکیده

از عمده ترین مشکلات ماهی با وجود ارزش تغذیه ای بالا، فسادپذیری در دوره نگهداری است. هدف از پژوهش حاضر بکارگیری پوشش زیست تخریب پذیر کیتوزان/موسیلاژ چیا حاوی عصاره گیاه روناس *Rubia tinctorum* L. (غلظت های ۰، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد) بر روی فیله ماهی هامور به منظور حفظ خصوصیات کیفی و میکروبی در مدت زمان ماندگاری (۱، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ روز) بود. بر روی نمونه ها بررسی های فیزیکوشیمیایی (اندیس پراکسید (meq O₂/kg sample)، اندیس اسید تیوباریتوریک (mg MA/kg)، نیتروژن کل فرار (mg /100 g) و تری متیل آمین (mg /100 g))، بافت (سختی، چسبندگی، انعطاف پذیری، انسجام و صمغی بودن)، شمارش میکروبی (باکتری های میانه دوست هوازی، کپک و مخمر، کلی فرم و باکتری های اسید لاکتیک)، خصوصیات حسی (مزه، بو، رنگ، بافت و ارزیابی کلی) و شناسایی و اندازه گیری آمین های بیوژن در مدت زمان نگهداری انجام پذیرفت. نتایج نشان داد با افزایش درصد عصاره، در یک بازه زمانی ثابت، پارامترهای اکسیداسیون تیمارها مانند اندیس پراکسید، تری متیل آمین، ترکیبات ازته فرار کل و اندیس اسید تیوباریتوریک کاهش پیدا کرد ($p < 0/05$). از سوی دیگر کاهش ویژگی های بافتی به ویژه سختی و انسجام با از دست دادن رطوبت و خشک شدن پوشش سطحی نمونه ها در طول دوره نگهداری رخ داد و شمارش میکروبی به شکل معنی داری افزایش یافت ($p < 0/05$). در نهایت تیمار فیله ماهی دارای پوشش ۱ در صد عصاره گیاه روناس در مقایسه با سایر تیمارها ویژگی های حسی مناسب تری را در انتهای دوره نگهداری نشان داد و به عنوان تیمار برتر انتخاب شد. نوع و میزان آمین های بیوژن در نمونه های شاهد و برتر نشان داد بیشترین ترکیب آمین، هیستامین به میزان (mg/kg) ۷۹/۸۷ در روز پانزدهم و کمترین آن، تیرامین به میزان (mg/kg) ۰/۷۹ در روز نخست نگهداری ثبت شده است. نتایج کلی نشان داد که به کارگیری پوشش کیتوزان/موسیلاژ چیا حاوی عصاره روناس بر افزایش ماندگاری فیله ماهی تأثیرگذار است.

واژه های کلیدی: آنتی اکسیدان، پوشش خوراکی، عصاره روناس، فیله ماهی هامور، ماندگاری

مقدمه

دوره نگهداری می باشد که در صورت عدم ایجاد شرایط مناسب زیان های اقتصادی، مشکلات سلامتی را نیز به همراه دارد (Morachis-Valdez et al., 2021; Marhousse et al., 2021). یکی از روش های افزایش ماندگاری محصولات غذایی، پوشش دهی است که از پوشش خوراکی کیتوزان همراه با عصاره های بره موم (Ebadi et al., 2019)، رزماری (Nawaz et al., 2020)، لیموترش (Rezaeifar et al., 2020)، زنجبیل، لیمو و چای سبز

ماهی هامور (*Epinephelus coioides*)، با وجود میزان پایین چربی، منبع غنی از اسیدهای چرب امگا ۳ به ویژه اسیدهای EPA^۲ و DHA^۳ و پروتئین می باشد و به دلیل آثار مفید تغذیه ای، جلوگیری و درمان بسیاری از بیماری ها و اختلالات قلبی، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (Chieng et al., 2018). علی رغم ارزش تغذیه ای بالا، از عمده ترین مشکلات آن فسادپذیری سریع در طول

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.88978.1349>

۲- Eicosapentaenoic acid

۳- Docosaheaxaenoic acid

۱- استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

(Email: Marjan.nouri@iau.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

بعنوان پوشش خوراکی کاربرد دارد (Abdollahzadeh et al., 2023)

هدف از انجام این تحقیق، بالابردن سطح کیفیت فیله ماهی هامور در مدت زمان ماندگاری با استفاده از خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی پوشش خوراکی کیتوزان/موسیلاژ چیا غنی شده با عصاره روناس بود. لازم به توضیح است که مطالعات مختلفی مطالعه شد اما در این زمینه خاص پژوهشی یافت نشد که بیانگر نوآوری این پژوهش است. لذا بدین منظور پس از پوشش‌دهی فیله ماهی با کیتوزان/موسیلاژ چیا حاوی عصاره روناس، برخی از ویژگی‌های خصوصیات فیزیکی‌شیمیایی (اندیس پراکسید (meq O₂/kg sample)، اندیس اسید تیوباربیتوریک (mg MA/kg)، نیتروژن کل فرار (mg /100 g) و تری متیل آمین (mg /100 g)) شمارش میکروبی (باکتری‌های میانه دوست هوازی، کپک و مخمر، کلی‌فرم و باکتری‌های اسید لاکتیک)، بافت (سختی، چسبندگی، انعطاف‌پذیری، انسجام و صمغی بودن)، خصوصیات حسی (مزه، بو، رنگ، بافت و ارزیابی کلی) و شناسایی و اندازه‌گیری آمین‌های بیوژن فیله‌های ماهی در مدت زمان ماندگاری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

عصاره‌گیری از گیاه روناس

گیاه روناس به‌صورت خشک‌شده از فروشگاه محلی خریداری شد و به‌منظور جداسازی عصاره، ۵۰ گرم از گیاه در آسیاب کاملاً خرد و با استفاده از همزن (بوش مدل MFQP1000، آلمان) با دور پایین، به مدت ۷۲ ساعت در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار دیونیزه هم‌زده شد. سپس عصاره توسط فیلتر استریل (سلولز نیترات ۴۷ میلی‌متر، FilterBio) صاف و با استفاده از دستگاه تبخیر کننده تحت خلأ، تغلیظ (بوچی مدل R-300 R100، سوئیس) و تا زمان استفاده در شیشه تیره، در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد (Karim et al., 2010).

تهیه تیمارها با پوشش‌های خوراکی

در ابتدا ماهیان هامور با میانگین وزنی ۷۰۰ گرم تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از شستشو، مراحل سرزنی، تخلیه شکمی، پوست‌کنی و فیله‌سازی انجام پذیرفت. جهت تهیه پوشش خوراکی، از کیتوزان با وزن مولکولی متوسط (۵۰-۷۰ kDa) و دانه چیا استفاده شد. بدین منظور ۵ گرم پودر کیتوزان به یک لیتر آب مقطر افزوده شد. از سوی دیگر موسیلاژ دانه چیا در دمای استخراج ۸۰ درجه سانتی‌گراد، به مدت ۴ ساعت با نسبت هیدراتاسیون ۱:۴۰ (دانه چیا: آب) استخراج گردید (Mujtaba et al., 2023). دو ترکیب مورد استفاده در پوشش

(Chaijan et al., 2020)، شاهی (Shah Hosseini et al., 2020)، سیر (Youssef et al., 2021)، نعنای فلفلی (Marhoume et al., 2021) و پوست انار (Yu et al., 2022) برای نگهداری ماهی استفاده شده است.

گیاه روناس (*Rubia tinctorum* L.) متعلق به خانواده Rubiaceae و از گیاهان مهم صنعتی (رنگرزی) و دارویی (ضد سرطان و نفرس) به حساب می‌آید که در طب سنتی کاربرد دارد و به دلیل حضور ترکیبات آنتراکونینون از جمله آلیزارین، پورپورین، لوسیدین، رویادین و مشتقات آن‌ها گزینه مناسبی جهت بکارگیری در پوشش‌های خوراکی است (Houari et al., 2022). گیاه روناس شامل ترکیبات بیولوژیکی و فنولی از جمله هسپریدین، اسید تارتاریک، روتین، اولئوروپین، اسید کلروزنیک، اسید گالیک، کوئرستین-۳-گلوکوزید، اپی کاتچین و ... است که بیانگر خصوصیات آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی است (Kabiri et al., 2019). آلیزارین آنتراکونینون، محصول هیدرولیز اسید روپرتیریک، به‌عنوان جزء اصلی رنگ روناس تانتروم در نظر گرفته می‌شود (Houari et al., 2022). تاکنون کاربرد عصاره روناس به‌عنوان رنگ طبیعی بر ویژگی‌های کیفی، اثر کشندگی آن روی شته برگ برنج (Rastegari et al., 2015)، استفاده در دسر شیری طعم‌دار (Kabiri et al., 2019)، ترکیب ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی (Hoseinzadeh et al., 2020) و جداسازی آلیزارین و پورپورین از روناس به‌منظور سرکوب فیبریلاسیون انسولین و کاهش سمیت سلولی ناشی از آمیلوئید (Wang et al., 2021) مورد بررسی قرار گرفته است. دانه چیا (*Salvia hispanica* L.) از گیاه چیا سالویا هیسپانیکا (Labiatae) از تیره نعنائیان (*Salvia*) و متعلق به دسته سالویا می‌باشد. دانه چیا دارای ارزش غذایی بالا و شامل ۹۱ تا ۹۶ درصد ماده خشک، ۲۰ تا ۲۲ درصد پروتئین، ۳۰ تا ۳۵ درصد چربی، ۲۱ تا ۴۵ درصد کربوهیدرات، ۱۸ تا ۳۰ درصد فیبر خام (بیشترین سلولز قابل هضم آن پنتوزان و لیگنین) و ۴ تا ۶ درصد خاکستر است (Zettel, & Hitzmann, 2018). چیا منبع جدیدی از ایزوفلاون‌ها است که به دلیل ظرفیت آنتی‌اکسیدان بالا می‌تواند در رژیم غذایی، گنجانده شود و امروزه مصرف موسیلاژ آن به‌عنوان پوشش مطرح است (Mujtaba et al., 2023). کیتوزان یک پلی‌کاتیون داستیل‌شده طبیعی است که از واحدهای D-گلوکز آمین و N-استیل D-گلوکز آمین تشکیل شده است و از طریق گروه‌های آمین خود در واکنش‌های شیمیایی مختلف شرکت می‌کند (Marhoume et al., 2021). کیتوزان به دلیل در دسترس بودن، فعالیت ضد میکروبی، سازگاری زیستی، قابلیت هضم آسان، غیر سمی بودن، غیر سرطان‌زایی، قدرت جذب بالا، انبساط و کشیدگی شدید، اتصال‌دهندگی، تغلیظ‌کنندگی، پایدارکنندگی، ضد اکسیدانی، ژل‌ای شدن، جاذب مواد رنگی و محرک کم سیستم ایمنی

حرارت داده تا به جوش بیاید و حدود ۲۰ دقیقه عمل تقطیر انجام شد. محلول تقطیر شده با اسید سولفوریک ۰/۱ نرمال تیترو گردید و مطابق رابطه (۳) میزان آن محاسبه گردید (Nawaz et al., 2020).

$$TVB - N = \frac{1.4 \times 100 \times \text{اسید میزان}}{\text{وزن نمونه}} \quad (۳)$$

جهت اندازه‌گیری تری‌متیل آمین^۳ (TMA) از روش AOAC(1995) استفاده شد و در نهایت با دستگاه اسپکتروفتومتر تغییر رنگ ایجاد شده نمونه‌ها، در طول موج ۴۱۰ نانومتر خوانده شد (Youssef et al., 2021).

آنالیز بافت

آنالیز پروفایل بافت با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Hounsfield TA25/1000) مجهز به یک پروب استوانه‌های H5KS, England قطر ۱/۲۷ سانتی‌متر با نیروی بارسلولی ۵ کیلو نیوتن و سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه انجام شد. سه برش از نمونه‌های ماهی (۳ سانتی‌متر ضخامت و ۳ سانتی‌متر قطر) آماده و تا با دمای اتاق به تعادل برسد. سپس فاکتورهای سختی، پیوستگی، انعطاف‌پذیری، چسبندگی و خاصیت صمغی با استفاده از نرم‌افزار Texture Pro CT V1.6 Build خاصیت صمغی با استفاده از نرم‌افزار (Tabarestani et al., 2010) محاسبه گردید.

بررسی ویژگی‌های میکروبی

ابتدا تحت شرایط استریل و در زیر هود آزمایشگاهی، ظروف حاوی نمونه را باز کرده و مقدار ۱۰ گرم از نمونه در کیسه‌های پلاستیکی استریل مخصوص قرار داده شد و سپس ۹۰ میلی‌لیتر محلول رینگر استریل به آن افزوده شد و سپس کیسه جهت هموژنیزاسیون محتویات به دستگاه استومیکر به مدت ۳ دقیقه منتقل گردید. سپس با اضافه کردن ۱ میلی‌لیتر به لوله حاوی ۹ میلی‌لیتر رینگر، رقت‌های بعدی آماده و به این ترتیب رقیق‌سازی متوالی انجام شد. و بر روی پلیت‌های حاوی محیط کشت PCA و به روش کشت سطحی کشت داده شد. به‌منظور شمارش کلی باکتری‌های هوازی، از استاندارد ملی ایران، به شماره ۳۳۹۴ و محیط کشت نوترینت آگار استفاده شد. پلیت‌ها در دمای ۳۲ درجه سانتی‌گراد جهت رشد باکتری‌های مزوفیل به مدت ۴۸ ساعت گرمخانه‌گذاری شدند. جهت کشت و شمارش کپک و مخمر از محیط کشت پوتیتو دکستروز آگار استفاده شد و پلیت‌ها در دمای ۲۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ روز گرمخانه‌گذاری شدند. برای شمارش کلی فرم از محیط کشت پلیت کانت آگار (PCA) استفاده و گرمخانه‌گذاری در ۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت انجام پذیرفت. به‌منظور شمارش

با نسبت ۵۰:۵۰ جهت انحلال کامل به مدت ۳ ساعت روی همزن مغناطیسی در دمای اتاق همزده شد. عصاره تهیه شده از روناس با توئین ۸۰ (مرک، آلمان) جهت توزیع یکنواخت مخلوط گردید (El-Obeid et al., 2018). تیمارهای مورد نظر از حل کردن عصاره روناس در غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد در محلول کیتوزان/موسیلاژ چیا با کدهای T₁, T₂, T₃ و T₄ تهیه گردید. سپس زیر هود (در دمای اتاق)، فیله‌ها به مدت یک دقیقه در محلول‌ها غوطه‌ور شدند. پس از خشک شدن، نمونه‌های شاهد و تیمار شده به یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد منتقل، و به مدت ۴۵ روز در فواصل زمانی ۱۵ روزه تحت آزمایش‌های کیفی و حسی قرار گرفتند.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

در محاسبه اندیس پراکسید^۱ (PV) ابتدا نمونه با حدود ۲۵ میلی‌لیتر از محلول اسید استیک: کلروفرم با نسبت ۲:۳ مخلوط شد، سپس ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول یدور پتاسیم اشباع، ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر و ۰/۵ میلی‌لیتر محلول نشاسته ۱ درصد به محتویات ارلن اضافه شد. مقدار ید آزاد شده با محلول تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تیترو گردید و با توجه به رابطه (۱) میزان پراکسید محاسبه شد (Rezaeifar et al., 2020).

$$PV = \frac{1000 \times \text{نرمالیت} \times \text{حجم مصرفی تیوسولفات}}{\text{وزن نمونه روغن}} \quad (۱)$$

جهت اندازه‌گیری تیوباربتوریک اسید^۲ (TBA)، ۲۰۰ میلی‌گرم از نمونه ماهی به بالن ۲۵ میلی‌لیتر انتقال داده شد و با محلول ۱-بوتانول به حجم رسانده شد سپس ۵ میلی‌لیتر از این مخلوط به لوله‌ی درب‌دار منتقل و ۵ میلی‌لیتر معرف اسید تیوباربتوریک به آن اضافه گردید. لوله‌های فوق به مدت ۲ ساعت در حمام آب ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس در دمای محیط مقدار جذب نور در ۵۳۰ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (Bausch & Lomb، ساخت آلمان) در مقابل آب مقطر خوانده شد و مطابق رابطه (۲) میزان اسید تیوباربتوریک محاسبه گردید (Shah Hosseini et al., 2020).

$$TBA = \frac{50 \times (\text{جذب نمونه شده تیمار} - \text{جذب نمونه شاهد})}{200} \quad (۲)$$

در اندازه‌گیری ترکیبات ازته‌ی فرار^۳ (TVB-N) ۱۰ گرم از نمونه ماهی، ۲ گرم اکسید منیزیم (کاتالیزور)، ۲ قطره ضد کف و ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به بالن کدال اضافه شد. سپس اسید بوریک ۲ درصد و ۲ قطره متیل رد در ارلن ۲۵ میلی‌لیتر ریخته شد سپس محتویات را

۳- Total volatile basic nitrogen

۴- Trimethylamine

۱- Peroxide value

۲- Thiobarbituric acid

پارامترهای فیزیکیوشیمیایی

نتایج جدول ۱ بیانگر میزان اندیس پراکسید، اسید تیوباربیتوریک، نیتروژن کل فرار و تری متیل آمین نمونه‌های و تیمار شده در بازه زمانی ۴۵ روزه است. نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان نگهداری، با اختلاف معنی‌داری اندیس پراکسید در نمونه T_1 و T_2 کاهش یافت اما در بقیه تیمارها این عامل افزایش یافت. اندیس اسید تیوباربیتوریک، نیتروژن کل فرار و تری متیل آمین به شکل معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). از سوی دیگر با افزایش درصد عصاره روناس (تیمار T_4)، در یک بازه زمانی ثابت، فاکتورها کاهش یافت ($p < 0.05$).

مطابق با کاهش عدد پراکسید در نمونه‌های شاهد و تیمار حاوی ۰/۵ درصد عصاره، محققان نیز بیان کردند با افزایش دوره نگهداری، کاهش ناگهانی شاخص پراکسید در نمونه‌ها به‌ویژه نمونه شاهد دیده شد که ممکن است به دلیل شکسته شدن هیدروپراکسیدها به مولکول‌های کوچک‌تر و محصولات ثانویه اکسیداسیون مانند آلدئیدها کربونیل‌ها و ترکیبات فرار حاصل از آن‌ها باشد (Rezaeifar et al., 2020). حد مجاز بازهای ازته فرار برای فرآورده‌های دریایی بر اساس گزارش‌های موجود ۳۰ تا ۳۵ (میلی گرم نیتروژن در ۱۰۰ گرم گوشت آبی) گزارش شده است (Marhoume et al., 2021). نتایج بازهای ازته فرار تیمارهای دارای ۱ و ۲ درصد عصاره تا انتهای دوره نگهداری در محدوده حد مجاز قرار داشت (جدول ۱). بکارگیری ۲ درصد پوشش کیتوزان دارای ۰/۳ درصد گلیسرول مونولورات در گذر زمان نشان داد که کاهش معنی‌دار در اندیس‌های اسید تیوباربیتوریک، تری متیل آمین و پراکسید بوجود آمده است، به گونه‌ای که میزان اسید تیوباربیتوریک از ۰/۲۰ (mg N/100g) در روز نخست به ۰/۸۸ (mg N/100g) پس از ۲۰ روز نگهداری در دمای ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد رسیده بود (Yu et al., 2017) که بکارگیری کیتوزان در این پژوهش هم نشانگر روندی مشابه بود. حضور پوشش کربوکسی متیل کیتوزان با عصاره پوست انار جهت حفظ کیفیت گوشت ماهی در طول یخچال نشان دهنده این بود که در نمونه‌های پوشش‌داده شده در مقایسه با شاهد، میزان نیتروژن کل فرار و اندیس پراکسید در روز نهم به شدت کاهش یافت (Yu et al., 2022). همچنین از پوشش کیتوزان همراه با عصاره نعنای فلفلی برای بهبود کیفیت ماهی کپور استفاده شد و اسید تیوباربیتوریک برابر با ۳۳/۳ (mg N/100g) برای نمونه کنترل و مقادیر ۲۷/۲، ۲۵/۳ و ۲۳/۳ برای پوشش‌های حاوی عصاره نعنای فلفلی گزارش شد (Marhoume et al., 2021). در بررسی اثر پوششی کیتوزان (۰ و ۱ درصد) همراه با عصاره رزماری (۰ و ۱ درصد) بر کیفیت گوشت موری (*Cirrhinus mrigala*) در طول نگهداری مشخص شد

باکتری‌های اسید لاکتیک از محیط‌کشت MRS (De Man–Rogosa–Sharpe agar) استفاده شد و در ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت گرمخانه گذاری و سپس تعداد پرگنه‌ها در هر پلیت شمارش شدند (Zeng et al., 2016).

ارزیابی حسی

نمونه‌ها پس از تولید با استفاده از آون (به‌داده، ایران) در مدت کوتاهی پخته شدند، سپس ارزیابی حسی پذیرش فیله‌ی ماهی با روش هدونیک پنج‌نقطه‌ای انجام شد. ارزیابان این پژوهش از نمرات پنج تا یک (از عالی تا ضعیف) برای تعیین درجه کیفیت و مطلوبیت هر نمونه پس از پخت، از نظر ویژگی‌ها شامل مزه، رایحه، رنگ، بافت و پذیرش کلی استفاده کردند. پخت در ماکروویو به مدت ۴ دقیقه انجام شد (Rezaeifar et al., 2020).

شناسایی و اندازه‌گیری آمین‌های بیوژن

جهت آماده‌سازی، ۲۰۰ میکرولیتر متانول به نمونه‌ها اضافه و از فیلتر با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرومتر عبور داده شد سپس ۲۰ میکرولیتر از این محلول با سرنگ میکرولیتری همیلتون به دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا HPLC (Agilent Technologies, Wilmington, DE, USA) تزریق گردید. اساس سنجش جداسازی آمین‌های بیوژن، استفاده از فاز معکوس با سیستم ایزوکراتیک^۱ متانول و آب (به نسبت حجمی ۷۰ و ۳۰) با جریان حلال ۱/۱ (میلی لیتر در دقیقه) در دمای محیط و قرائت میزان جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر بود. سپس بر اساس تطابق زمان ماندگاری نمونه‌های مجهول با نمونه‌های استاندارد، آمین‌ها شناسایی و با توجه به سطح زیر پیک‌ها و منحنی‌های استاندارد، تعیین غلظت شدند (Mietz, & Karmas, 1978).

ارزیابی آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از شاخص‌های فیزیکیوشیمیایی، بافتی، میکروبی و حسی با نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام پذیرفت. در این پژوهش روش آنالیز واریانس دوطرفه (بلوک‌های تصادفی) جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار (در سطح ۹۵ درصد) میان نتایج با در نظر گرفتن اثر توأم زمان و غلظت‌های مختلف با بکارگیری آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

کیتوزان و عصاره بر بهبود خصوصیات کیفی فیله ماهی در دوره نگهداری مشاهده شد.

که فاکتورهای اندیس پراکسید، اسید تیوباریتوریک و تری متیل آمین در تیمارهای حاوی رزماری کاهش یافته است (Nawaz et al., 2020) در این تحقیق نیز مطابق با پژوهش های ذکر شده اثر هم افزایی

جدول ۱- نتایج پارامترهای فیزیکوشیمیایی (میزان اندیس پراکسید، اسید تیوباریتوریک، نیتروژن کل فرار و تری متیل آمین) تیمار ماهی بدون پوشش و پوشش داده شده در دمای ۴ درجه سلسیوس طی ۴۵ روز

Table 1- The results of qualitative parameters (PV, TBA, TVB-N and TMA) of uncoated and coated fish treatment in 4 °C during 45 days

تیمارها Treatments		پاسخها Responses			
		1	15	30	45
میزان اندیس پراکسید PV (meq O ₂ /kg sample)	T ₁	0.63±0.07 ^D	1.33±0.07 ^F	0.09±0.00 ^C	0.03±0.01 ^A
	T ₂	0.68±0.08 ^D	0.95±0.05 ^{EF}	2.10±0.11 ^{GH}	0.05±0.02 ^B
	T ₃	0.57±0.05 ^D	0.77±0.06 ^E	1.09±0.04 ^{EF}	2.58±0.06 ^H
	T ₄	0.59±0.06 ^D	0.75±0.08 ^E	0.93±0.04 ^{EF}	1.70±0.05 ^G
اسید تیوباریتوریک TBA (mg MA/kg)	T ₁	0.60±0.05 ^B	1.47±0.10 ^D	4.08±0.13 ^F	4.24±0.22 ^G
	T ₂	0.64±0.04 ^B	0.94±0.05 ^C	2.04±0.12 ^E	4.01±0.35 ^F
	T ₃	0.52±0.04 ^A	0.71±0.06 ^B	1.19±0.10 ^{CD}	2.48±0.12 ^F
	T ₄	0.50±0.06 ^A	0.63±0.03 ^B	0.90±0.04 ^C	1.69±0.13 ^{DE}
نیتروژن کل فرار TVB-N (mg /100 g)	T ₁	3.45±0.13 ^A	13.45±0.37 ^H	32.74±0.97 ^I	39.05±1.02 ^J
	T ₂	3.36±0.19 ^A	9.50±0.51 ^D	21.42±0.32 ^H	33.02±0.81 ^I
	T ₃	3.39±0.10 ^A	6.53±0.37 ^C	11.76±0.30 ^E	18.19±0.19 ^G
	T ₄	3.49±0.21 ^A	5.04±0.12 ^B	8.57±0.22 ^D	14.41±0.27 ^F
تری متیل آمین TMA (mg /100 g)	T ₁	0.47±0.02 ^A	13.58±0.39 ^A	21.09±0.11 ^I	25.71±0.20 ^J
	T ₂	0.48±0.08 ^A	7.77±0.20 ^F	19.36±0.39 ^H	22.05±0.39 ^I
	T ₃	0.51±0.08 ^A	1.91±0.09 ^C	7.63±0.27 ^F	16.01±0.27 ^G
	T ₄	0.59±0.08 ^B	0.94±0.10 ^C	2.56±0.25 ^D	4.05±0.22 ^E

*حروف تفاوت معنی داری را برای هر آزمون نشان می دهد ($p < 0.05$).

*Letters indicate a significant difference for each test ($p < 0.05$).

ارزیابی ویژگی های میکروبی

جدول ۲. بیانگر شمارش بار میکروبی (باکتری های میانه دوست

هوازی، کپک و مخمر، کلی فرم و باکتری های اسید لاکتیک) در نمونه های شاهد و تیمار شده در بازه ۴۵ روزه است. با توجه به نتایج به دست آمده، در طول دوره نگهداری به غیر از روز اول، بالاترین میزان شمارش کلی میکروبی در نمونه T₁ (شاهد) مشاهده شد. پایین ترین میزان آن نیز در طول دوره نگهداری در نمونه T₄ (دارای ۲ درصد عصاره روناس) بدست آمد. نتایج نشان داد با افزایش مدت زمان نگهداری تیمارها، میزان شمارش به شکل معنی داری رو به افزایش بود ($p < 0.05$) و در مقابل با افزایش درصد عصاره روناس، در یک بازه زمانی ثابت، میزان بار میکروبی به شکل معنی داری رو به کاهش گذاشت ($p < 0.05$). در مدت زمان ماندگاری، روند تغییرات میزان باکتری های کلیفرم و اسید لاکتیک نمونه های فیله ماهی مشابه با تغییرات میزان باکتری های میانه دوست هوازی بود. در روزهای ۳۰ ام و ۴۵ ام ماندگاری، میزان جمعیت کپک و مخمر در نمونه های T₁ و T₂ به شدت افزایش پیدا کرده، چرا که فساد آن ها مشهود بوده و شمارش کپک و مخمر تیمارهای T₃ و T₄ کمتر از یک سیکل لگاریتمی در طول

۴۵ روز تغییر نشان داد. فلور میکروبی اصلی فرآورده های دریایی عمدتاً از دسته ی باکتری های اسید لاکتیک، هوازی و گرم منفی است و با توجه به سرعت رشد این دسته از میکروارگانیسم ها در دمای ۴ درجه سانتی گراد، کپک و مخمر فرصت چندانی برای رقابت با آن ها پیدا نمی کنند مگر در محیط، فساد مشاهده شود (Shah Hosseini et al., 2020).

در پژوهش حاضر حضور عصاره روناس در پوششی از کیتوزان و موسیلاژ چیا حالت هم افزایی ایجاد کرده و منجر به کمتر شدن بار میکروبی در تیمارها شد که هم راستا با پژوهش های انجام شده مبنی بر اثبات ویژگی های ضد میکروبی کیتوزان و عصاره روناس بر روی قارچ ها و باکتری ها است (Rastegari et al., 2015; Hoseinzadeh et al., 2020; Nawaz et al., 2020; Rezaeifar et al., 2020; Marhousse et al., 2021; Yu et al., 2022). این خصوصیت عصاره روناس می تواند ناشی از ترکیبات فنولی و کینون همچون آتراکینون، تانن و مشتقات پلی فنولی باشد (Houari et al., 2022).

جدول ۲- شمارش میکروبی (باکتری‌های هوازی میانه دوست، کپک و مخمر، باکتری‌های کلیفرم و باکتری‌های اسید لاکتیک) تیمار ماهی بدون پوشش و پوشش داده شده در دمای ۴ درجه سلسیوس طی ۴۵ روز

Table 2- Microbial count (Mesophilic aerobic bacteria, mold and yeast, coliform and lactic acid bacteria) of uncoated and coated fish treatment in 4 °C during 45 days

زمان (روز) Time (day)	تیمارها Treatments	شمارش میکروبی Microbial count (Log cfu/g)			
		باکتری‌های هوازی میانه دوست Mesophilic aerobic bacteria	کپک و مخمر Mold and yeast	باکتری‌های کلیفرم Coliform	اسید لاکتیک Lactic acid bacteria
1	T ₁	3.08±0.02 ^A	2.27±0.03 ^B	2.56±0.07 ^B	2.24±0.07 ^B
	T ₂	3.06±0.03 ^A	2.29±0.05 ^B	2.06±0.07 ^A	2.16±0.04 ^A
	T ₃	3.12±0.03 ^{AB}	2.18±0.03 ^A	2.54±0.06 ^B	2.21±0.08 ^B
	T ₄	3.05±0.03 ^A	2.17±0.02 ^A	2.53±0.03 ^B	2.13±0.08 ^A
15	T ₁	7.84±0.06 ^F	3.10±0.13 ^E	3.51±0.16 ^E	7.42±0.20 ^I
	T ₂	6.37±0.11 ^E	2.51±0.05 ^C	2.83±0.12 ^D	3.55±0.05 ^D
	T ₃	4.79±0.07 ^C	2.27±0.07 ^B	2.69±0.07 ^C	3.56±0.12 ^D
	T ₄	3.96±0.12 ^B	2.26±0.06 ^B	2.68±0.07 ^C	2.82±0.04 ^C
30	T ₁	9.55±0.25 ^G	4.01±0.30 ^G	6.71±0.08 ^I	9.50±0.05 ^J
	T ₂	8.11±0.10 ^G	3.96±0.09 ^F	3.60±0.11 ^E	4.61±0.14 ^F
	T ₃	5.82±0.11 ^D	3.23±0.07 ^{EF}	3.92±0.07 ^F	3.96±0.07 ^E
	T ₄	4.98±0.10 ^C	3.10±0.10 ^E	3.94±0.10 ^F	3.94±0.11 ^E
45	T ₁	11.20±0.14 ^H	6.00±0.11 ^I	7.41±0.05 ^K	12.01±0.22 ^K
	T ₂	9.82±0.33 ^G	4.71±0.25 ^H	6.08±0.02 ^I	9.11±0.15 ^I
	T ₃	7.47±0.13 ^F	2.78±0.10 ^D	5.22±0.15 ^H	6.28±0.11 ^H
	T ₄	6.65±0.15 ^E	2.58±0.08 ^D	3.95±0.11 ^G	5.36±0.12 ^G

*حروف تفاوت معنی‌داری را برای هر آزمون نشان می‌دهد ($p < 0.05$).

*Letters indicate a significant difference for each test ($p < 0.05$).

۳. پارامترهای بافتی (سختی، چسبندگی، انعطاف، انسجام و حالت صمغی بودن) نشان داد، با افزایش مدت زمان نگهداری تیمارها، ویژگی‌های بافتی به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($p < 0.05$) و در مقابل افزایش میزان عصاره منجر به حفظ خصوصیات بافتی شد. کاهش ویژگی‌های بافتی به‌ویژه سختی و انسجام مرتبط با کاهش رطوبت و خشک شدن سطح در مدت زمان نگهداری بود، همچنین سختی بیشتر در روز نخست به‌دلیل آبدار بودن بافت عضلانی ماهی در ابتدای دوره نگهداری است که مطابق با نتایج محققان پیشین بود (Karim et al., 2010; Marhoume et al., 2021; Youssef et al., 2021). از سوی دیگر نرم‌شدگی بافت می‌تواند به افزایش فعالیت‌های میکروبی در مدت زمان ماندگاری مرتبط باشد البته شدت این تغییرات در نمونه‌های T₃ و T₄ به‌دلیل بار میکروبی کمتر، پایین‌تر بود که بیانگر تأثیر مثبت غلظت بالاتر عصاره روناس بر حفظ کیفیت بافت است. در بررسی اثر پوشش کیتوزان و عصاره انار بر دوره ماندگاری، این پوشش سبب جلوگیری از نرم شدن ماهی در طی ۹ روز گردیده است (Yu et al., 2022). طی تحقیق انجام شده توسط چایجان و همکاران (Chaijan et al., 2020) ماهی *Lates calcarifer* پوشیده شده با پوشش پروتئین آب پنیر حاوی عصاره‌های فنولی زنجبیل، لیمو و چای سبز دارای سختی بیشتری در طول مدت

ترکیبات بیولوژیک موجود در عصاره‌ها، غشاء خارجی باکتری‌های گرم منفی را تخریب کرده و سبب خروج لیپوساکاریدها، افزایش نفوذپذیری غشای سیتوپلاسمی و خروج ATP می‌شود که منجر به کاهش ذخیره انرژی و مرگ سلول خواهد شد (Shafaghi Rad & Nouri, 2023). حضور پوشش کربوکسی متیل کیتوزان حاوی عصاره پوست انار بر حفظ کیفیت ماهی، نشان‌دهنده کاهش زنده‌مانی میکروبی بیش از (Log cfu/g) ۱/۴ در مقایسه با نمونه کنترل در روز ۶ ماندگاری در سرما شد که بیانگر سرکوب قابل توجه باکتری‌های مولد فساد مانند شوانلا^۱ بود (Yu et al., 2022). استفاده از پوشش کیتوزان همراه با عصاره نعنای قلفلی برای پوشش ماهی کپور نشانگر فعالیت ضد میکروبی با هاله عدم رشد به قطر ۱۴/۳ میلی‌متری برای *استافیلوکوکوس اورتوس* بود (Marhoume et al., 2021). فیله‌های ماهی تیمار شده با فیلم فعال مبتنی بر کیتوزان/پلی وینیل الکل با غلظت ۰/۸ پس از ۱۲ روز نگهداری، بار میکروبی کمتری نسبت به نمونه شاهد داشت (Chen et al., 2024).

ارزیابی بافت

از آنجایی که نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی و میکروبی نمونه‌ها بعد از گذشت ۱۵ روز نگهداری بالاتر از حد استاندارد ملی ایران بود در نتیجه بقیه آزمایش‌ها در این دوره ماندگاری (۱۵ روزه) انجام شد. جدول

نمودند (Chaijan et al., 2020). تأثیر پوشش ترکیبی اسید کلروژنیک و کیتوزان بر سختی بافت ماهی *Snakehead fish* در سردخانه در ماه دوم نگهداری معنی دار بود، اما با گذشت زمان تا ماه پنجم میان تیمارها و شاهد تفاوت معنی داری مشاهده نشد (Cao et al., 2020).

نگهداری ۲۰ روزه نسبت به نمونه شاهد بود، محققان علت این امر را پیوندهای ایجاد شده میان پروتئین/پروتئین، پروتئین/فنول عصاره و پروتئین/آب که در حفظ آب بافت تأثیرگذار بود و یا عصاره که می تواند به عنوان بازدارنده فعالیت آنزیم های پروتئولیتیک ماهی عمل کند، ذکر

جدول ۳- پارامترهای بافت (سختی، چسبندگی، انعطاف، انسجام و حالت صمغی بودن) تیمار ماهی بدون پوشش و پوشش داده شده در دمای ۴ درجه سلسیوس طی ۱۵ روز

Table 3- Texture parameters (hardness, adhesiveness, flexibility, cohesiveness and gumminess) uncoated and coated fish treatment in 4 °C during 15 days

زمان Time (day)	تیمارها Treatments	خصوصیات بافت Texture properties				
		سختی Hardness (N)	چسبندگی Adhesiveness (J)	انعطاف Flexibility (cm)	انسجام Cohesiveness	حالت صمغی بودن Gumminess (J)
1	T ₁	11.72±0.15 ^E	-0.16±0.02 ^D	0.24±0.06 ^E	0.22±0.04 ^F	0.68±0.3 ^F
	T ₂	11.65±0.44 ^F	-0.18±0.01 ^F	0.23±0.02 ^D	0.22±0.05 ^F	0.61±0.18 ^E
	T ₃	12.00±0.53 ^F	-0.17±0.01 ^E	0.26±0.02 ^F	0.21±0.02 ^E	0.67±0.09 ^F
	T ₄	11.80±0.95 ^E	-0.17±0.02 ^E	0.29±0.07 ^G	0.21±0.01 ^E	0.74±0.17 ^G
15	T ₁	6.32±0.22 ^A	-0.11±0.07 ^A	0.15±0.03 ^A	0.10±0.02 ^A	0.17±0.5 ^A
	T ₂	5.41±0.09 ^B	-0.12±0.01 ^B	0.17±0.05 ^B	0.12±0.01 ^B	0.21±0.07 ^B
	T ₃	9.37±0.36 ^C	-0.14±0.03 ^C	0.20±0.09 ^C	0.17±0.17 ^C	0.34±0.02 ^D
	T ₄	10.14±0.28 ^D	-0.14±0.02 ^C	0.21±0.04 ^C	0.19±0.03 ^D	0.24±0.06 ^C

*حروف تفاوت معنی داری را برای هر آزمون نشان می دهد ($p < 0.05$).

*Letters indicate a significant difference for each test ($p < 0.05$).

مشاهده شد، اما بر سایر فاکتورها مانند طعم، بو و بافت بی تأثیر بود (Cao et al., 2020). پژوهش دیگری نشان داد که پوشش پروتئین آب پنیر حاوی عصاره های فنولی متفاوت زنجبیل، لیمو و چای سبز بر کاهش ترکیبات فرار (آلدهیدها، کتون ها و استرها) حاصل از واکنش های بیوشیمیایی در طول دوره نگهداری تأثیرگذار بوده است و بهترین امتیاز طعم به تیمار ماهی (*Lates calcarifer*) حاوی عصاره زنجبیل تعلق گرفت (Chaijan et al., 2020). در پژوهش دیگری نتایج نشان داد فیله های ماهی (*Nemipterus japonicus*) تیمار شده با کیتوزان و عصاره بره موم بهترین ویژگی های حسی را در ده روز ماندگاری داشتند (Ebadi et al., 2017).

نوع و میزان آمین های بیوژن

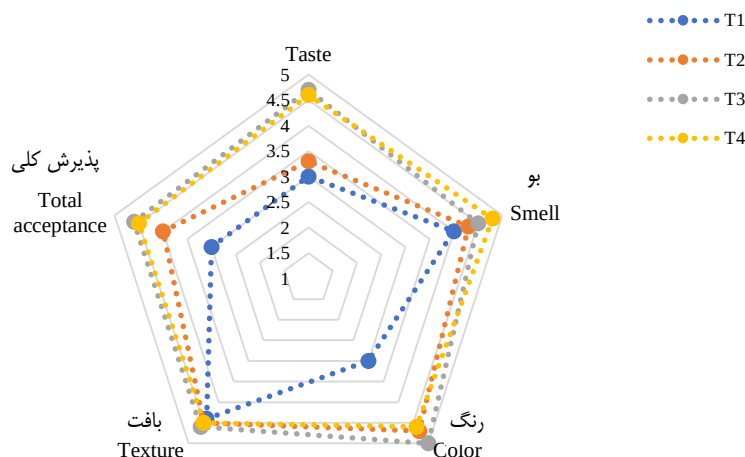
در جدول ۴، نوع آمین های بیوژن و در شکل ۲، میزان آنها در نمونه های شاهد و T₃ (نمونه برتر) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، بیشترین ترکیب آمین، هیستامین به میزان ۷۹/۸۷ (mg/kg) در روز پانزدهم و کمترین آن، تیرامین به میزان ۰/۷۹ (mg/kg) در روز نخست نگهداری ثبت شد. با افزایش مدت زمان نگهداری، غلظت آمین ها به شکل معنی داری افزایش یافت ($p < 0.05$).

طعم

ارزیابی حسی

ارزیابی حسی تیمارهای فیله ماهی های شاهد و پوشش داده شده با عصاره روناس در روز پانزدهم در شکل ۱ نشان داده شده است. طبق نتایج بدست آمده، تفاوت معنی داری میان تیمارها از نظر رنگ، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی مشاهده نشد ($p > 0.05$) البته ارزیابان بیشترین امتیاز پذیرش کلی را به نمونه T₃ دادند.

نتایج نشان داد تغییر ویژگی های حسی در تیمارهای مختلف همسو با تغییرات اکسیداسیون و فساد باکتریایی بود که می تواند به دلیل اکسیداسیون چربی (منجر به تخریب و افت کیفیت حسی)، کاهش مقدار مواد مغذی از جمله اسیدهای چرب چند غیر اشباع ضروری و تولید فرآورده های سمی اکسیداسیون باشد (Shadman et al., 2017). تأثیر پوشش خوراکی کیتوزان غنی شده با عصاره و اسانس لیموترش بر ماندگاری ماهی قزل آلا (رنگین کمان) (*Oncorhynchus mykiss*) نشان دهنده تأثیر مثبت این پوشش بر ویژگی های حسی محصول بود (Rezaeifar et al., 2020). اثر پوشش کیتوزان همراه با عصاره رزماری بر کیفیت گوشت ماهی موری (*Cirrhinus mrigala*) در طول نگهداری در بازه زمانی ۲۴ روزه، نشان دهنده تأثیر مثبت پوشش و عصاره در امتیاز ارزیابی حسی بود (Nawaz et al., 2020). تأثیر معنی دار پوشش ترکیبی اسید کلروژنیک و کیتوزان بر رنگ و مزه ماهی (*Snakehead fish*) در سردخانه به مدت ۵ ماه



شکل ۱- پارامترهای ارزیابی حسی (طعم، بو، رنگ، بافت و پذیرش کلی) تیمارهای ماهی بدون پوشش و پوشش داده شده در دمای ۴ درجه سلسیوس در روز پانزدهم

Fig. 1. Sensory evaluation parameters (taste, smell, color, texture and overall acceptance) of uncoated and coated fish treatments at 4 °C on the 15th day.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده با گذشت زمان خواص فیزیکوشیمیایی، بافت، میکروبی و حسی نمونه‌های فیله‌ماهی دستخوش تغییر شد و اغلب پارامترهای یاد شده در نمونه‌های T₁ و T₂ به بالاتر از حد مجاز رسیدند، اما نمونه‌های T₃ و T₄ شرایط مطلوب‌تری در طول دوره نگهداری سپری کردند. در نهایت با توجه به اینکه ارزیابان تمایل بیشتری به تیمار T₃ نشان دادند، این تیمار (پوشش کیتوزان/موسیلایژ چیا حاوی ۱ درصد عصاره روناس) به‌عنوان تیمار برتر جهت تولید صنعتی پیشنهاد می‌شود که دارای پتانسیل لازم برای استفاده در پوشش محصولات فسادپذیر مانند ماهی و فرآورده‌های دریایی است.

مشارکت نویسندگان

مرجان نوری: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نرم‌افزار، نوشتن - بررسی و ویرایش را بر عهده داشتند.

طبق یافته‌های برخی محققان افزایش غلظت آمین‌ها ناشی از رشد باکتری‌های تجزیه کننده هیستامین می‌باشد (Krell et al., 2021). ماهیان به‌عنوان منبع غنی از پروتئین در شرایط طبیعی، دارای میزان اندکی هیستیدین آزاد هستند، اما با گذشت زمان، فرآیند پروتئولیز سبب افزایش میزان رهایش این اسید آمینه از پروتئین‌های عضله خواهد شد (Mietz, & Karmas, 1978).

با این حال در پژوهش حاضر وجود عصاره روناس در نمونه تیمار شده نسبت به شاهد موجب کاهش چشمگیر میزان آمین‌های بیوژن شد که در ارتباط با ترکیبات ضد میکروبی، آنتی‌اکسیدانی و رنگدانه‌های موجود در عصاره بود. در پژوهشی به افزایش آمین‌های بیوژن در اختاپوس و اسکویید در دمای یخچال، اشاره شد که غلظت هیستامین کاملاً در ارتباط با رشد باکتریایی در طول دوره نگهداری است و آمین‌های بیوژن همانند هیستامین، کاداورین، پوترسین و تیرامین در ۷۵ نمونه ماهی شناسایی شدند که عمدتاً کمتر از ۱۰۰ (میلی گرم بر کیلوگرم) در بازه ۱۰ روز نگهداری گزارش شدند (Hu et al., 2012). در مطالعه دیگری پوشش کیتوزان و عصاره انار سبب کاهش تجمع آمین‌های بیوژن در دوره ماندگاری شد (Yu et al., 2022)، که هم راستا با پژوهش حاضر بود.

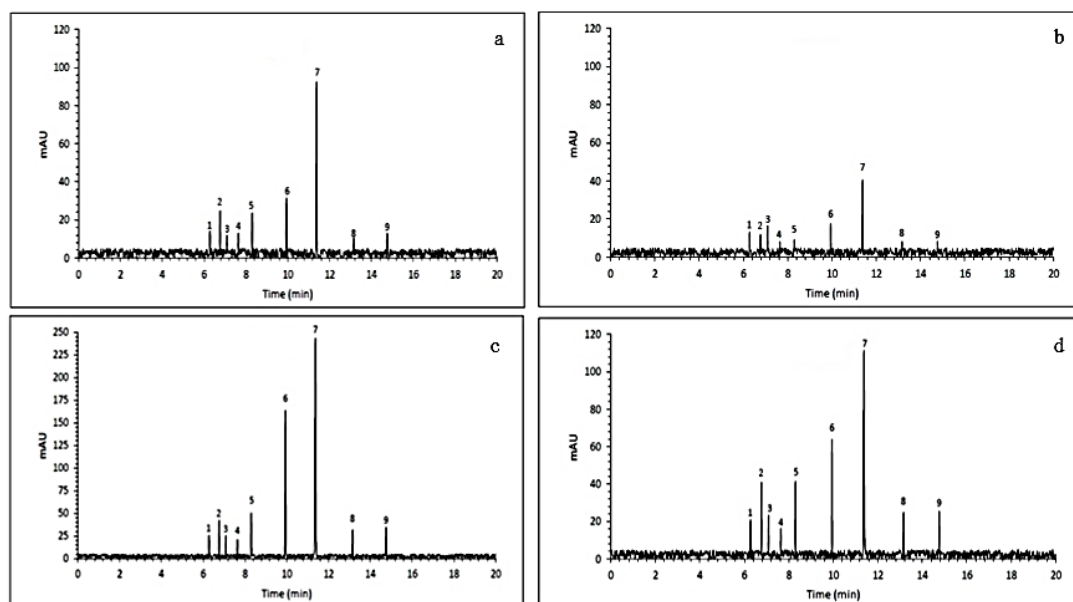
جدول ۴- آنالیز آمین‌های بیوژنیک (mg/kg) در تیمار ماهی بدون پوشش و پوشش داده شده با ۱ درصد عصاره (T_3) در دمای ۴ درجه سلسیوس طی ۱۵ روز توسط دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا

Table 4- Analysis of biogenic amines (mg/kg) in untreated and coated fish with 1 % extract (T_3) at 4 °C for 15 days by HPLC

مدت زمان ماندگاری Shelf life	غلظت آمین‌های بیوژنیک Concentration of biogenic amines(mg/kg)			
	تیمار شاهد Control	T_3	تیمار شاهد Control	T_3
آمین‌ها Amines	۱ روز 1 day	۱۵ روز 15 days	۱۵ روز 15 days	۱۵ روز 15 days
پوترسین Putrescine	1.76±0.06 ^A	1.64±0.02 ^A	15.92±0.36 ^C	13.10±0.28 ^B
کاداورین Cadaverine	2.50±0.09 ^A	1.20±0.05 ^A	8.54±0.30 ^B	8.29±0.29 ^B
تریپتامین Tryptamine	1.16±0.02 ^A	1.62±0.05 ^A	5.02±0.30 ^B	4.62±0.11 ^B
۲-فنیل اتیل آمین 2-phenylethylamine	1.52±0.02 ^A	0.95±0.01 ^A	4.92±0.30 ^B	3.84±0.09 ^B
اسپرمدین Spermidine	2.16±0.03 ^B	0.84±0.01 ^A	9.24±0.22 ^D	7.65±0.10 ^C
اسپرمین Spermine	2.72±0.05 ^B	1.52±0.05 ^A	34.19±0.46 ^D	11.08±0.37 ^C
هیستامین Histamine	10.08±0.34 ^B	4.41±0.11 ^A	79.87±0.97 ^D	38.19±0.65 ^C
تیرامین Tyramine	1.00±0.01 ^A	0.79±0.01 ^A	6.09±0.14 ^C	4.80±0.08 ^B
آگماتین Agmatine	1.54±0.05 ^A	1.99±0.03 ^A	8.26±0.33 ^C	6.11±0.12 ^B

*حروف تفاوت معنی‌داری را برای هر آزمون نشان می‌دهد ($p < 0.05$).

*Letters indicate a significant difference for each test ($p < 0.05$)



شکل ۲- کروماتوگرام به دست آمده از دستگاه کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا در بررسی غلظت آمین‌های بیوژنیک در تیمار a: بدون پوشش و b: T_3 (تیمار کیتوزان/موسیلاژ چیا با ۱ درصد عصاره روناس) در ۱۵ روز، تیمار c: بدون پوشش و d: T_3 در ۴۵ روز (۱: پوترسین؛ ۲: کاداورین؛ ۳: تریپتامین؛ ۴: ۲-فنیل اتیل آمین؛ ۵: اسپرمدین؛ ۶: اسپرمین؛ ۷: هیستامین؛ ۸: تیرامین؛ ۹: آگماتین)

Fig. 2. Chromatogram obtained from the HPLC device in investigation of biogenic amine concentrations in treatment a: uncoated and b: T_3 (chitosan/chia mucilage with 1 % *Rubia tinctorum* L. extract) in 15 days, treatment c: uncoated and d: T_3 at 45 days (1: putrescine; 2: cadaverine; 3: tryptamine; 4: 2-phenylethylamine; 5: spermidine; 6: spermine; 7: histamine; 8: tyramine; 9: agmatine)

منابع تأمین مالی

سپاسگزاری

این پژوهش طرح تحقیقاتی با کد ۶۲۱/۳۳۹۱ با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن انجام شده است.

تمام افراد و سازمان‌هایی که در نگارش مقاله نقش داشته‌اند، مورد تقدیر قرار می‌گیرند.

References

1. Abdollahzadeh, M., Elhamirad, A. H., Shariatifar, N., Saeidiasl, M., & Armin, M. (2023). Effects of nano-chitosan coatings incorporating with free/nano-encapsulated essential oil of Golpar (*Heracleum persicum* L.) on quality characteristics and safety of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *International Journal of Food Microbiology*, 385, 109996. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109996>
2. Cao, X., Islam, M.N., Chitrakar, B., Duan, Z., Xu, W., & Zhong, S. (2020). Effect of combined chlorogenic acid and chitosan coating on antioxidant, antimicrobial, and sensory properties of snakehead fish in cold storage. *Food Science & Nutrition*, 8(2), 973-981. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1378>
3. Chaijan, S., Panpipat, W., Panya, A., Cheong, L.Z., & Chaijan, M. (2020). Preservation of chilled Asian sea bass (*Lates calcarifer*) steak by whey protein isolate coating containing polyphenol extract from ginger, lemongrass, or green tea. *Food Control*, 118, 107400. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107400>
4. Chen, X., Lan, W., Xu, Z., Li, H., & Xie, J. (2024). Effects of active film based on chitosan/polyvinyl alcohol on the quality of refrigerated sea bass (*Lateolabrax Japonicus*) fillets. *Food Bioscience*, 59, 103854. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103854>
5. Chieng, C.C. Y., Daud, H.M., Yusoff, F.M., & Abdullah, M. (2018). Immunity, feed, and husbandry in fish health management of cultured *Epinephelus fuscoguttatus* with reference to *Epinephelus coioides*. *Aquaculture and Fisheries*, 3(2), 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2018.01.003>
6. Ebadi, Z., Khodanazary, A., Hosseini, S.M., & Zanguee, N. (2019). The shelf life extension of refrigerated *Nemipterus japonicus* fillets by chitosan coating incorporated with propolis extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.07.204>
7. El-Obeid, T., Yehia, H.M., Sakkas, H., Lambrianidi, L., Tsiraki, M.I., & Savvaidis, I.N. (2018). Shelf-life of smoked eel fillets treated with chitosan or thyme oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 578-583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.125>
8. Hoseinzadeh, A., Sadeghipour, Y., & Behbudi, G. (2020). Investigation preliminary antimicrobial and anticancer properties: on Topic *Rubia tinctorum* plant by using Polydimethylsiloxane (CAR/PDMS). *Advances in Applied NanoBio-Technologies*, 1(1), 10-19. [https://doi.org/10.47277/AANBT/1\(1\)14](https://doi.org/10.47277/AANBT/1(1)14)
9. Houari, F.Z., Erenler, R., & Hariri, A. (2022). Biological activities and chemical composition of *Rubia tinctorum* (L) root and aerial part extracts thereof. *Acta Biológica Colombiana*, 27(3), 403-414. <https://doi.org/10.15446/abc.v27n3.95476>
10. Hu, Y., Huang, Z., Li, J., & Yang, H. (2012). Concentrations of biogenic amines in fish, squid and octopus and their changes during storage. *Food Chemistry*, 135(4), 2604-2611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.121>
11. Kabiri, S., Rahimi, S., & Fadaei Noghani, V. (2019). Studying the Madder extract application as a natural colorant on qualitative properties of flavoured milk-based dessert. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 16(89), 225-236.
12. Karim, A., Mekhfi, H., Ziyat, A., Legssyer, A., Bnouham, M., Amrani, S., Atmani, F., Melhaoui, A., & Aziz, M. (2010). Anti-diarrhoeal activity of crude aqueous extract of *Rubia tinctorum* L. roots in rodents. *Journal of Smooth Muscle Research*, 46(2), 119-123. <https://doi.org/10.1540/jsmr.46.119>
13. Krell, T., Gavira, J.A., Velando, F., Fernández, M., Roca, A., Monteagudo-Cascales, E., & Matilla, M.A. (2021). Histamine: a bacterial signal molecule. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(12), 6312. <https://doi.org/10.3390/ijms22126312>
14. Marhoume, F.Z., Aboufatima, R., Zaid, Y., Limami, Y., Duval, R.E., Laadraoui, J., Belbachir, A., Chait, A., & Bagri, A. (2021). Antioxidant and polyphenol-rich ethanolic extract of *Rubia tinctorum* L. prevents urolithiasis in an ethylene glycol experimental model in Rats. *Molecules*, 26(4), 1005. <https://doi.org/10.3390/molecules26041005>
15. Mietz, J.L., & Karmas, E. (1978). Polyamine and histamine content of rockfish, salmon, lobster, and shrimp as an indicator of decomposition. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 61(1), 139-145. <https://doi.org/10.1093/jaoac/61.1.139>

16. Morachis-Valdez, A.G., Santillán-Álvarez, Á., Gómez-Oliván, L.M., García-Argueta, I., Islas-Flores, H., & Dublán-García, O. (2021). Effects of peppermint extract and chitosan-based edible coating on storage quality of common Carp (*Cyprinus carpio*) fillets. *Polymers*, 13(19), 3243. <https://doi.org/10.3390/polym13193243>
17. Mujtaba, M., Ali, Q., Yilmaz, B.A., Kurubas, M.S., Ustun, H., Erkan, M., Kaya, M., Cicek, M., & Oner, E.T. (2023). Understanding the effects of chitosan, chia mucilage, levan based composite coatings on the shelf life of sweet cherry. *Food Chemistry*, 416, 135816. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135816>
18. Nawaz, T., Fatima, M., Shah, S.Z.H., & Afzal, M. (2020). Coating effect of rosemary extract combined with chitosan on storage quality of mori (*Cirrhinus mrigala*). *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), 14833. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14833>
19. Rastegari, S., Alich, M., Samih, M. A., Minaei, K., & Saharkhiz, J. (2015). Toxicity effect of henna, *Lawsonia inermis* L. and madder *Rubia tinctorum* L. extracts on *Rhopalosiphum padi* L. versus pesticidal effect of pirimicarb and imidacloprid. *Plant Protection (Scientific Journal of Agriculture)*, 38(4), 55-66. <https://doi.org/10.22055/PPR.2015.11394>
20. Rezaeifar, M., Mehdizadeh, T., Mojaddar Langroodi, A., & Rezaei, F. (2020). Effect of chitosan edible coating enriched with lemon verbena extract and essential oil on the shelf life of vacuum rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Journal of Food Safety*, 40(3), 12781. <https://doi.org/10.1111/jfs.12781>
21. Shadman, S., Hosseini, S.E., Langroudi, H.E., & Shabani, S. (2017). Evaluation of the effect of a sunflower oil-based nanoemulsion with *Zataria multiflora* Boiss. essential oil on the physicochemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during cold storage. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 511-517. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.073>
22. Shafaghi Rad, M., & Nouri, M. (2023). Inspection of *Capparis spinosa* essential oils for quality assurance of fish burgers during refrigerated storage. *Food Science & Nutrition*, 11(11), 7229-7241. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3648>
23. Shah Hosseini, S.R., Safari, R., & Javadiyan, S.R. (2021). Evaluation antioxidant effects of Pullulan edible coating with watercress extract (*Nasturtium officinale*) on the chemical corruption of fresh beluga sturgeon fillet during storage in a refrigerator. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 30(2), 133-146. <https://doi.org/10.22092/ISFJ.2021.124553>
24. Tabarestani, H.S., Maghsoudlou, Y., Motamedzadegan, A., & Mahoonak, A.S. (2010). Optimization of physico-chemical properties of gelatin extracted from fish skin of rainbow trout (*Onchorhynchus mykiss*). *Bioresource Technology*, 101(15), 6207-6214. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.02.071>
25. Wang, W., Zhang, J., Qi, W., Su, R., He, Z., & Peng, X. (2021). Alizarin and purpurin from *Rubia tinctorum* L. suppress insulin fibrillation and reduce the amyloid-induced cytotoxicity. *ACS Chemical Neuroscience*, 12(12), 2182-2193. <https://doi.org/10.1021/acschemneuro.1c00177>
26. Youssef, A.M., El-Sayed, H.S., Islam, E.N., & El-Sayed, S.M. (2021). Preparation and characterization of novel bionanocomposites based on garlic extract for preserving fresh *Nile tilapia* fish fillets. *RSC Advances*, 11(37), 22571-22584. <https://doi.org/10.1039/D1RA03819B>
27. Yu, D., Jiang, Q., Xu, Y., & Xia, W. (2017). The shelf life extension of refrigerated grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets by chitosan coating combined with glycerol monolaurate. *International Journal of Biological Macromolecules*, 101, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.038>
28. Yu, D., Zhao, W., Dong, J., Zang, J., Regenstein, J.M., Jiang, Q., & Xia, W. (2022). Multifunctional bioactive coatings based on water-soluble chitosan with pomegranate peel extract for fish flesh preservation. *Food Chemistry*, 374, 131619. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131619>
29. Zeng, X., He, L., Guo, X., Deng, L., Yang, W., Zhu, Q., & Duan, Z. (2017). Predominant processing adaptability of *Staphylococcus xylosus* strains isolated from Chinese traditional low-salt fermented whole fish. *International Journal of Food Microbiology*, 242, 141-151. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.11.014>
30. Zettel, V., & Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.011>

Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise

M. Akbari¹, M.J. Varidi^{id}2*, M. Varidi^{id}2, H. Yarabbi³

1, 2 and 3- Master's Degree, Professor and Ph.D., Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: mjvaridi@um.ac.ir)

Received: 08.08.2024
Revised: 07.10.2024
Accepted: 13.10.2024
Available Online: 16.02.2025

How to cite this article:

Akbari, M., Varidi, M.J., Varidi, M., & Yarabbi, H. (2025). Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 61-77. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89260.1354>

Introduction

Mayonnaise is one of the world's most popular sauces. It is a semi-solid oil-in-water emulsion made by mixing vegetable oil, egg yolk, water, vinegar, and other ingredients. Due to the high calorie and cholesterol content of egg yolks, excessive consumption of mayonnaise can lead to health-related problems. Major issues faced by mayonnaise producers include fat oxidation during storage, which leads to off-flavor and taste, as well as reduction in nutritional value and food safety. These factors may negatively affect on the consumer acceptance of mayonnaise. With increasing consumer demand for low-fat and low-cholesterol foods, low-fat mayonnaise has significant consumption potential. One of the consumer demands is to reduce the fat content in mayonnaise and salad dressing. Fats play many functional roles in food emulsions, contributing to the taste, appearance, texture, and shelf life of the product in specific ways. Therefore, it is challenging to maintain the quality of traditional products when preparing low-fat foods. It is possible to select specific fat substitutes in particular amounts to create a product with a texture similar to traditional mayonnaise. Light mayonnaise often contains certain fats added to help stabilize the emulsion and thicken its consistency. This research studied the possibility of using aloe vera gel as partial fat substitute in mayonnaise.

Materials and Methods

All the powdered ingredients were mixed together with eggs, water, and half of the required amount of vinegar in a blender for 3 minutes. To form an emulsion, oil was added in two stages while stirring together with starch and gums for 5 minutes. Mixing oil and the aqueous phase simultaneously leads to the formation of a water-in-oil emulsion. Finally, the remaining vinegar was added and mixed for 3 minutes until the fat particles were evenly dispersed in the sauce. Aloe Vera gel was also added in proportion to the reduction of oil according to the formulation of the samples. The optimal mixture design was used for three independent variables: oil A 15-60%, gel B 0-55%, and water C 0-10%. The multiple combinations of these variables led to an experimental design with 16 samples that were determined using Design Expert software, and the physicochemical, rheological, and textural characteristics of the samples were investigated. Additionally, suitable regression equations and mixed contour diagrams were obtained by this software for each response.

Results and Discussion

The results showed that increasing the replacement percentage of aloe vera gel and decreasing the percentage of oil led to an increase in pH and a decrease in acidity, stability, textural properties, and transparency of the samples. To describe the rheological properties, Bingham's model was used, and the viscosity parameters and Bingham's yield stress were investigated with an increasing the percentage of aloe vera gel replacement.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89260.1354>

Additionally, the apparent viscosity of the samples exhibited a decreasing trend and thinning behavior with shear. These changes in characteristics are attributed to the effect of adding fat to the mayonnaise formulation. The optimal values of independent variables in the production of low-fat mayonnaise were oil (40%), aloe vera gel (30%) and water (0%), respectively.

Conclusion

This research showed that aloe vera gel can be used in the formulation of mayonnaise as a partial substitute to oil. Due to the strong demand from consumers for this product, reformulating this high-fat emulsion is a fundamental need in the food industry. The use of aloe vera gel offers many benefits, including reducing cholesterol and fat levels overall, increasing microbiological stability, and, in some cases, lowering manufacturing costs.

Acknowledgement

Thanks to the staff and research and educational officials of Ferdowsi University of Mashhad (Project Code: 2663532).

Keywords: Aloe vera gel, Low fat, Mayonnaise, Optimization

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۶۱-۷۷

اثر ژل آلوهورا بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی سس مایونز کم چرب

مریم اکبری^۱ - محمد جواد وریدی^۲ - مهدی وریدی^۳ - هانیه یاربی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۲

چکیده

سس مایونز یکی از سس‌های پرطرفدار در جهان است که یک امولسیون نیمه جامد روغن در آب است که از مخلوط کردن روغن نباتی، زرده تخم‌مرغ، آب، سرکه و غیره تهیه می‌شود. به دلیل کالری و کلسترول بالای زرده تخم‌مرغ مصرف بیش از حد سس مایونز اغلب باعث مشکلات مرتبط با سلامتی می‌شود. مشکلات عمده‌ای که تولیدکنندگان سس مایونز با آن مواجه هستند شامل اکسیداسیون چربی در طول ذخیره‌سازی است که منجر به طعم بد محصول و همچنین کاهش ارزش غذایی و ایمنی مواد غذایی می‌شود. این عوامل ممکن است پذیرش مصرف‌کننده از سس مایونز را کاهش دهد. با افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای غذاهای کم‌چرب و کم‌کلسترول، سس مایونز کم‌چرب پتانسیل مصرف بالایی دارد. لذا اصلاح فرمولاسیون این امولسیون پرچرب نیاز اساسی در صنعت غذا است. در این پژوهش امکان استفاده از ژل آلوهورا به‌عنوان جایگزین چربی در سس مایونز مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور از طرح مخلوط بهینه برای سه متغیر مستقل روغن A ۶۰-۱۵٪، ژل B ۵۵-۰٪ و آب C ۱۰-۰٪ استفاده شد. ترکیب چندانگانه از این متغیرها منجر به یک طرح آزمایشی با ۱۶ نمونه گردید که با استفاده از نرم‌افزار Design Expert تعیین شدند، و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین معادلات رگرسیونی مناسب و نمودار کانتور مخلوط به‌وسیله این نرم‌افزار برای هر پاسخ به‌دست آمد. نتایج نشان داد که افزایش درصد جایگزینی ژل آلوهورا و کاهش درصد روغن منجر به افزایش pH و کاهش اسیدیته، پایداری، خواص بافتی و شفافیت نمونه‌ها گردید. به‌منظور توصیف خواص رئولوژیکی از مدل بینگهام استفاده شد و بررسی پارامترهای ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوهورا، روند کاهشی داشت. همچنین ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها سیر نزولی و رفتار رقیق شونده با برش نشان داد. این تغییرات در ویژگی‌ها، به‌دلیل تأثیر بسزای چربی در فرمولاسیون سس مایونز می‌باشد. براساس نتایج بدست آمده، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل به‌ترتیب روغن (۴۰٪)، ژل آلوهورا (۳۰٪) و آب (۰٪) جهت تولید مایونز کم‌چرب بود. بهینه‌سازی فرمولاسیون براساس متغیرهای مستقل و پاسخ‌های بهینه‌یابی نشان داد که ژل آلوهورا به‌تنهایی در حد ۳۰٪ قابلیت استفاده در سس مایونز را دارد. بنابراین، ژل آلوهورا قابلیت استفاده در سس مایونز به‌عنوان جایگزین بخشی از روغن را دارا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، ژل آلوهورا، سس مایونز، کم‌چرب

مقدمه

زیرا موجب بروز بیماری‌هایی چون چاقی، تصلب شرائین و نارسایی‌های قلبی می‌شود (Park et al., 2020). از این‌رو، در طول دهه گذشته، مصرف محصولات کم‌چرب اهمیت فراوانی پیدا کرده است و تولیدکنندگان در راستای پاسخ به این نیاز مصرف‌کنندگان، به‌دنبال تولید محصولات کم‌چرب می‌باشند که مایونز کم‌چرب یکی از این موارد است (Kaneda & Shibata, 2020). چنانچه میزان چربی به ۴۰-۵۵٪ کاهش یابد، سس مایونز با چربی کاهش یافته نامیده می‌شود و اگر به ۲۰-۳۳٪ کاهش یابد، سس مایونز کم‌چرب محسوب می‌شود. باتوجه

سس مایونز، امولسیون نیمه‌جامد روغن در آب است که از امولسیون شدن روغن‌های گیاهی خوراکی (حداقل ۶۵٪) در یک فاز مایع حاوی سرکه به وجود می‌آید و توسط ترکیبات امولسیفایری موجود در زرده تخم‌مرغ پایدار می‌گردد. pH آن نیز بین ۳/۶-۴ است (Majidova et al., 2024). این محصول در سال‌های اخیر به‌عنوان چاشنی و عامل اشتهاآور، در کنار غذاها مصرف فراوانی پیدا کرده است، ولی به‌علت بالا بودن مقادیر فراوان روغن، مصرف زیاد این فرآورده توصیه نمی‌شود؛

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب کارشناسی ارشد، استاد و دکتری گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: mjvaridi@um.ac.ir)

و چسبناک می‌باشند (Adhav et al., 2020). این ژل که عمده‌ترین بخش مورد استفاده گیاه است؛ شامل آب (بیش از ۹۸٪) و همچنین ترکیبات پلی‌ساکاریدی نظیر پکتین، سلولز، همی سلولز، گلوکومانان و مانوز می‌باشد، بنابراین به‌دلیل حضور پلی‌ساکاریدهای مختلف که سبب جذب آب زیادی می‌شوند، ژل آلوتی‌ورا می‌تواند بر روی قوام و گرانبه‌ی محصول نقش مؤثری داشته باشد (Sonawane et al., 2021). با توجه به موارد فوق، هدف از این مطالعه بهینه‌سازی سس مایونز کم‌چرب با استفاده از ژل آلوتی‌ورا به‌عنوان جانشین قسمتی از چربی می‌باشد. برای این منظور خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی نمونه‌های مایونز تهیه شده در غلظت‌های مختلف ژل آلوتی‌ورا بررسی شد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه شامل روغن مایع آفتابگردان، تخم مرغ، سرکه سفید گلچکان زمانی (۵٪ اسیدیته)، پودر خردل، نمک، شکر، صمغ زانتان و گوار، نشاسته، آب، آلبیمو، فلفل و ژل آلوتی‌ورا از بازار روز مشهد خریداری شدند که درصد هر یک از اجزاء فرمولاسیون در جدول ۱ ذکر شده است (Raikos et al., 2020). برگ‌های آلوتی‌ورا نیز از گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه گردید.

جدول ۱- اجزاء فرمولاسیون سس مایونز

Table 1- Mayonnaise formulation components

مواد اولیه	درصد
Raw materials	Percentage (w/w)
Eggs تخم مرغ	10
Oil روغن	60
Vinegar سرکه	6
Lemon juice آلبیمو	1.5
Salt نمک	0.6
Mustard powder پودر خردل	0.4
Pepper فلفل	0.2
Sugar شکر	3
Water آب	12.3
Xanthan Gum صمغ زانتان	0.5
Guar gum صمغ گوار	0.5
Starch نشاسته	5

تهیه سس مایونز

ابتدا کلیه مواد پودری به‌همراه تخم مرغ، آب و یک‌دوم میزان سرکه مورد نیاز درون مخلوط‌کن به‌مدت ۳ دقیقه همزده شدند. سپس روغن به‌منظور تشکیل امولسیون به‌تدریج، در طی دو مرحله در حین همزدن

به نقش چربی در فرمولاسیون سس مایونز و تأثیر به‌سازی آن در ایجاد طعم، با کاهش میزان چربی در این فرآورده، ویژگی‌های حسی و رئولوژیکی به‌شدت تغییر می‌کنند (Blok et al., 2023). بنابراین، موضوع جایگزین کردن بخشی از روغن با موادی که بتوانند نقش روغن را در فرمولاسیون سس مایونز داشته باشند، ضروری می‌باشد. تاکنون به‌عنوان جایگزین چربی اغلب از انواع صمغ‌ها و پروتئین‌ها استفاده شده است. این ترکیبات با افزایش ویسکوزیته و قوام فاز پیوسته مانع تحرک قطرات روغن شده و از به‌هم پیوستن آن‌ها جلوگیری می‌کنند، به این ترتیب باعث تثبیت امولسیون می‌شوند، همچنین با تشکیل لایه‌های بین سطحی قوی در اطراف ذرات فاز پراکنده (روغن) به‌عنوان پایدارکننده عمل می‌کنند (Park et al., 2020; Jafarpour, 2022). نتایج تحقیقات پارک و همکاران (Park et al., 2020) نشان داد که نشاسته اصلاح‌شده، اکتیل سوکسینیک انیدرید-نشاسته و اسید سیتریک -نشاسته در ۳۰٪ به‌عنوان جایگزین جزئی چربی تنش عملکرد بالا را نشان دادند. مدول الاستیک (G') سس مایونزهای کم‌چرب کمتر از سس مایونز پرچرب بود، اما سس مایونز با نشاسته اصلاح شده، انیدرید اکتیل سوکسینیک-نشاسته و اسید سیتریک -نشاسته G' بالاتری نسبت به سایر نشاسته‌های اصلاح‌شده داشتند. سس مایونزهای کم‌چرب، پایداری امولسیونی بالاتری نسبت به پرچرب نشان دادند، به‌ویژه آنهایی که دارای نشاسته اصلاح‌شده، اکتیل سوکسینیک انیدرید-نشاسته و اسید سیتریک -نشاسته بودند. تقوی و همکاران (Taghavi et al., 2024) از نشاسته اصلاح‌شده برنج (۱۰، ۳۰ و ۵۰٪) در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که تا ۳۰٪ جایگزینی روغن با نشاسته اصلاح شده برنج، پایداری امولسیون سس مایونز به خوبی حفظ می‌شود. اودپ و همکاران (Odep et al., 2024) خواص شیمیایی-شیمیایی و حسی جایگزین سس مایونز تهیه شده از موسیلاژ چیا (*Salvia hispanica* L.) در سطوح ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰٪ و صمغ عربی ۳٪ را بررسی کردند. این محققین گزارش کردند که تمامی سس مایونزهای کم‌چرب، انرژی به میزان ۴۹۳ کیلوکالری در ۱۰۰ گرم و ۲۰٪ چربی داشتند، اما محتوای آب بالاتری ۰/۷۴ نسبت به نمونه شاهد (سس مایونز پرچرب) با ۷۸۴ کیلوکالری در ۱۰۰ گرم کالری، ۷۷٪ چربی و ۰/۳۹ رطوبت بودند. این تفاوت‌ها با افزایش سطوح جایگزینی موسیلاژ چیا افزایش یافت که بر pH، کربوهیدرات و پروتئین تأثیر گذاشت. تفاوت معنی‌داری بین میزان خاکستر برای سس مایونز کم‌چرب و شاهد وجود نداشت.

آلوتی‌ورا گیاهی چندساله از راسته Asparagales تیره Liliaceae می‌باشد که بومی مناطق حاره آفریقا است. این گیاه دارای دو محصول اصلی، شامل بخش مایع، حاوی تراوش‌های زرد رنگ و تلخ‌مزه و بخش نیمه جامد، حاوی سلول‌های بافت پاراننشیمی برگ، که دارای ژلی شفاف

مخلوط گردید تا ذرات چربی به‌طور یکنواخت در سس پراکنده شوند (Yang et al., 2020). ژل آلوه‌ورا نیز به نسبت کاهش روغن مطابق جدول ۲ اضافه گردید.

به‌همراه نشاسته و صمغ‌ها در مدت‌زمان ۵ دقیقه اضافه گردید. مخلوط کردن روغن و فاز آبی به‌یکباره منجر به تشکیل امولسیون آب در روغن می‌شود. در نهایت باقی‌مانده سرکه افزوده شد و در مخلوط‌کن KENWOOD مدل 43M3 با دور ۱۰۰۰۰ rpm به‌مدت ۳ دقیقه

جدول ۲- مشخصات تیمارها در فرمولاسیون سس مایونز کم چرب
Table 2- Characteristics of treatments in the formulation of low-fat mayonnaise

نمونه Sample	(A%) روغن Oil	(B%) ژل آلوه‌ورا Aloe vera gel	(C%) آب Water
1	60	10	0
2	15	49.099	5.901
3	42.128	17.872	10
4	38.248	27.861	3.890
5	60	0	10
6	32.313	37.687	0
7	60	10	0
8	50.674	19.326	0
9	20.302	39.698	10
10	20.302	39.698	10
11	38.248	27.861	3.890
12	51.072	8.928	10
13	15	55	0
14	60	0	10
15	24.246	45.754	0
16	15	49.099	5.901

۳۰ دقیقه در حمام آب با دمای 80°C قرار داده شدند و سپس به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۵۰۰۰ rpm سانتیفریوژ گردیدند (Li et al., 2020).
(حجم کل امولسیون)/(حجم امولسیون باقیمانده) = پایداری فیزیکی امولسیون $\times 100$

خواص رئولوژیکی

به‌منظور اندازه‌گیری ویژگی‌های رئولوژیکی از ویسکومتر دورانی بوهلین (UK- Malvern-Visco 88) مجهز به سیرکولاتور حرارتی استفاده گردید. با توجه به ویسکوزیته نمونه‌ها، از اسپیندل باب و کاپ C_{25} جهت انجام آزمون‌ها استفاده شد. برای هر آزمون تقریباً ۱۲ g از نمونه در داخل کاپ ریخته شد سپس در تماس با باب و سیرکولاتور قرار گرفت. پس از رسیدن به دمای 25°C ، دامنه درجه برش s^{-1} ۱۴-۳۰۰ بر ثانیه اعمال شد و داده‌های مربوط به تنش برشی-درجه برشی (منحنی‌های جریان) به‌دست آمد. دستگاه ویسکومتر مجهز به نرم‌افزار کامپیوتری بوده و شرایط کاری آن کاملاً قابل کنترل بود. به‌منظور توصیف رفتار جریان نمونه‌های مایونز و به‌دست آوردن پارامترهای رئولوژیکی از مدل بینگهام به‌شرح ذیل استفاده گردید.

$$\tau = k\dot{\gamma} + \tau_0$$

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی

pH و اسیدیته

۵ g از نمونه در ۲۰ mL مقطر رقیق شد و سپس با استفاده از pH متر (Swiss Metrohm-827)، pH آن اندازه‌گیری گردید (Li et al., 2020). جهت تعیین اسیدیته نیز، نمونه رقیق شده با استفاده از سود ۰/۱ نرمال در حضور معرف فنل فتالین تا ظهور رنگ صورتی روشن تیترو شد. سپس اسیدیته برحسب اسید استیک محاسبه گردید (Yang et al., 2020). در این فرمول a حجم سود مصرفی (mL) و s وزن نمونه (g) می‌باشد.

$$s = (0/006a \times 100)/\text{اسیدیته}$$

پایداری فیزیکی و حرارتی

حجم مشخصی از نمونه‌های سس مایونز به‌مدت ۳۰ دقیقه در ۵۰۰۰ rpm سانتیفریوژ (Eppendorf-5430, Germany) شدند و سپس مقدار شاخص پایداری فیزیکی امولسیون با توجه به حجم امولسیون باقی‌مانده، محاسبه گردید. همچنین جهت تعیین ثبات مایونز در برابر حرارت مراحل قبل تکرار و نمونه‌ها قبل از سانتیفریوژ، به‌مدت

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3$$

نتایج و بحث pH و اسیدیته

باتوجه به معادله Y_1 در جدول ۱ پیوست، متغیرهای روغن، ژل و آب تأثیر خطی معنی‌داری در سطح احتمال ($p < 0.001$) و متغیرهای روغن-ژل (AB) تأثیر متقابل معنی‌داری در سطح احتمال ($p < 0.05$) دارند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلئوئورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب)، pH افزایش یافته است (شکل ۱). این تغییر به دلیل کاهش غلظت یون هیدروژن در اثر pH ژل آلئوئورا است که در محدوده (۴-۵) می‌باشد، زیرا محیط سس مایونز حالت بافری ندارد (Li et al., 2020). با این حال، با توجه به شکل ۱، pH نمونه‌ها در محدوده استاندارد قرار داشت. از طرفی افزایش pH را می‌توان به افزایش فاز آبی نسبت داد، چون بیش از ۹۸-۹۹٪ ژل آلئوئورا را آب تشکیل می‌دهد که جزء اصلی ژل می‌باشد که با نتایج شایگان نیا و همکاران (Shaygannia et al., 2021) که استدلال کردند به واسطه وجود آب زیاده‌تر و در نتیجه رقیق شدن اسید میزان pH نمونه‌های کم‌چرب بیشتر است، مطابقت داشت. نتایج مدل آزمون اسیدیته در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال ($p < 0.001$) بود. براساس شکل ۱ اسیدیته می‌توان دریافت که اثر متقابل روغن-ژل روند کاهشی داشته است. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلئوئورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب)، اسیدیته کاهش یافته است، که با نتایج به‌دست آمده از آزمون pH مطابقت داشت. دلیل کاهش اسیدیته، کاهش غلظت اسیدهای آلی در پی افزایش فاز آبی حاصل شده می‌باشد. دامیان و همکاران (Damian et al., 2018) نیز دریافتند که سس مایونزهای کم‌چرب ارزش کالری کمتر، فعالیت آبی و مقادیر pH بالاتری نسبت به سس مایونز نمونه شاهد داشتند.

ویژگی‌های رئولوژیکی

شکل ۲، رفتار جریان برخی نمونه‌های سس مایونز را برحسب تنش برش - درجه برش نشان می‌دهد. از آنجایی که رابطه بین تنش برشی - درجه برش غیرخطی است، بنابراین نمونه‌های سس مایونز از نظر رئولوژیکی جزء سیالات غیرنیوتنی طبقه‌بندی می‌شوند، در این پژوهش از مدل قانون بینگهام برای توصیف رفتار جریان رئولوژیکی مستقل از زمان نمونه‌ها استفاده شد.

در مدل فوق (τ) تنش برشی (Pa)، ($\dot{\gamma}$) سرعت برشی (s^{-1})، k ویسکوزیته بینگهام (Pa.s) می‌باشد. به‌منظور ارزیابی حسی و احساس دهانی، ویسکوزیته ظاهری در سرعت برشی $50 s^{-1}$ گزارش شد (Ozcan et al., 2023).

رنگ‌سنجی

جهت اندازه‌گیری رنگ، از دستگاه (Minolta Konica, CR-) (410, Japan) استفاده شد. طی این آزمون پارامترهای رنگ (L^* ، a^* و b) تعیین شد (Blok et al., 2023).

ویژگی‌های بافتی

به‌منظور سنجش بافت نمونه‌ها از دستگاه آنالیز بافت (TAXT plus, England) استفاده شد. آزمون به روش اکستروژن برگشتی و با استفاده از ظرف اندازه‌گیری با ارتفاع ۵۵ mm و قطر داخلی ۴۵ mm و پروب با قطر ۳۵ mm انجام شد. سرعت نفوذ پروب به داخل نمونه ۱ mm/s و عمق نفوذ آن ۲۰ mm در نظر گرفته شد. با استفاده از منحنی نیرو-زمان، صفات بافتی شامل سفتی^۱، قوام^۲، نیروی چسبندگی^۳ و چسبندگی (اندیس ویسکوزیته^۴) به‌دست آمد (Jafarpour, 2022).

ارزیابی حسی

تعداد ۱۲ نفر به‌عنوان ارزیاب انتخاب شدند. جهت ارزیابی حسی، از مقیاس هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد که در آن عدد ۱ نشان‌دهنده پایین‌ترین امتیاز و عدد ۵ نیز بیانگر بالاترین امتیاز است. شاخص‌های حسی شامل ظاهر (شفافیت و یکنواختی)، رنگ، طعم، بو، بافت و پذیرش کلی هر نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت (Li et al., 2020).

آنالیز آماری

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل روغن (A)، ژل آلئوئورا (B) و آب (C) بر پاسخ‌ها از نمودار مخلوط اپتیمال^۵ استفاده شد. دامنه تغییرات روغن ۶۰-۱۵٪، ژل آلئوئورا ۵۵-۰٪ و آب ۱۰-۰٪ بود. در همه نمونه‌ها مجموع ۳ متغیر ۷۰٪ در نظر گرفته شد. برای طراحی آزمایش‌ها و تجزیه و تحلیل نتایج، از نرم‌افزار Design Expert (نسخه ۱۰) استفاده شد. از مدل درجه دو برای برازش پاسخ‌های حاصل استفاده گردید. به‌منظور ارزیابی صحت مدل، مقادیر R^2 ، R^2 تصحیح شده و p ضرایب تعیین شدند.

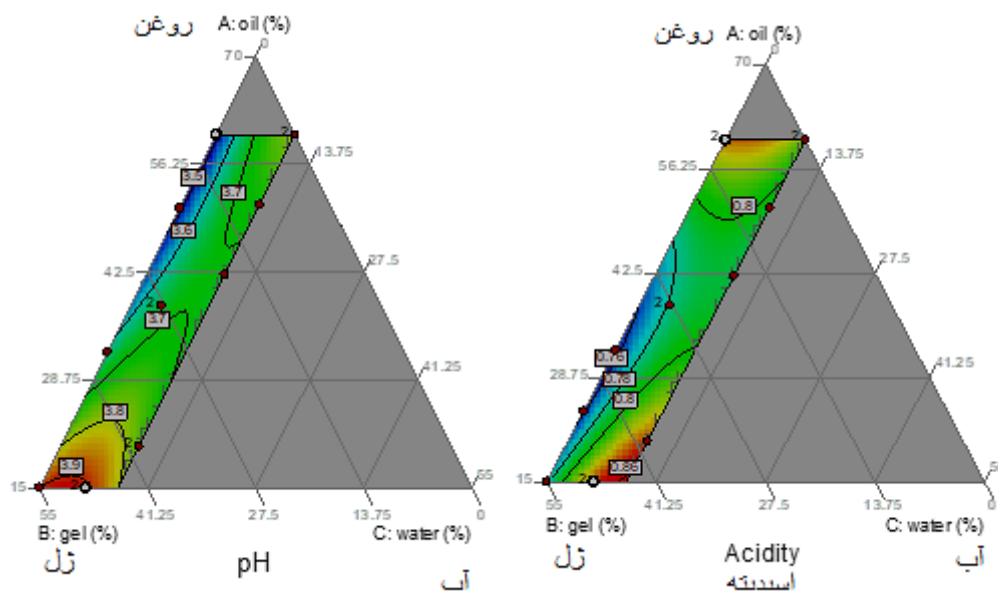
4- Viscosity
5- Optimal Mixture Design

1- Firmness
2- Consistency
3- Cohesiveness

بودند. بنابراین براساس معادله Y_3 و Y_4 در جدول ۱ پیوست و شکل ۳، a و b که نشان‌دهنده تأثیر متقابل روغن-ژل می‌باشد با افزایش درصد جایگزینی ژل آلونه‌ورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام کاهش یافته است.

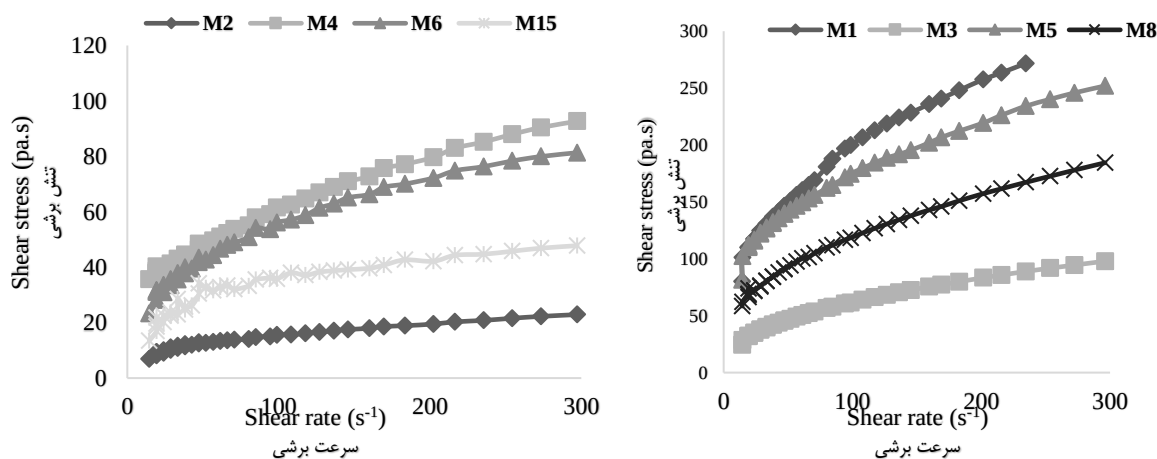
ویسکوزیته و تنش تسلیم مدل بینگهام

باتوجه به مدل‌های پیشگویی داده‌های ویسکوزیته و تنش تسلیم بینگهام در جدول ۲ پیوست، تأثیر خطی متغیرهای روغن، ژل و آب و تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال ($p < 0.001$) معنی‌دار



شکل ۱- نمودار کانتر اثر متقابل روغن-ژل بر pH و اسیدیته نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 1. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the pH and acidity of low-fat mayonnaise samples



شکل ۲- منحنی‌های جریان نمونه‌های سس مایونز

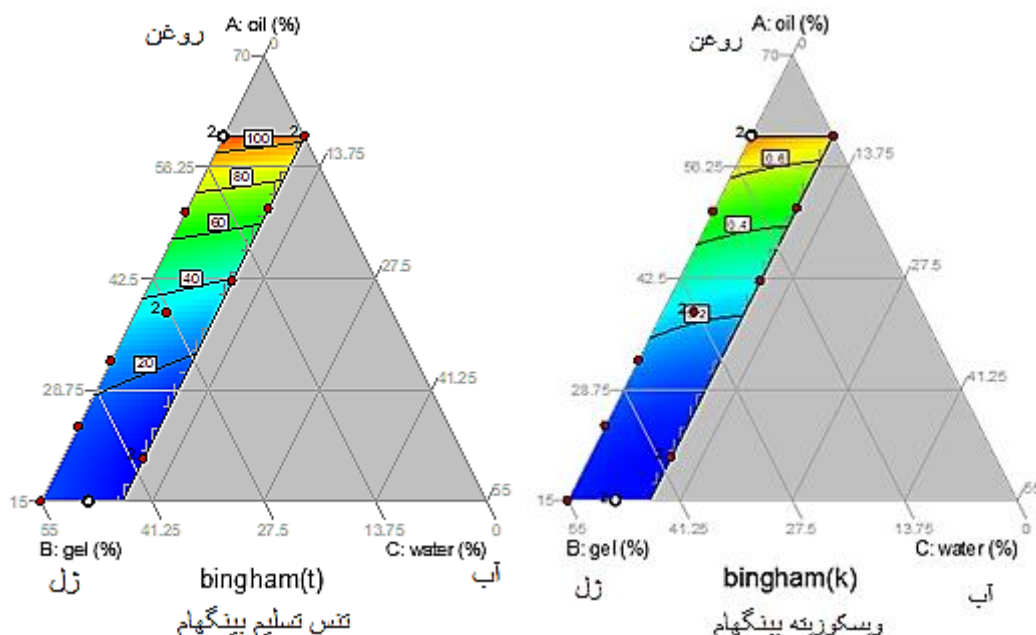
Fig. 2. Flow curves of the mayonnaise samples

کم‌چرب به این نتیجه دست یافتند که تنش تسلیم متناسب با افزایش حجم فاز پراکنده (روغن) و قدرت جاذبه بین قطرات روغن افزایش

دامیان و همکاران (Damian et al., 2018) در پژوهش خود با بررسی استفاده از آگار و صمغ زانتان در فرمولاسیون سس مایونز

تنش برشی اولیه مورد نیاز برای شکست ساختار محصول در هنگام اعمال برش می‌باشد با کاهش میزان چربی در نمونه‌های سس مایونز کاهش یافت این امر به دلیل کاهش ویسکوزیته در اثر کاهش چربی بود.

می‌یابد. کاتساروس و همکاران (Katsaros *et al.*, 2020) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. چادل و همکاران (Schädle *et al.*, 2022) با بررسی رفتار وابسته به زمان سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با غلظت‌های مختلف دکستروزین ذرت گزارش نمودند که تنش تسلیم که



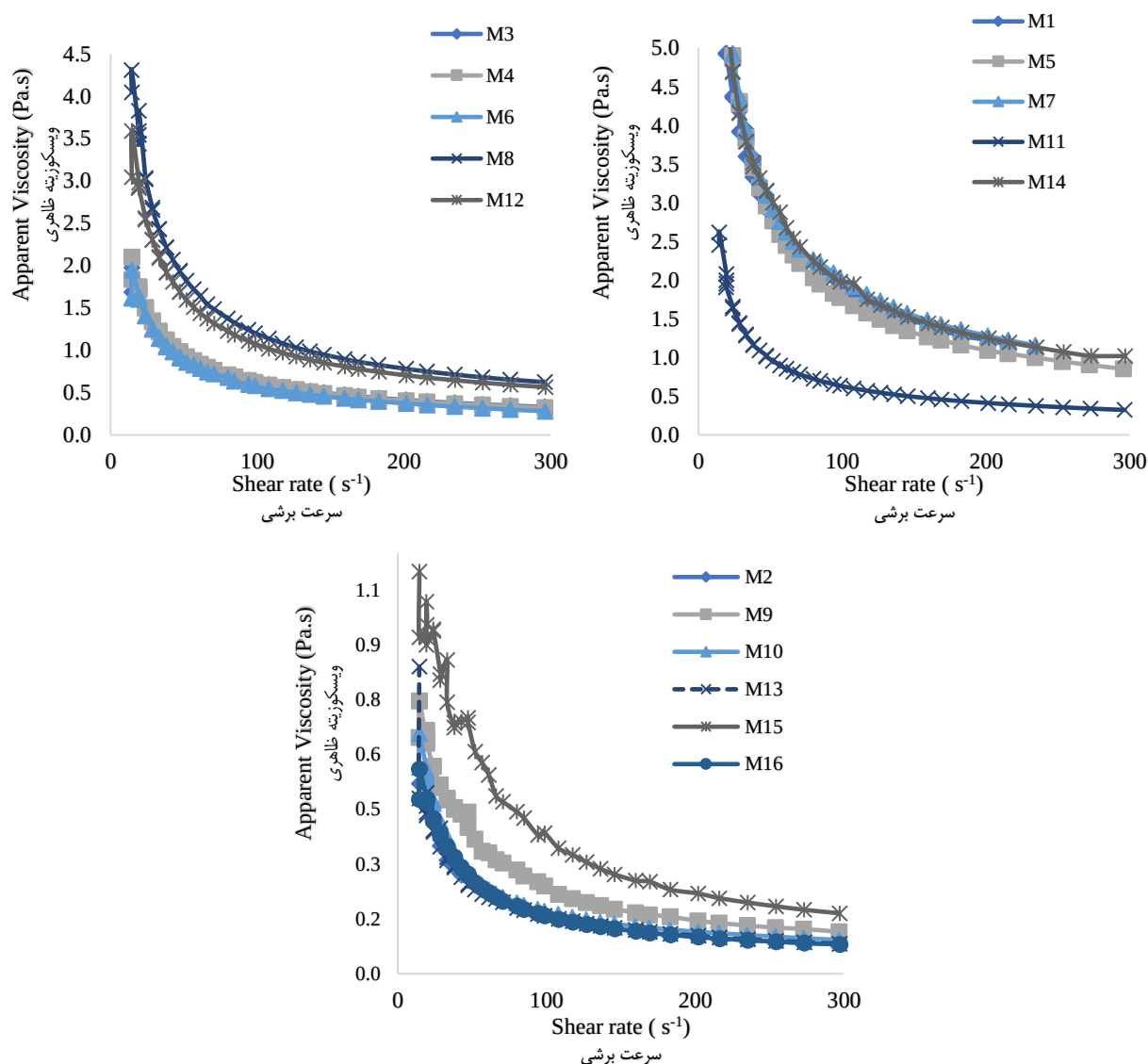
شکل ۳- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر ویسکوزیته و تنش تسلیم مدل بینگهام نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 3. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the viscosity and yield stress of Bingham's model of low-fat mayonnaise samples

حرکت براونی، ذرات امولسیون بیشتر در جهت جریان قرار گرفته و مقاومت کمتری نسبت به جریان یافتن خواهند داشت که این مسئله سبب کاهش ویسکوزیته می‌شود. ثابت ماندن ویسکوزیته در نرخ‌های برشی بالا، به دلیل باقی ماندن ذرات به همان حالت اولیه در جهت جریان می‌باشد که این موضوع باعث ثابت ماندن ویسکوزیته ظاهری می‌شود (Aalami *et al.*, 2023). با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و کاهش درصد روغن، کاهش یافته است و در هنگام اعمال تنش، ویسکوزیته سریع تر به حد تعادلی رسیده است که شکل ۵ مؤید این مطلب است. بنابراین این نتیجه حاصل می‌شود که ویسکوزیته نمونه‌ها به درصد چربی و ژل آلوئه‌ورا و سرعت برش بستگی دارد که با افزایش سرعت برش و کاهش میزان چربی و افزایش ژل، ویسکوزیته سریعتر کاهش یافته و به حد تعادلی نزدیک شده است.

ویسکوزیته ظاهری

شکل ۴، ارتباط بین ویسکوزیته ظاهری و درجه برش نمونه‌های مایونز با درصد‌های مختلف چربی و ژل آلوئه‌ورا را در نرخ برشی ۳۰۰-۱۴ بر ثانیه نشان داده است. تمام نمونه‌ها دارای رفتار رقیق‌شونده با برش بودند و با افزایش درجه برش، ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته است. در یک امولسیون غلیظ، به هم پیوستگی ذرات، منجر به شکل‌گیری شبکه سه‌بعدی از ذرات تجمع یافته می‌گردد، با ایجاد نیروی برشی بر روی امولسیون، ذرات تجمع یافته به صورت پیش‌رونده تخریب شده و مقاومت امولسیون به جریان کاهش می‌یابد، این امر موجب کاهش ویسکوزیته ظاهری امولسیون در طی زمان می‌شود (Alkabaa *et al.*, 2024). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، در سرعت‌های برشی پایین، ویسکوزیته ظاهری به سرعت کاهش یافته است. درحالی‌که در سرعت‌های بالاتر، روند کاهش ویسکوزیته آهسته می‌باشد. زیرا با افزایش سرعت برشی به میزان مورد نیاز جهت غلبه بر

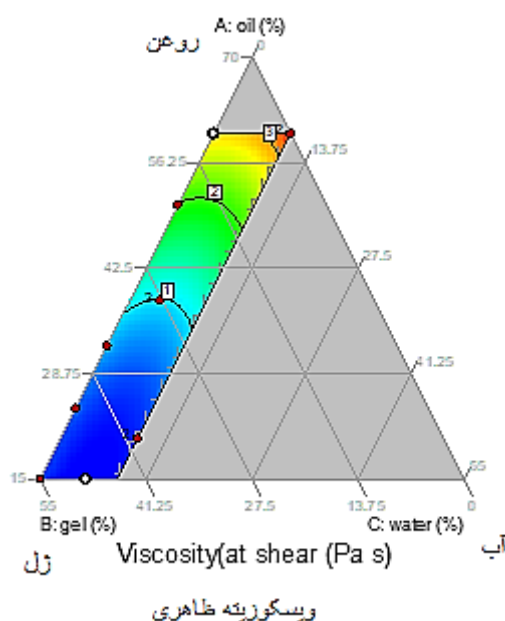


شکل ۴- اثر سرعت برشی بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های سس مایونز کم چرب

Fig. 4. Flow curves of mayonnaise representing apparent viscosity as a function of shear rate

ذرات روغن به صورت توده‌ای کنار یکدیگر قرار می‌گیرند، در نتیجه واکنش‌های بین ذره‌ای قوی‌تر شده و ویسکوزیته که به معنای مقاومت در برابر جریان است، افزایش می‌یابد (Jafarpour, 2022). اعلمی و همکاران (Aalami et al., 2023) در پژوهشی با بررسی تأثیر سطح چربی بر مقدار این ویژگی، چربی را عامل افزایش ویسکوزیته معرفی کردند. بنابراین در این پژوهش با افزایش ژل آلوتئورا و کاهش روغن، فاز آبی بیشتر شده و روغن جهت تشکیل امولسیون پایدار در سس مایونز کاهش یافته و متعاقب آن نیز گرانیروی کاهش یافته است.

سس‌های مایونز در این پژوهش رفتار غیرنیوتنی رقیق‌شونده با برش نشان دادند. برای مطالعه ارزیابی حسی و احساس دهانی از داده‌های گرانیروی در سرعت برشی ۵۰ بر ثانیه استفاده شد. معادله Y_5 در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر خطی متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب در سطح احتمال ($p < 0.001$) و معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) در سطح احتمال ($p < 0.05$) بود. باتوجه به شکل ۵، با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوتئورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) ویسکوزیته ظاهری کاهش یافته است. دلیل این موضوع نقش چربی در ایجاد ویسکوزیته فرآورده‌های غذایی می‌باشد بنابراین کاهش چربی باعث کاهش این ویژگی خواهد شد؛ زیرا هنگامی که فاز روغن افزایش می‌یابد، ذرات به یکدیگر نزدیک شده و



شکل ۵- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر ویسکوزیته ظاهری نمونه‌های مایونز کم‌چرب
Fig. 5. Contour plot of the effects interaction oil-gel on the viscosity apparent of low-fat mayonnaise samples

تحرك مولكول‌ها می‌شود. در نتیجه گرانیوی بیشتر کاهش یافته و متعاقب آن پایداری حرارتی امولسیون نسبت به پایداری فیزیکی بیشتر، کاهش می‌یابد. در همین راستا کاتساروس و همکاران (Katsaros *et al.*, 2020) و شایگان نیا و همکاران (Shaygannia *et al.*, 2021) به نتایج مشابهی دست یافتند. این پژوهشگران گزارش نمودند که دلیل کاهش میزان پایداری نمونه‌های سس مایونز برپایه لبنیات، مطابق قانون استوک کاهش ویسکوزیته نمونه‌ها می‌باشد.

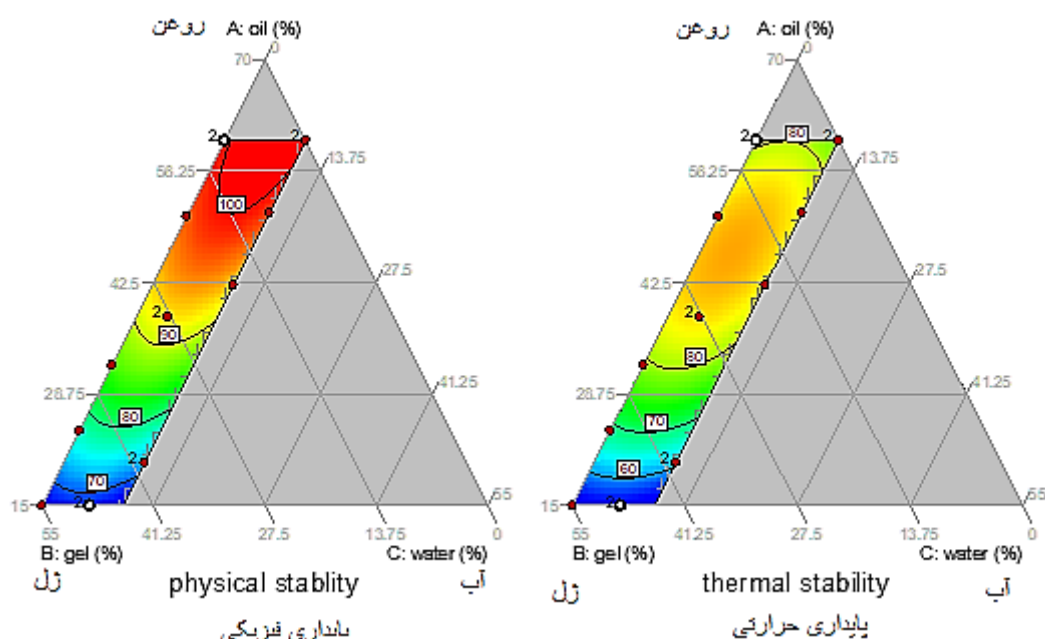
ویژگی‌های بافتی

باتوجه به مدل‌های منتخب برای پاسخ‌های سفتی، قوام، نیروی چسبندگی و چسبندگی در جدول ۳ پیوست، متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب دارای تأثیر خطی معنی‌دار در سطح احتمال ($p < 0.01$) و متغیرهای روغن-ژل (AB) دارای اثر متقابل معنی‌دار در سطح احتمال ($p < 0.05$) بودند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلئوئورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر آب ویژگی‌های بافتی سس مایونز همچون سفتی، قوام، نیروی چسبندگی و چسبندگی نمونه‌ها کاهش یافت (شکل ۷). لی و همکاران (Li *et al.*, 2020) با بررسی خصوصیات رئولوژیکی و بافتی مایونز کم‌چرب با جایگزین‌های چربی مختلف گزارش نمودند ویسکوزیته تا اندازه‌ای ولی نه به‌طور کامل می‌تواند ویژگی‌های بافتی را منعکس کند، این محققان بیان کردند کاهش قطر قطرات روغن سبب افزایش سطح تماس بین قطرات شده

پایداری فیزیکی و حرارتی

امولسیون‌های محتوی مقدار زیاد چربی پایداری مناسبی دارند. زیرا ذرات به‌طور کامل به هم پیوسته بوده و نمی‌توانند حرکت کنند در نتیجه ناپایداری در این امولسیون‌ها رخ نمی‌دهد (Katsaros *et al.*, 2020). معادلات Y_6 و Y_7 ارائه شده در جدول ۱ پیوست، نشان‌دهنده معنی‌داری تأثیر خطی متغیرهای مستقل روغن، ژل و آب در سطح احتمال ($p < 0.01$) و معنی‌داری تأثیر متقابل روغن-ژل (AB) برای پایداری فیزیکی در سطح احتمال ($p < 0.05$) و برای پایداری حرارتی در سطح احتمال ($p < 0.01$) بودند. با افزایش درصد جایگزینی ژل آلئوئورا و کاهش درصد روغن در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) پایداری فیزیکی و حرارتی کاهش یافت (شکل ۶). یکی از عوامل مؤثر در پایداری نمونه‌های مایونز بر طبق قانون استوک ویسکوزیته نمونه‌ها می‌باشد. مطابق این قانون هر چه گرانیوی فاز پیوسته بیشتر باشد، سرعت جداسازی فازها کمتر و امولسیون پایدارتر خواهد بود، در حالی که کم بودن گرانیوی، باعث افزایش حرکت ذرات و در نتیجه افزایش سینرژی می‌شود (Ozcan *et al.*, 2023). بنابراین در این پژوهش باتوجه به اینکه ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی ژل آلئوئورا روند کاهشی داشته است بر همین اساس، پایداری نمونه‌ها هم با افزایش درصد جایگزینی ژل کاهش یافت. لازم به ذکر است، که پایداری حرارتی نمونه‌های سس مایونز در قیاس با پایداری فیزیکی نمونه‌ها در این پژوهش کمتر بوده است که به دلیل شوک حرارتی ناشی از افزایش دما می‌باشد که منجر به شکستن ساختار مولکول‌ها و افزایش آزادی و

در نتیجه ویسکوزیته افزایش یافته که منجر به سفت شدن بافت امولسیون می‌شود.



شکل ۶- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر پایداری فیزیکی و حرارتی نمونه‌های مایونز کم‌چرب

Fig. 6. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the physical and thermal stability of low-fat mayonnaise samples

در حالی که نمونه حاوی ۱٪ صمغ کنجاک مشابه نمونه کنترل پرچرب بود. صمغ کنجاک ۱٪ به دلیل خواص فیزیکوشیمیایی مطلوب و بافت و طعم قابل قبول می‌تواند به عنوان جایگزین چربی برای تهیه سس مایونز کم‌چرب استفاده شود. پی و همکاران (Pei et al., 2023) نیز امکان استفاده از ژل کنجاک میکرونیزه شده به عنوان مقلد چربی در سس مایونز گزارش نمودند که با افزایش درصد جایگزینی ژل، نیروی چسبندگی و اندیس ویسکوزیته که خواص فاز مایع را نشان می‌دهند کاهش یافت.

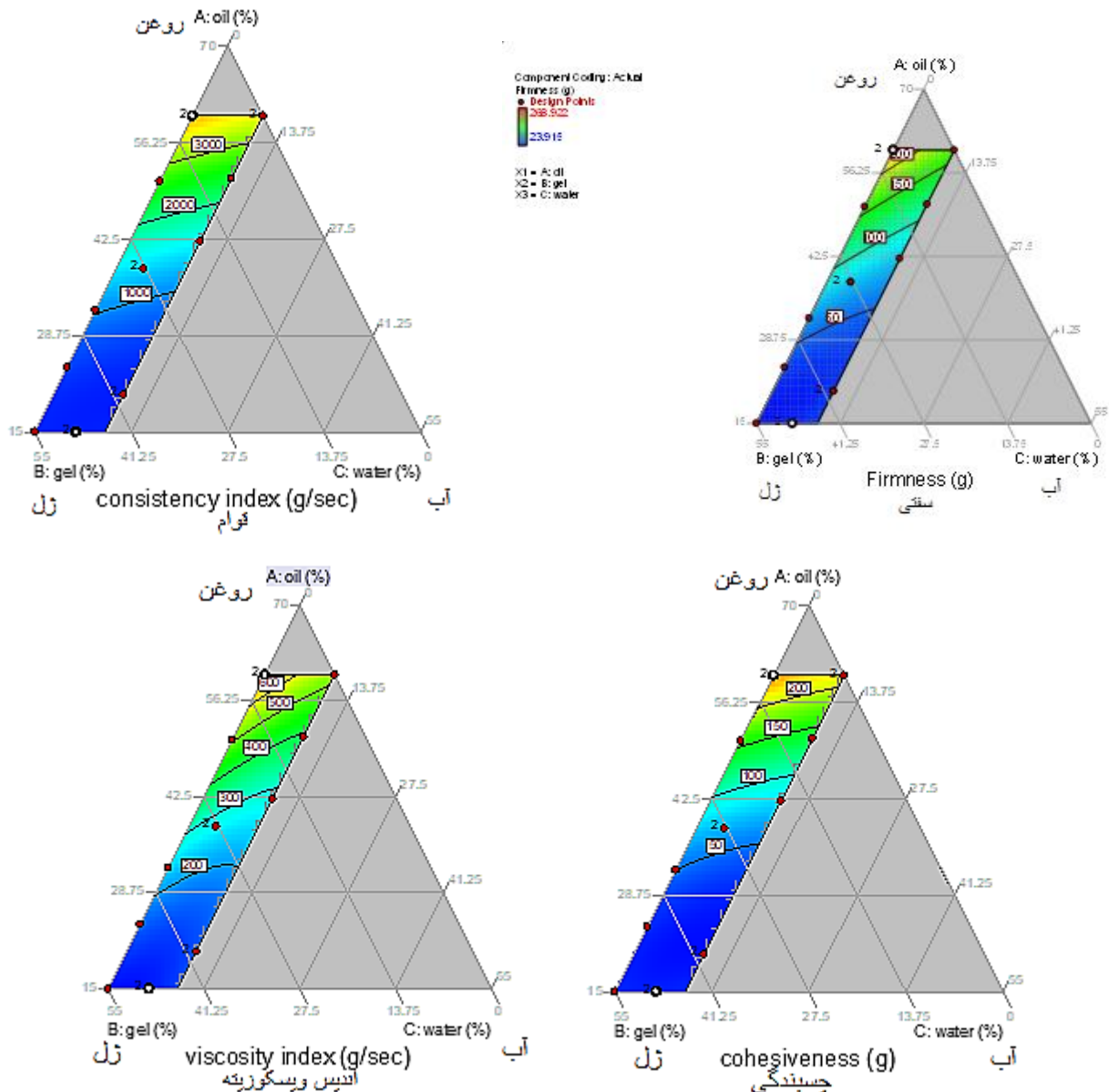
شاخص رنگی

سس مایونز یک غذای پرچرب است که به دلیل اکسیداسیون خودکار اسیدهای چرب غیراشباع، مستعد تخریب اکسیداتیو است که بر خواص رنگ تأثیر می‌گذارد (Alkabaa et al., 2024). در میان فاکتورهای رنگی، میزان روشنایی تأثیر بسزایی در میزان پذیرش مصرف‌کننده دارد (Ozcan et al., 2023). باتوجه به جدول ۳ پیوست، تأثیر متقابل معنی‌داری بین روغن-ژل آلوئه‌ورا (AB) در سطح احتمال ($p < 0.05$) بود. ابتدا با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا از ۵ تا ۲۷/۵٪ و کاهش روغن از ۶۰ تا ۳۷/۵٪ در نقطه مرکزی متغیر آب، شفافیت نمونه‌ها افزایش یافت، سپس به تدریج با افزایش درصد

باتوجه به فرضیه چادل و همکاران (Schädle et al., 2022) مبنی بر وجود رابطه میان ویسکوزیته و ویژگی‌های بافتی می‌توان کاهش ویسکوزیته نمونه‌ها با افزایش درصد جایگزینی دکسترین ذرت را عامل کاهش خصوصیات بافتی دانست. زیرا افزایش درصد جایگزینی باعث نرم شدن محصول و کاهش ویژگی‌های بافتی شده است. این نتایج با نتایج پژوهشی محمدعلیزاده سامانی و گلی (Mohammadalizade Samani & Goli, 2018) مبنی بر استفاده از شیر کنجاله فندق به عنوان جایگزین زرده تخم مرغ مطابقت داشت. دامیان و همکاران (Damian et al., 2018) نیز با بررسی صمغ‌های هیدروکلوئیدی مختلف در تولید سس مایونز کم‌چرب بیان کردند که سفتی، نیروی چسبندگی و چسبندگی نمونه‌های دارای صمغ نسبت به سس مایونز-های معمولی بیشتر است، آنها علت این امر را اینگونه تفسیر کردند؛ صمغ‌ها با ایجاد ساختاری ژل مانند قطرات روغن را به دام انداخته و حرکت آنها را کاهش داده و ویسکوزیته را افزایش می‌دهند در نتیجه باعث بهبود ویژگی‌های بافتی امولسیون می‌شوند. جعفرپور (Jafarpour, 2020) تأثیر استفاده از صمغ کنجاک به عنوان جایگزین چربی بر خواص فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی سس مایونز کم‌چرب بررسی کردند. نتایج گویای این بود که سفتی بافت و ویسکوزیته ظاهری با افزایش صمغ به طور قابل توجهی افزایش یافت،

مایونزهای کم چرب تولید شده با استفاده از روغن سویا گزارش کردند که نمونه‌هایی با محتوای چربی بالاتر و اندازه قطرات چربی کوچکتر دارای L^* بالایی هستند که ناشی از شکست خوب نور می‌باشد، زیرا روغن سویا محتوای آب بیشتر و لسیترین کمتری نسبت به زرده تخم مرغ دارد.

جایگزینی ژل آلونه‌ورا از ۲۷/۵ تا ۵۰٪ و کاهش روغن از ۳۷/۵ تا ۱۵٪ در نقطه مرکزی متغیر آب از میزان شفافیت نمونه‌ها کاسته شد (شکل ۸). همان‌طور که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود، بیشترین میزان شفافیت در قسمت مرکزی فضای آزمایشی شکل می‌باشد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2022) با بررسی خصوصیات پایداری و رئولوژیکی



شکل ۷- نمودار کانتور اثر متقابل روغن-ژل بر سفتی، قوام، چسبندگی و اندیس ویسکوزیته نمونه‌های مایونز کم چرب

Fig. 7. Contour plot of the effects interaction oil-gel on the firmness, consistency, cohesiveness and viscosity index of low-fat mayonnaise samples

رنگدانه‌های سبز برگ آلوئه‌ورا در ژل استخراج شده باشد که با افزایش درصد جایگزینی ژل باعث افزایش رنگ سبز در نمونه‌های مایونز شده است (Mirghafoori, 2016). سیدمحمدی فرد و همکاران (Seid Mohammadi fard et al., 2023) نیز نشان دادند که با جایگزینی موسیلاژ دانه چیا به‌عنوان جایگزین چربی، گرایش به سبزی در نمونه‌ها مشاهده شد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش حاضر که با جایگزینی ژل آلوئه‌ورا گرایش به سبزی در نمونه‌ها مشاهده شد مطابقت داشت. دامیان و همکاران (Damian et al., 2018) در پژوهشی پایداری و خواص رئولوژیکی برخی از سس مایونز کم چرب با صمغ زانتان و گوار را بررسی کردند. سس مایونز کم‌چرب در مقایسه با سس مایونز پرچرب، L^* بالاتر، a^* و b^* کمتری را نشان داد. پارک و همکاران (Park et al., 2020) نشان دادند که می‌توان نشاسته اصلاح شده تاپوکای ۳۰٪ را در سس مایونز به‌عنوان جایگزین چربی استفاده کرد. ریس و همکاران (Reis et al., 2023) ویژگی‌های سس مایونز کم‌چرب تهیه شده با استفاده از بتاگلوکان را بررسی کردند و طبق نتایج با کاهش میزان روغن، کاهش روشنی را گزارش نمودند. اوزکان و همکاران (Ozcan et al., 2023) نشان دادند که افزایش قطر اندازه ذرات و کاهش افتراق نور در نمونه‌هایی با درصد جایگزینی بالاتر می‌تواند دلیل کاهش روشنایی مایونز باشد. لذا با توجه به نتایج پژوهشی این محققان می‌توان عنوان کرد که جایگزینی ژل آلوئه‌ورا باعث افزایش اندازه قطر ذرات امولسیون شده و متعاقباً سبب کاهش شفافیت نمونه‌ها گردیده است.

بهینه‌یابی فرمولاسیون سس مایونز براساس متغیرهای مستقل فرمول (روغن، ژل و آب) و پاسخ‌های بهینه‌یابی شامل ویژگی‌های بافتی و پایداری توسط نرم افزار Design Expert انجام شد. براساس نتایج بدست آمده، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل به‌ترتیب روغن (۴۰٪)، ژل آلوئه‌ورا (۳۰٪) و آب (۰٪) جهت تولید مایونز کم‌چرب بود (شکل ۹). در ادامه، مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه و مقادیر به‌دست آمده از آزمایش واقعی برای ناحیه بهینه در جدول ۳ گزارش شده است که بیانگر توان بالای مدل در برازش داده‌هاست.

ارزیابی حسی

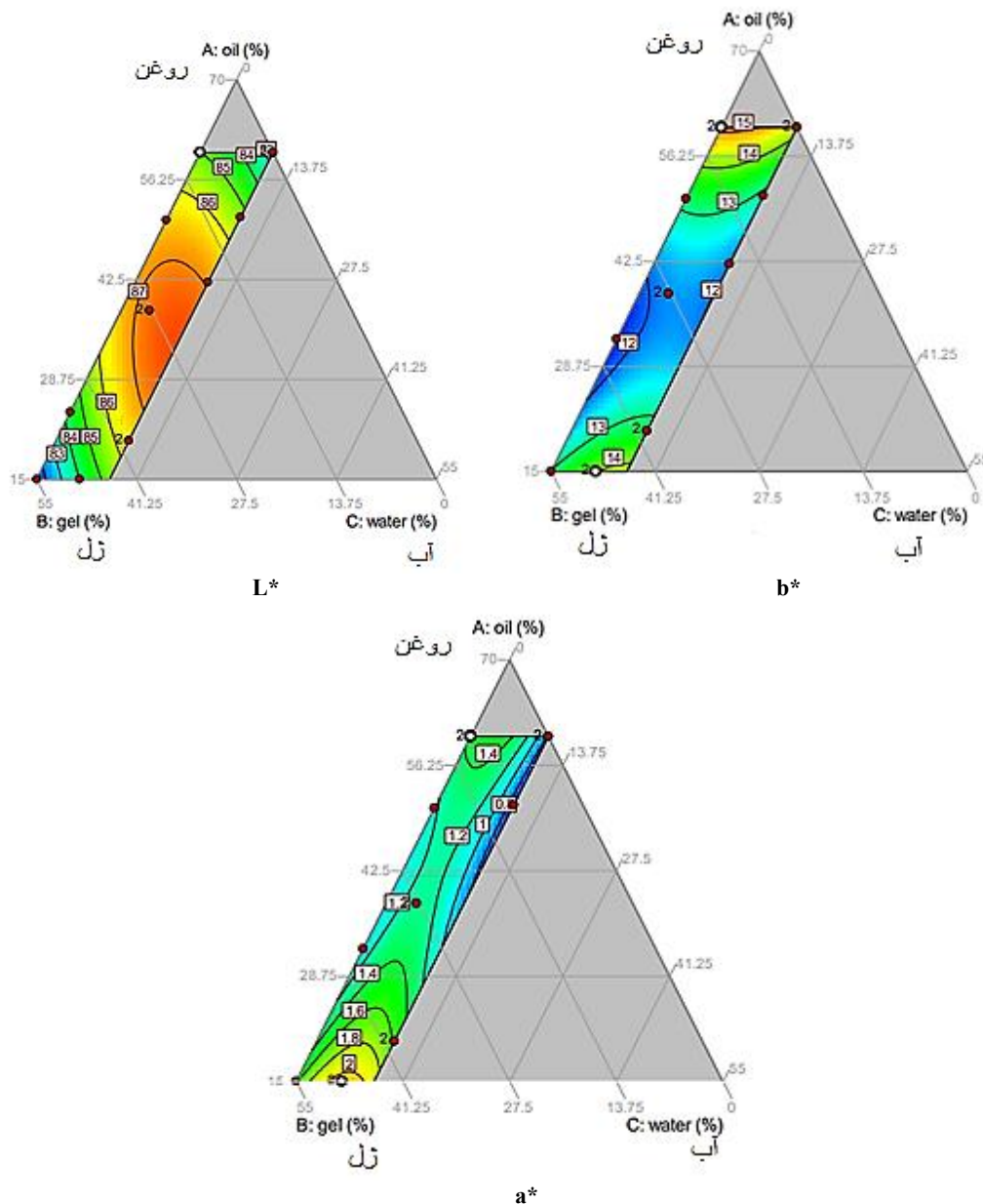
ارزیابی حسی شامل شاخص‌های رنگ، بو، طعم، بافت، ظاهر و پذیرش کلی بین نمونه شاهد فاقد ژل آلوئه‌ورا (۶۰٪ روغن) و نمونه بهینه ۳۰٪ ژل آلوئه‌ورا (۴۰٪ روغن) بررسی شد. رنگ یک ویژگی مهم محصولات غذایی می‌باشد که با توجه به میزان اثرگذاری هر جزء بر رنگ محصول می‌تواند بر درک مصرف‌کننده از اجزای تشکیل‌دهنده غذا مؤثر باشد. نتایج آنالیز حسی نشان داد بین رنگ نمونه شاهد و بهینه

بنابراین با توجه به این پژوهش دلیل افزایش شفافیت در درصد‌های پایین جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و بالا بودن درصد روغن را می‌توان به بالا بودن میزان چربی اشاره کرد. از طرفی کاهش شفافیت با افزایش درصد جایگزینی ژل را می‌توان به کم بودن شفافیت ژل آلوئه‌ورا نسبت داد. فاکتور b^* ، بیانگر میزان زردی نمونه هاست که به لحاظ ظاهری در پذیرش سس مایونز بسیار مؤثر است. مؤلفه رنگی b^* نشان‌دهنده میزان زردی و b^* - نشان‌دهنده میزان آبی بودن در مواد غذایی است. نتایج آنالیز واریانس مدل شاخص رنگی b^* نشان‌دهنده معنی‌داری اثر متقابل روغن-ژل آلوئه‌ورا (AB) در سطح اطمینان ۹۵٪ بود. به‌طوری‌که با افزایش ژل آلوئه‌ورا از ۵ تا ۵/۲۷٪ و کاهش روغن از ۶۰ تا ۳۷/۵٪ در نقطه مرکزی متغیر سوم (آب) اندیس b^* کاهش یافت. دلیل این امر کاهش روغن بود. موسی‌خانی گنجه (Mousakhani-Ganjeh, 2021) در پژوهشی با بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی سس مایونز کم‌کالری با استفاده از نشاسته ذرت پیش ژلاتینه، دلیل کاهش اندیس b^* را افزودن نشاسته در فرمولاسیون و کاهش میزان روغن آن نسبت به شاهد بیان کردند. همچنین سیدمحمدی فرد و همکاران (Seid Mohammadi fard et al., 2023) با بررسی موسیلاژ دانه چیا به‌عنوان جایگزین چربی در فرمولاسیون سس مایونز کم‌چرب به این نتیجه رسیدند که با کاهش روغن و افزایش درصد جایگزینی موسیلاژ شاخص رنگی b^* کاهش یافت، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. اما اندیس b^* با افزایش درصد جایگزینی ژل از ۵/۲۷٪ تا ۵۰٪ و کاهش روغن از ۵/۲۷٪ تا ۱۵٪ افزایش یافت دلیل این امر می‌تواند به علت مایع زردرنگ و تلخ مزه در بافت پارانیشیمی برگ آلوئه‌ورا باشد که به‌دلیل حضور احتمالی در ژل استخراجی با افزایش درصد ژل در فرمولاسیون سبب افزایش زردی نمونه‌ها شد. نتایج این پژوهش با نتایج میرغفوری (Mirghafoori, 2016) مطابقت داشت. این محققین با بررسی خواص سس مایونز کم‌چرب حاوی ژل آلوئه‌ورا به‌عنوان جایگزین چربی و شیر سویا به‌عنوان جایگزین تخم مرغ این طور بیان نمودند که با افزایش درصد جایگزینی ژل آلوئه‌ورا و شیر سویا شاخص روشنایی کاهش و شاخص زردی افزایش یافت.

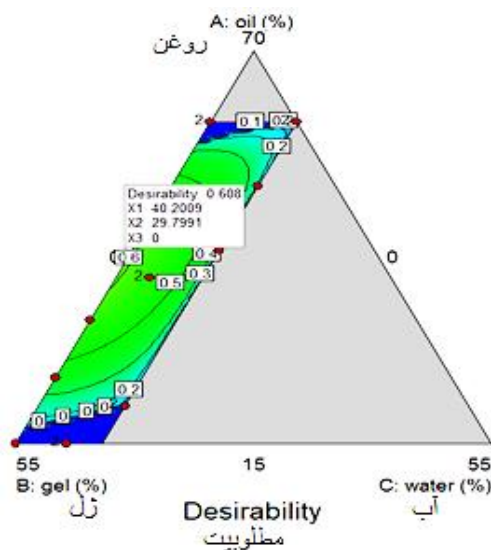
مؤلفه رنگی a^* + نشان‌دهنده میزان قرمزی و a^* - نشان‌دهنده میزان سبز بودن در مواد غذایی است. مقدار a^* در این پژوهش در تمام نمونه‌ها منفی بود و مقدار منفی بیانگر رنگ سبز است. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که عبارت‌های معنی‌دار برای a^* اثر خطی ژل، روغن، آب و اثر متقابل روغن-ژل آلوئه‌ورا (AB) در سطح اطمینان ۹۵٪ بود. با افزایش درصد جایگزینی ژل و کاهش روغن منفی بودن a^* یا گرایش به سبزی افزایش یافت. دلیل این امر می‌تواند حضور

در این محصول می‌باشد. با توجه به جدول ۴ بین بو و طعم نمونه شاهد و بهینه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. بافت ویژگی حسی است که فقط توسط انسان و بعضی ابزارهای اندازه‌گیری که در ارتباط با پاسخ‌های حسی هستند، دریافت و توصیف می‌شوند.

سس مایونز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). درواقع افزودن ژل آلوتک و به‌عنوان جایگزین بخشی از چربی تأثیر چندانی بر رنگ نمونه شاهد و بهینه نداشت. درک بو ناشی از قرار گرفتن مولکول‌های فرار غذایی بر روی سلول‌های گیرنده بو در بینی می‌باشد. بوی غالب در فرمولاسیون سس مایونز مربوط به سرکه به کار گرفته شده



شکل ۸- نمودار کانتور مثلثی اثر متقابل روغن-ژل بر شاخص‌های رنگی نمونه‌های مایونز کم‌چرب
Fig. 8. Contour plot of the effects of interaction oil-gel on the low-fat mayonnaise samples



شکل ۹- نمودار کانتور مثلی ناحیه بهینه

Fig. 9. Contour plot of the of the optimal zone

جدول ۳- مقایسه مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه و مقادیر به دست آمده از آزمایش واقعی برای ناحیه بهینه

Table 3- Comparison of predicted and experimental values at the optimum point

فاکتورهای بهینه‌سازی	مقادیر پیشگویی شده توسط مدل بهینه	مقادیر حاصل از آزمایش
Optimization factors	Values predicted by the optimal model	Values obtained from the experiment
پایداری فیزیکی	91.855	91.48
Physical stability		
پایداری حرارتی	84.683	80.045
Thermal stability		
سفتی	98.143	52.518
Hardness		
قوام	2085.825	1022.716
Consistency		
چسبندگی	85.268	48.591
Tackiness		
ویسکوزیته	340.890	207.445
Viscosity		

(انعکاس، عبور نور، براقی و...) و ویژگی‌های دیگر (جایجایی، جریان و...) می‌باشد. نتایج آزمون حسی نشان داد که بین نمونه شاهد و بهینه از لحاظ ظاهر اختلاف معنی‌داری وجود داشت. زیرا شفافیت ژل آلونه‌ورا نسبت به روغن کمتر است. همچنین ژل آلونه‌ورا به علت داشتن حباب‌های هوا باعث کاهش یکنواختی نمونه بهینه نسبت به نمونه شاهد شده است. پذیرش کلی محصول نیز نشان‌دهنده اثر مجموع صفات بافتی و غیر بافتی آن بر مصرف‌کننده می‌باشد. بنابراین بین نمونه شاهد و بهینه با وجود اختلاف معنی‌دار در ویژگی‌های بافت و ظاهر، از لحاظ پذیرش کلی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.

برخلاف رنگ و طعم، بافت ماده غذایی برای مصرف‌کنندگان شاخصی از ایمنی ماده غذایی نمی‌باشد، اما شاخصی از کیفیت ماده غذایی است. ذرات چربی عامل اصلی ایجاد بافت نسبتاً غلیظ در سس مایونز می‌باشند، لذا کاهش میزان روغن باعث از بین رفتن بافت مطلوب فرآورده می‌شود. نتایج آزمون حسی نشان داد که با جایگزینی ژل آلونه‌ورا و کاهش روغن از میزان سفتی بافت کاسته شده است و در نتیجه اختلاف معنی‌داری بین نمونه شاهد و بهینه از لحاظ سفتی بافت وجود داشت (جدول ۴). ظاهر یک محصول شامل رنگ و دیگر ویژگی‌های ظاهری مانند شکل ظاهری (شکل، اندازه و بافت)، ویژگی‌های نوری

جدول ۴- نتایج ارزیابی پارامترهای حسی سس مایونز شاهد و بهینه

Table 4- Evaluation results of control and optimal mayonnaise sensory parameters

تیمار Treatment	رنگ Color	بو Smell	طعم Taste	بافت Texture	ظاهر Appearance	پذیرش کلی Overall Acceptance
شاهد Control	4.08±0.66 ^a	3.25±1.05 ^a	3.5±1.08 ^a	4.58±0.51 ^a	4.25±0.75 ^a	3.83±0.93 ^a
بهینه Optimum	3.83±0.71 ^a	3.66±1.07 ^a	3.33±1.07 ^a	2.91±0.9 ^b	3.16±0.83 ^b	3.58±0.99 ^a

*میانگین‌ها در هر ستون که دارای حروف مشابه هستند، فاقد تفاوت آماری معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشند.

نتیجه‌گیری

این مطالعه با هدف بهینه‌سازی جایگزینی چربی با ژل آلوتهورا و تأثیر آن بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی سس مایونز کم‌چرب انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد، که جایگزینی ژل آلوتهورا بر محتوای pH، اسیدیته، پایداری، شفافیت و بافت نمونه‌ها اثرگذار بود و علاوه بر این، منجر به رفتار رقیق‌شونده با برش و کاهش ویسکوزیته ظاهری نمونه‌ها گردید. بنابراین باتوجه به داده‌های حاصل از آزمون-های مختلف فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و بافتی و با در نظر گرفتن اینکه بیشترین میزان ژل آلوتهورا را آب تشکیل می‌دهد برای اینکه پلی‌ساکاریدهای موجود در ژل بتوانند خاصیت جذب آب خود را بهتر نشان بدهند از ترکیب با سایر هیدروکلوئیدهای تجاری و صمغ‌ها استفاده گردد، تا با جذب آب اضافی امولسیون، از طریق افزایش ویسکوزیته، نتیجه بهتری حاصل شود. در نهایت بهینه‌سازی فرمولاسیون براساس متغیرهای مستقل و پاسخ‌های بهینه‌یابی نشان داد که ژل آلوتهورا به‌تنهایی در حد ۳۰٪ قابلیت استفاده در سس مایونز را دارد.

سپاسگزاری

از کارکنان و مسئولین پژوهشی و آموزشی دانشگاه فردوسی مشهد که در تأمین امکانات لازم و مراحل اجرایی این پژوهش همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌شود (کد طرح: ۲۶۶۳۵۳۲).

مشارکت نویسندگان

مریم اکبری: گردآوری داده‌ها، تحلیل داده‌ها، تحقیق، نگارش پیش‌نویس اصلی. **محمد جواد وریدی:** مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، روش‌شناسی، مدیریت پروژه. **مهدی وریدی:** مفهوم‌سازی، بررسی آنالیزها، روش‌شناسی، نظارت. **هانیه یاربی:** نرم‌افزار، نظارت، اعتبارسنجی، بررسی و ویرایش مقاله.

منابع تأمین مالی

این پژوهش با حمایت مالی از دانشگاه فردوسی مشهد (گرنه شماره طرح ۲۶۶۳۵۳۲) انجام شد.

References

1. Aalami, M., Rahbari, M., Ahmed, S.A., Mahoonak, A.S., Kashaninejad, M., & Hassanzadeh, H. (2023). Formulation of functional mayonnaise with defatted wheat germ flour as egg yolk substitute: Rheological, textural and stability analyses. *Food Science and Preservation*, 30(3), 405-418. <https://doi.org/10.11002/kjfp.2023.30.3.405>
2. Adhav, A.S., Patil, O.A., Kadam, S.V., & Bhutkar, M.A. (2020). Review on Aloe vera is used in medicinal plant. *Asian Journal of Research in Pharmaceutical Science*, 10(1), 26-30. <https://doi.org/10.4236/pp.2013.48086>
3. Alkabaa, A.S., Akcicek, A., Taylan, O., Balubaid, M., Alamoudi, M., Gulzar, W.A., & Karasu, S. (2024). Production of novel bigels from cold pressed Chia seed oil by-product: Application in low-fat mayonnaise. *Foods*, 13(4), 574. <https://doi.org/10.3390/foods13040574>
4. Blok, A.E., Bolhuis, D.P., Arnaudov, L.N., Velikov, K.P., & Stieger, M. (2023). Influence of thickeners (microfibrillated cellulose, starch, xanthan gum) on rheological, tribological and sensory properties of low-fat mayonnaises. *Food Hydrocolloids*, 136, 108242. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108242>
5. Damian, C., Ropciuc, S., Leahu, A., & Oroian, M.A. (2018). Stability and rheological properties of some fat-reduced mayonnaise with different fat mimics. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 18(6.2), 573-580. <https://doi.org/10.5593/sgem2018/6.2/S25.076>
6. Jafarpour, D. (2022). Study the effect of Konjac gum (*Amorphophallus konjac*) as a fat substitute on the physico-chemical, rheological and sensory properties of low-fat mayonnaise. *Journal of Innovation in Food Science & Technology*, 14(1).
7. Kaneda, I., & Shibata, S. (2020). Rheological properties of low oil mayonnaise by replacing oil droplets with agar micro-gels. *Nihon Reorogi Gakkaishi*, 48(2), 113-120. <https://doi.org/10.1678/rheology.48.113>

8. Katsaros, G., Tsoukala, M., Giannoglou, M., & Taoukis, P. (2020). Effect of storage on the rheological and viscoelastic properties of mayonnaise emulsions of different oil droplet size. *Heliyon*, 6(12). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05788>
9. Li, A., Gong, T., Hou, Y., Yang, X., & Guo, Y. (2020). Alginate-stabilized thixotropic emulsion gels and their applications in fabrication of low-fat mayonnaise alternatives. *International Journal of Biological Macromolecules*, 146, 821-831. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.050>
10. Majidova, N., Bozorov, D., Rakhmonov, K., & Akramova, P. (2024). Research of the stability of low-calorie mayonnaises and development of their formulation. In *E3S Web of Conferences*, 548, 02012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202454802012>
11. Mirghafoori, S., & Rahimi, S. (2016). Evaluation of the physicochemical, emulsion and rheological properties of mayonnaise containing soy milk and Aloe vera gel. *Innovative Food Technologies*, 3(3), 73-83. <https://doi.org/10.22104/jift.2016.296>
12. Mousakhani-Ganjeh, H., & Goli, M. (2021). Textural and sensory properties of reduced-fat mayonnaise prepared with pre-gelatinized cornstarch and Farsi gum. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 9(4), 363-374. <https://doi.org/10.22101/JRIFST.2020.212592.1136>
13. Mohammad Alizade Samani, E., & Goli, M. (2019). Optimization of mayonnaise formula using hazelnut meal milk as egg yolk substitute at various levels of Xanthan-Guar Gum and response surface methodology. *Iranian Journal of Nutrition Sciences and Food Technology*, 14(3), 75-86.
14. Odep, L.A., Mahungu, S.M., & Omwamba, M.N. (2024). Physico-chemical, and sensory properties of mayonnaise substitute prepared from Chia mucilage (*Salvia hispanica* L.) and gum Arabic from *Acacia senegal* var. *kerensis*. *Food and Nutrition Sciences*, 15(9), 880-898. <https://doi.org/10.4236/fns.2024.159056>
15. Ozcan, I., Ozyigit, E., Erkoc, S., Tavman, S., & Kumcuoglu, S. (2023). Investigating the physical and quality characteristics and rheology of mayonnaise containing aquafaba as an egg substitute. *Journal of Food Engineering*, 344, 111388. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111388>
16. Park, J.J., Olawuyi, I.F., & Lee, W.Y. (2020). Characteristics of low-fat mayonnaise using different modified arrowroot starches as fat replacer. *International Journal of Biological Macromolecules*, 153, 215-223. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.331>
17. Pei, Y., Zhang, Y., Ding, H., Li, B., & Yang, J. (2023). Stability and rheological behavior of mayonnaise-like emulsion co-emulsified by Konjac glucomannan and whey protein. *Foods*, 12(15), 2907. <https://doi.org/10.3390/foods12152907>
18. Raikos, V., Hayes, H., & Ni, H. (2020). Aquafaba from commercially canned chickpeas as potential egg replacer for the development of vegan mayonnaise: Recipe optimisation and storage stability. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 1935-1942. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14427>
19. Reis, S.F., Fernandes, P.A., Martins, V.J., Gonçalves, S., Ferreira, L.P., Gaspar, V.M., & Coelho, E. (2023). Brewer's spent yeast cell wall polysaccharides as vegan and clean label additives for mayonnaise formulation. *Molecules*, 28(8), 3540. <https://doi.org/10.3390/molecules28083540>
20. Schädle, C.N., Bader-Mittermaier, S., & Sanahuja, S. (2022). Characterization of reduced-fat mayonnaise and comparison of sensory perception, rheological, tribological, and textural analyses. *Foods*, 11(6), 806. <https://doi.org/10.3390/foods11060806>
21. Seid Mohammadifard, S.Z., Zarringhalami, S., Zandi, M., & Pakpour, M. (2023). Influence of the mucilage and chia seed (*Salvia hispanica* L.) oil addition on the physicochemical and sensory properties of yoghurt during storage time. *Iranian Journal of Food Sciences and Industries*, 19(132). <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.132.237>
22. Shaygannia, S., Eshaghi, M.R., Fazel, M., & Hashemiravan, M. (2021). The effect of microencapsulation of phenolic compounds from lemon waste by Persian and basil seed gums on the chemical and microbiological properties of mayonnaise. *Preventive Nutrition and Food Science*, 26(1), 82. <https://doi.org/10.3746/pnf.2021.26.1.82>
23. Sonawane, S.K., Gokhale, J.S., Mulla, M.Z., Kandur, V.R., & Patil, S. (2021). A comprehensive overview of functional and rheological properties of aloe vera and its application in foods. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 1217-1226. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04661-6>
24. Taghavi, E., Andriani, C., Nordin, N., Awang Seruji, A.Z.R., Wan Rasdi, N., & Abdul Hadi, N. (2024). Rheological and stability of mayonnaise-based Pickering emulsions stabilised by modified rice starch granules as a plant-based emulsifier. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17292>
25. Wang, W., Hu, C., Sun, H., Zhao, J., Xu, C., Ma, Y., & Hou, J. (2022). Physicochemical properties, stability and texture of soybean-oil-body-substituted low-fat mayonnaise: effects of thickeners and storage temperatures. *Foods*, 11(15), 2201. <https://doi.org/10.3390/foods11152201>
26. Yang, X., Gong, T., Lu, Y.H., Li, A., Sun, L., & Guo, Y. (2020). Compatibility of sodium alginate and konjac glucomannan and their applications in fabricating low-fat mayonnaise-like emulsion gels. *Carbohydrate Polymers*, 229, 115468. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115468>

The Use of Edible Coatings Pre and Post-harvesting on the Quality Characteristics of Golden Delicious Apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)

F. Eini Tari¹, A. EhteshamNia^{ID 2*}, H. Mumivand², M. Raji²

1 and 2- Ph.D. Student and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)

Received: 20.08.2024
Revised: 11.09.2024
Accepted: 08.10.2024
Available Online: 16.02.2025

How to cite this article:

Eini Tari, F., EhteshamNia, A., Mumivand, H., & Raji, M. (2025). The use of edible coatings pre and post- harvesting on the quality characteristics of Golden Delicious apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious). *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 79-101. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89420.1358>

Introduction

The rapid increase in population has raised concerns about food security in the world. On the other hand, to produce more food, in line with population growth, it is necessary to consider sustainable development goals so that the increase in production does not lead to excessive use of resources and environmental damage. Therefore, one of the effective ways to develop food security in line with sustainable development is to reduce the waste of agricultural products, especially garden products.

Materials and Methods

This study aims to investigate the effect of chitosan and essential oil foliar spraying pre- and calcium chloride immersion post- harvesting on Golden delicious apple fruits grafted on MM 111 (Malling Merton 111) in an 18-year-old apple orchard. A factorial experiment in the form of a completely randomized design and in four replications (each replication containing at least 30 fruits) was carried out in 2 hectares orchard located in the Abistan region of Khorram Abad city in 2021. The first factor of pre-harvest and post-harvest foliar treatments including control treatments (spraying solution with distilled water), foliar spraying of chitosan (100 mg/l) and essential oil (2500 mg/l), and immersion of harvested fruits with Calcium chloride solution (2 %) in the post-harvest stage, and the second factor is the storage period (in days 0, 60, 90 and 120 days after storage (which according to the high storage life of the apple fruit and performing the pre-test and until the end of life) Fruit storage was achieved.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the effect of treatments and storage time on all desired characteristics was significant at the 1% level. Treated fruits had higher total phenolic and flavonoid content, antioxidant activity, vitamin C, and titratable acids and lower taste index, acidity, soluble solids, malondialdehyde, PPO activity and weight loss than the control. The highest amount of total phenol and flavonoid content, antioxidant activity, vitamin C, and titratable acids in all four measurement times belonged to chitosan + essential oil + calcium chloride treatment and the lowest amount was related to the control treatment. Also, in the control treatment, the amount of malondialdehyde, soluble solids, taste index and acidity increased during the storage period. In the fruits treated with chitosan + essential oil, the lowest acidity and soluble solids were observed, and in the chitosan treatment alone, higher titratable acids and the lowest taste index were observed. In general, based on the obtained results, it was observed that the application of chitosan and essential oil before harvesting and



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89420.1358>

calcium chloride after harvesting improved the quality characteristics of Golden Delicious apple fruit. Weight loss is mainly caused not only by sweating but also by breathing. By forming a membrane on the surface of fruits, chitosan biopolymer acts as a mechanical and physical barrier to reduce gas exchange, and as a result, fruit maturation and aging are affected. Composite coatings reduce weight loss by maintaining hydration and reducing gas exchange and water vapor emission. Edible coatings can act on the phenylpropanoid pathway and increase the level of phenolic compounds in plants, and the phenylpropanoid pathway includes the synthesis of various plant secondary metabolites such as lignin, flavonoids, phenolic volatiles, and tannins. The semi-permeable barrier of the chitosan coating limited the rate of respiration, reduced water loss, and delayed ripening and aging, which resulted in higher total phenolic content during storage. Composite coatings delay the oxidation of phenolic compounds, eliminate metals and free radicals and create a quasi-bonded structure that prevents the passage of infiltrating materials such as O₂, CO₂, and water vapor.

Conclusion

In this research, applying a combination of chitosan + essential oil + calcium chloride as a coating on apple led to increase the vitamin C, antioxidant activity, total phenol and flavonoid content, and reduction the weight loss. In addition, the application of this treatment led to the improvement of other characteristics such as the reduction of malondialdehyde, acidity, soluble solids, taste index, and increase of titratable acids. Therefore, it can be stated that in addition to the fact that these compounds alone improved the quality of apple fruit, their combined use is also recommended as a biodegradable and natural coating to increase the storage life of Golden Delicious apple fruit.

Keywords: Edible coatings, Malondialdehyde, Titratable acids, Total phenol content

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۷۹-۱۰۱

کاربرد قبل و بعد از برداشت پوشش‌های خوراکی بر ویژگی‌های کیفی میوه سیب رقم گلدن دلشز (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)

فاطمه عینی تاری^۱ - عبدالله احتشام‌نیا^{۲*} - حسن موموند^۲ - محمدرضا راجی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

چکیده

استفاده از پوشش‌های خوراکی، می‌تواند روشی مؤثر برای افزایش عمر انبارمانی میوه‌ها از جمله سیب باشند. این ترکیبات، پوشش‌های نازکی از مواد قابل خوردن هستند که به‌عنوان محافظ به‌منظور افزایش ماندگاری آن‌ها به کار گرفته می‌شوند و با ایجاد ساختار محافظت‌کننده در برابر آسیب‌های مکانیکی و تغییر اتمسفر درونی بافت، می‌توانند کیفیت میوه‌ها را افزایش دهند. به همین منظور، در این بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و اسانس مرزه و پس از برداشت کلرید کلسیم، بر برخی ویژگی‌های میوه سیب در چهار زمان مختلف (صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از برداشت) در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار و زمان انبارمانی بر تمام ویژگی‌های مورد نظر در سطح یک درصد معنی‌دار بود. میوه‌های تیمار شده دارای محتوای فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و اسیدهای قابل تیتراسیون بالاتر و شاخص طعم، اسیدیته، مواد جامد محلول، مالون دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و کاهش وزن کم‌تر از شاهد بودند. بالاترین میزان محتوای فنول و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ویتامین ث و اسیدهای قابل تیتراسیون در هر چهار زمان اندازه‌گیری متعلق به تیمارهای کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم و کم‌ترین میزان مربوط به تیمار شاهد بود. همچنین در تیمار شاهد، در مدت زمان انبارمانی میزان مالون دی‌آلدئید، مواد جامد محلول، شاخص طعم و اسیدیته افزایش یافت. در میوه‌های تیمار شده با کیتوسان + اسانس، کم‌ترین اسیدیته و مواد جامد محلول مشاهده شد و در تیمار کیتوسان به تنهایی، بیش‌ترین اسیدهای قابل تیتراسیون و کم‌ترین شاخص طعم وجود داشت. به‌طور کلی، براساس نتایج به دست آمده مشاهده شد که کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و اسانس و پس از برداشت کلرید کلسیم، موجب بهبود صفات کیفی میوه سیب رقم گلدن دلشز شد.

واژه‌های کلیدی: اسیدهای قابل تیتراسیون، پوشش‌های خوراکی، مالون دی‌آلدئید، محتوای فنول کل

مقدمه

سهم تولید محصولات باغبانی کشور مربوط به سیب (۱۸ درصد) می‌باشد، سطح زیرکشت این محصول در ایران ۲۲۹۱۴۵ هکتار (رتبه سوم جهان) و با تولید سالانه حدود ۴ میلیون تن در رتبه پنجم بعد از کشورهای چین، آمریکا، ایتالیا و لهستان قرار دارد (Agricultural statistics, 2021). سیب منبع قابل توجهی از مواد معدنی، ویتامین‌ها، پلی‌فنول‌ها، آنتوسیانین‌ها و اسیدهای آلی می‌باشد. با این اوصاف، این میوه در طول مدت انبارمانی، مستعد آسیب‌های مکانیکی برداشت و جابجایی است (Ackah et al., 2022). افزایش روزافزون جمعیت، موجب بالا رفتن نگرانی‌هایی برای ایجاد امنیت غذایی در جهان شده

سیب (*Malus pumila*) از خانواده گلسرخیان (Rosaceae) و زیر خانواده سیبیان (Pomoideae) است. در محدوده عرض جغرافیایی ۲۵ درجه تا ۵۲ درجه سازگاری دارد. سیب یک میوه معتدل است و از نظر بیولوژیکی از انواع مختلفی ترکیبات فعال و ترکیبات فنولی خاصی تشکیل شده است که به‌عنوان آنتی‌اکسیدان شناخته شده‌اند (Forsline et al., 2003; Palmer et al., 2003). مسائل پس از برداشت آن به‌طور روز افزون مورد توجه دست‌اندرکاران صنعت باغبانی قرار دارد. براساس آمار وزارت جهاد کشاورزی، بیش‌ترین

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Ehteshamnia.ab@lu.ac.ir)

با نام علمی *Satureja khuzistanica* Jamzad یکی از گونه‌های بومی *Satureja* است که در کوهپایه‌ها و شکاف سنگ آهک و بخش جنوب غربی ایران یافت می‌شود. مقدار مواد فعال اسانس *S. khuzistanica* از ۱ تا ۵ درصد متغیر است (Alizadeh, 2013). اسانس و عصاره *S. khuzistanica* دارای خواص بیولوژیکی از جمله آنتی‌باکتریال (Saei-Dehkordi et al., 2012)، ضد قارچ (Zarrin et al., 2010; Sadeghi-Nejad et al., 2011; Ahmadvand et al., 2012; Saei-Dehkordi et al., 2012; Rezvanifar et al., 2010)، ضد التهاب، ضد دیابت و ضد اسپاسم است (Alizadeh, 2013). کیتوسان یک پلی‌ساکارید کاتیونی است که از فرآیند استیل‌زدایی قلیایی کیتین بدست می‌آید که دارای کاربردهای گوناگون به صورت شیمیایی و آنزیمی با اثرات ضد قارچی، ضد باکتریایی، ضد سرطانی و ضد کلسترولی می‌باشد. کیتوسان یک مشتق پلیمر کربوهیدرات معمولی است که حاصل استیل‌زدایی کیتین، که جزء اصلی پوسته سخت پوستان مانند خرچنگ و میگو است (Szlachta et al., 2020). علاوه بر این، کلسیم نیز نقش مهمی در بیان ژن‌های مؤثر بر تولید میوه و کیفیت بازی می‌کند (Wu et al., 2023)، همان‌طور که دیواره‌های سلولی و نفوذپذیری آن‌ها را تضمین می‌کند و از تخریب آنزیمی محافظت می‌کند (Zhi et al., 2017). کلسیم در میوه‌ها به حفظ سفتی و تورگر سلولی، کاهش بروز بیماری‌ها و پیشگیری از اختلالات فیزیولوژیک کمک می‌کند (Jain et al., 2019). این عنصر بر رسیدن برخی میوه‌ها و میزان تنفس و تولید اتیلن تأثیر می‌گذارد و در نتیجه باعث افزایش طول عمر و کیفیت میوه‌ها در طول ذخیره‌سازی می‌شود (Michailidis et al., 2020). در این خصوص در پژوهشی، کاربرد پس از برداشت نانو کربنات کلسیم بر فعالیت آنزیمی و برخی خصوصیات کیفی در سیب تازه بریده رقم 'گلدن دلشز' بررسی و نشان داده شد که از بین تیمارهای مورد استفاده، تیمار بعد برش با غلظت ۰/۱ درصد بیش‌ترین تأثیر را در حفظ ویتامین ث با مقدار ۶/۹۴ میلی‌گرم اسید آسکوربیک و درصد کاهش وزن با مقدار ۲/۰۱ درصد در طی مدت نگهداری نشان داد (Asghari et al., 2017). در مطالعه‌ای دیگر، ویژگی‌های شیمیایی و بررسی فعالیت مهارکنندگی و کشندگی رشد قارچ‌های عامل فساد و کپک‌زدگی پس از برداشت میوه سیب با استفاده از اسانس مور تلخ (*Salvia mirzayanii*) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با این اسانس، دارای بالاترین محتوای فنول کل و فلاونوئید کل بودند و به‌طور قابل توجهی موجب مهار رادیکال‌های آزاد DPPH و ABTS شدند (Rahmati Junidabad et al., 2022). بررسی تأثیر پوشش خوراکی کیتوسان بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و فعالیت آنزیمی میوه انگور رقم فخری در شرایط سردخانه نشان داد که، غلظت

است. از طرفی برای تولید غذای بیش‌تر، هماهنگ با رشد جمعیت، لازم است اهداف توسعه پایدار نیز در نظر گرفته شود تا افزایش تولید منجر به استفاده بیش از حد منابع و آسیب به محیط‌زیست نگردد (Sharma et al., 2020; Ashtiani et al., 2020; He et al., 2021). از این رو، یکی از راهکارهای مؤثر ایجاد امنیت غذایی که در راستای توسعه پایدار نیز باشد، کاهش ضایعات محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات باغی است (Miraei et al., 2022; Chauhan et al., 2021). سازمان خوار و بار و کشاورزی ملل متحد ضایعات کشاورزی را به‌صورت هرگونه تغییر فیزیکی و شیمیایی در کیفیت محصول به‌طوری‌که قابلیت مصرف خود را از دست بدهد، تعریف می‌کند. براساس آمار این سازمان، بیش از ۵۰ درصد میوه‌ها و سبزیجات تولید شده در کشورهای در حال توسعه در زنجیره تولید از مزرعه تا سفره به ضایعات تبدیل می‌شود (FAO, 2021). با کاهش این حجم قابل توجه ضایعات و رساندن آن به عددی یک رقمی همانند کشورهای توسعه یافته در حدود ۵ تا ۶ درصد می‌توان غذای چند ده میلیون نفر را تأمین نمود و گامی بزرگ در جهت ایجاد امنیت غذایی برداشت (Teuber & Jensen, 2020). یکی از روش‌های مؤثر برای افزایش عمر پس از برداشت محصولات، استفاده از پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی می‌باشد. پوشش‌های خوراکی، پوشش‌های نازکی از مواد قابل خوردن هستند که به‌عنوان محافظ روی سطح میوه‌ها و سبزی‌ها با هدف ایجاد یک سد نیمه تراوا به بخار آب، گازها و ترکیب‌های فرار به‌منظور افزایش ماندگاری آن‌ها به کار گرفته می‌شوند (Misir et al., 2014). اصطلاح "پوشش‌های خوراکی" به بسته‌بندی نازک و اولیه لایه‌های ساخته شده از مواد خوراکی اشاره دارد که می‌توان مستقیماً روی محصولات اعمال کرد که به‌طور معمول، با اسپری و غوطه‌ور کردن اعمال می‌شوند (Abhirami et al., 2020). از جمله مهم‌ترین مزایای فیلم‌ها و پوشش‌های خوراکی، زیست تخریب‌پذیری و در نتیجه نداشتن آلودگی زیستی، افزایش عمر انباری به دلیل اثر بازدارندگی بسیار خوب بر تبادل گازهای تنفسی O_2 و CO_2 و در نتیجه کنترل تنفس میوه‌ها و سبزی‌ها، کاهش خطرات میکروبی، بازدارندگی از انتقال و تبادل ترکیب‌های بودار و طعم‌دار و همچنین حفاظت محصول در مقابل صدمات مکانیکی، کاهش از دست دادن آب و رطوبت و در نتیجه کاهش چروکیدگی، به حداقل رساندن روند کاهش وزن میوه و افزایش بازارپسندی می‌باشد (Misir et al., 2014). اسانس و عصاره اندام‌های هوایی آن حاوی مونوترپنوئیدها، از جمله α -فلاندرن، α -پینن، β -فلاندرن، سزکویی ترین، P-سیمن و ترکیبات فنولی همراه با فلاونوئیدها است. اسانس‌های گیاهی به‌دلیل پذیرش مصرف‌کننده و سازگاری با محیط‌زیست می‌توانند برای کنترل عوامل بیماری‌زای قارچی مؤثر باشند (Zhang et al., 2019; Khaliq et al., 2019). مرزه خوزستانی

۵۰ تا ۸۰ درصد کاهش دهد (Ehtesham Nia et al., 2023). بنابراین با توجه به بررسی منابع، پژوهش حاضر با هدف بررسی کاربرد کیتوسان و اسانس مرزه خوزستانی در مراحل قبل و غوطه‌وری در کلرید کلسیم در مرحله پس از برداشت به منظور حفظ کیفیت سیب گلدن دلشیز بر پایه رویشی MM 111 بود و اثر آن‌ها بر برخی خصوصیات بیوشیمیایی میوه سیب در زمان نگهداری در انبار انجام شد.

مواد و روش‌ها

شرایط و محل اجرای آزمایش

این مطالعه به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی قبل از برداشت کیتوسان و اسانس مرزه خوزستانی و غوطه‌وری بعد از برداشت کلرید کلسیم بر میوه‌های سیب رقم زرد (Golden delicious) پیوند شده روی پایه MM 111 (Malling Merton 111) در یک باغ سیب ۱۸ ساله، به مساحت ۲ هکتار واقع در منطقه آبستان شهرستان خرم آباد در سال ۱۴۰۰، به صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی و در چهار تکرار (هر تکرار شامل حداقل ۳۰ عدد میوه) انجام شد. فاکتور اول تیمارهای محلول‌پاشی قبل و پس از برداشت شامل تیمارهای شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر)، محلول‌پاشی کیتوسان (۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) و اسانس (۲۵۰۰ میلی گرم بر لیتر) و غوطه‌وری میوه‌های برداشت شده با محلول کلرید کلسیم (۲ درصد) در مرحله پس از برداشت و فاکتور دوم مدت زمان انبارمانی (در روزهای صفر، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ روز پس از انبارداری (که با توجه به عمر انبارمانی بالای میوه سیب و انجام پیش-آزمایش و تا زمان پایان عمر انبارمانی میوه (بازارپسندی) حاصل شد)) بود. محلول‌پاشی در سه مرحله نیمه خرداد، تیر و شهریور ماه (بر روی درختان میوه همسن، سالم، با هرس و شکل تاج مناسب برای نوردهی کافی) با استفاده از سمپاش ۱۵ لیتری در ساعات اولیه صبح روزهای تعیین شده انجام شد. برای انجام غوطه‌وری‌های پس از برداشت، میوه‌های سالم و عاری از آفات و بیماری‌ها از درختان علامت‌گذاری شده از قبل، به طور تصادفی انتخاب شدند. بدین ترتیب که میوه‌ها پس از شستشوی اولیه با آب شرب ابتدا با آب مقطر شستشو، خشک و سپس در محلول کلرید کلسیم در دمای اتاق به مدت ۸ دقیقه غوطه‌ور شدند. پس از قرارگیری به مدت لازم در مجاورت جریان هوای خنک به منظور حصول اطمینان از حذف رطوبت سطحی اضافی، در جعبه‌های پلاستیکی میوه و یخچال دمای ۴ درجه و رطوبت نسبی ۸۰ تا ۹۰ درصد تا زمان اندازه‌گیری پارامترها نگهداری شد.

ویژگی‌های مورد بررسی

نمونه‌هایی که برای اندازه‌گیری کاهش وزن انتخاب شدند به طور جداگانه و ثابت در یک ظرف برچسب‌گذاری شده نگهداری شدند. در

۱ درصد کیتوسان به خوبی توانست آلودگی، ریزش جبه، کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون و کاهش اسیدآسکوربیک را کنترل نماید و غلظت ۰/۵ درصد کیتوسان نیز سبب جلوگیری از کاهش وزن و قهوه‌ای شدن جبه‌ها نسبت به سایر غلظت‌ها و نمونه شاهد گردید (Shokri et al., 2023). در پژوهشی دیگر، کاربرد قبل از برداشت کیتوسان و پوشش‌دهی با کارواکرول بر خصوصیات بیوشیمیایی، کیفی و ماندگاری توت فرنگی بررسی شد و نتایج نشان داد که میوه‌های تیمار شده با ترکیب کیتوسان و کارواکرول ۰/۶ درصد از سفتی بافت، ویتامین ث، مواد فنولی و مقدار مواد جامد محلول بیش‌تر و ماندگاری بهتری نسبت به شاهد برخوردار بودند (Ghasemi Arshad et al., 2023). در پژوهشی نیز به بررسی اثر پوشش‌های خوراکی کیتوسان و ژل آلوه‌ورا بر کیفیت و عمر انبارمانی گیلاس رقم لامبرت پرداخته شد و براساس نتایج ارائه شده، بیش‌ترین میزان مواد جامد قابل حل و نسبت آن‌ها به اسید کل در نتیجه کاربرد ۴۵ درصد ژل آلوه‌ورا همراه با ۰/۵ درصد پوشش کیتوسان حاصل شد و ترکیب آلوه‌ورا با غلظت‌های ۳۰ و ۴۵ درصد همراه با کیتوسان ۱ و ۱۵۱ درصد توانستند سفتی بافت میوه را در طی فرآیند انبارمانی نسبت به سایر تیمارها بهتر حفظ نمایند (Shokouhian et al., 2024). بررسی کیفیت میوه توت فرنگی پوشش‌دار شده با کیتوسان/کارواکرول نشان داد که در نمونه‌های تیمار شده به ترتیب ۱۳/۷۸ و ۱۳/۵۱ درصد نسبت به شاهد، کاهش وزن کم‌تری نشان دادند و بررسی سایر ویژگی‌ها از جمله سفتی بافت و مواد جامد محلول نیز نشان‌دهنده تأثیر مثبت پوشش بر این پارامترها بود (Pizato et al., 2022). ارزیابی محتوای کلسیم در میوه گلابی تحت انبار پس از کاربرد کلرید کلسیم در مراحل قبل و بعد از برداشت نشان داد که بالاترین غلظت کلرید کلسیم در طول قبل از برداشت، کم‌ترین مقدار کل جامدات محلول را ارائه کرد. همچنین، این مطالعه نشان داد که تیمار قبل از برداشت، محتوای کلسیم را در داخل میوه‌ها افزایش داد، اما غوطه‌وری پس از برداشت را می‌توان علاوه بر تیمارهای قبل از برداشت برای جلوگیری از پوسیدگی و افزایش کیفیت میوه به کار برد (Pessoa et al., 2022). در مطالعه‌ای نیز به ارزیابی اثر کلرید کلسیم بر کیفیت پس از برداشت میوه سیب رقم گالا پرداخته شد که یافته‌های این پژوهش نشان داد که تیمارهای کلسیم پس از برداشت از نرم شدن میوه جلوگیری کرده و کاهش وزن در تیمار کلرید کلسیم یک درصد، به حداقل رسانده شد (Beiparysa et al., 2023). همچنین بررسی کاربرد قبل از برداشت کامپوزیت کیتوسان-اسانس مورد و پس از برداشت نانوسولز بر کیفیت توت‌فرنگی نشان داد که استفاده از پوشش کامپوزیت کیتوسان-اسانس برای محلول‌پاشی، ویژگی‌های بیوشیمیایی مانند محتوای فنول و فلاونوئید کل، ویتامین ث، سفتی و مواد جامد محلول را افزایش و کاهش وزن میوه‌ها را بین

برای اندازه‌گیری میزان مالون دی آلدئید، مقدار ۱ گرم از نمونه میوه با محلول تری کلرواستیک اسید (۵ درصد وزنی/حجمی) ترکیب گردید. نمونه‌ها در دمای ۴ درجه به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲ میلی لیتر از محلول روشن‌آور حاصل جدا و ۲ میلی لیتر محلول ۶ درصد تیوباربیتیک اسید به آن افزوده شد. سپس ترکیب حاصل در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ دقیقه حرارت داده شد. سپس مخلوط سرد شده و با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. در نهایت، جذب نمونه در طول موج‌های ۴۵۰، ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر ثبت و محتوای مالون دی آلدئید با استفاده از رابطه زیر به دست آمد (Zheng & Tian, 2006):

$$MDA = 6.45(OD532 - OD600) - 0.56(OD450)$$

OD: میزان جذب در طول موج مورد نظر

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، از طریق خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد (۲ و ۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل) تعیین شد. ابتدا برای تهیه عصاره، مقدار ۲ گرم از بافت میوه با استفاده از نیتروژن مایع در هاون چینی آسیاب و مقدار ۲ میلی لیتر از حلال استخراج متشکل از متانول (۸۵ درصد) و استیک اسید (۱۵ درصد) به آن اضافه شد. پس از مخلوط کردن، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شدند. سپس ۲۰۰ میکرولیتر از قسمت روشن‌آوری برداشته و از فیلتر یکبار مصرف سرسرنگی با قطر منافذ ۰/۴۵ میکرومتر گذرانده شد (Lister et al., 1994).

در مرحله بعد برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره، ۵۰ میکرولیتر از عصاره داخل لوله‌های آزمایش کوچک ریخته شد و مقدار ۹۵۰ میکرولیتر محلول DPPH ۰/۱ نرمال به آن‌ها اضافه و سپس ورتکس گردید. در مرحله بعد، به مدت ۳۰ دقیقه در یک محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری شد و در نهایت، میزان جذب شاهد (۱ میلی لیتر محلول ۰/۱ نرمال DPPH) و نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) در طول موج ۵۱۷ نانومتر تعیین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH و با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد (Brand- Williams et al., 1995):

$$DPPH (\%) = \left[\frac{A1 - A2}{A1} \right] * 100$$

DPPH: درصد بازدارندگی رادیکال آزاد، A1: میزان جذب

DPPH، A2: میزان جذب عصاره

میزان فنول کل در عصاره به روش Folin-Ciocalteu اندازه‌گیری شد. ابتدا به ۱۲۵ میکرولیتر از عصاره، ۳۷۵ میکرولیتر آب، ۲۵۲ میلی لیتر فولین ۱۰ درصد اضافه شد و بعد از ۶ دقیقه ۲

روز اول، وزن اولیه نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۰۰۱ مدل GE120 اندازه‌گیری و در روزهای دیگر نیز وزن نمونه‌ها ثبت و اختلاف میان وزن نمونه‌ها در روزهای مختلف با روز پایانی بیان‌گر میزان کاهش وزن بود و به صورت درصد کاهش وزن بیان شد (Jan et al., 2012).

$$Weight\ loss = \frac{[W1 - W2]}{W1} * 100$$

W1 = وزن نمونه در ابتدای آزمایش، W2 = وزن نمونه در انتهای

آزمایش

برای اندازه‌گیری اسیدیته (pH) آب میوه با استفاده از دستگاه pH سنج (مدل ۳۲۲۰) اندازه‌گیری شد. به این منظور، ابتدا دستگاه با بافرهای ۴ و ۷ کالیبره و سپس الکتروود دستگاه داخل آب میوه قرار داده شد، پس از ثابت شدن عدد نمایش داده شده، میزان pH ثبت گردید (Khan et al., 2008).

جهت اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون، ۵ میلی لیتر از آب میوه در استوانه مدرج ریخته و با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۵۰ رسانده شد. برای رساندن pH به ۸/۱ از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال استفاده گردید و در نهایت اسیدیته قابل تیتر به صورت درصد اسیدمالیک بیان شد (Said et al., 2020).

مواد جامد محلول نمونه‌ها در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از رفراکتومتر (ATAGO, Japan) قرائت شد، ابتدا، رفراکتومتر با آب مقطر کالیبره گردید و پس از هر بار قرائت به دقت رفراکتومتر تمیز شد تا از خطا جلوگیری گردد. شاخص رسیدگی یا طعم میوه نیز از نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون محاسبه گردید (Roccu et al., 2004).

محتوای ویتامین ث به روش تیتراسیون ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول برآورد شد. ابتدا ۵ میلی لیتر آب میوه در ۵۰ میلی لیتر محلول ۰/۰۲ گرم در میلی لیتر محلول اسیدازالیک همگن و سپس سانتریفیوژ شد (در ۱۵۰۰ دور به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد). سپس مایع رویی (۱۰ میلی لیتر) با ۰/۱ درصد ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول به رنگ صورتی دائمی تیتر شد. غلظت ویتامین ث با توجه به حجم تیتراسیون ۲،۶-دی‌کلروفنول ایندوفنول طبق رابطه زیر و به صورت میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر عصاره میوه بیان شد (He et al., 2021):

$$AA = (V \times F \times Y \times 100) / (W \times T)$$

AA: میزان آسکوربیک اسید در هر ۱۰۰ میلی لیتر عصاره میوه تازه،

V: میلی لیتر ایندوفنول مصرف شده در تیتراسیون، F: عامل ایندوفنول

که برای محلول استاندارد اسیدآسکوربیک برابر با ۰/۲۵ است، Y:

میلی لیتر حجم مخلوط میوه و اسیدازالیک، W: گرم وزن نمونه، T:

میلی لیتر حجم نمونه

نتایج و بحث

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر

کاهش وزن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان کاهش وزن داشت (جدول ۱). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش مدت زمان انبارمانی، درصد کاهش وزن را افزایش داد و تیمارهای مورد استفاده در مراحل قبل و پس از برداشت، موجب کاهش این ویژگی شدند. بر همین اساس، بیش‌ترین کاهش وزن (۱۸/۴۷ درصد) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی به‌دست آمد. کم‌ترین میزان کاهش وزن (۴/۶۵ درصد) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در زمان اول انبارمانی مشاهده شد (شکل ۱). گزارش‌های قبلی نیز اثر پوشش ایمن و زیست تخریب‌پذیر را بر کاهش وزن میوه‌های انبه (Xing et al., 2020)، سیب (Liu et al., 2021) و زغال اخته (Rokayya et al., 2021) را نشان داده‌اند. کاهش وزن عمدتاً نه تنها در اثر تخرق، بلکه در اثر تنفس نیز ایجاد می‌شود. بیوپلیمر کیتوسان با تشکیل یک غشا بر روی سطح میوه‌ها، به‌عنوان یک مانع مکانیکی و فیزیکی برای کاهش تبادل گاز عمل می‌کند و در نتیجه بلوغ و پیری میوه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. پوشش‌های کامپوزیتی با حفظ هیدراتاسیون (تنظیم تخرق) و کاهش تبادل گاز و انتشار بخار آب، کاهش وزن را کاهش می‌دهد (Ehteshamnia et al., 2021). به نظر می‌رسد که اثر ترکیبی بر کاهش وزن، ناشی از کاهش تجمع اتیلن از طریق فرآیند تقلیل فوتوکاتالیستی بوده تا جایی که پاسخ‌های رسیدن ناشی از اتیلن و کاهش وزن به تأخیر می‌افتد. بنابراین، ترکیب پوشش‌ها در کنترل کاهش وزن میوه‌های تازه مؤثر است (Rokayya et al., 2021).

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر

اسیدیته و اسیدهای قابل تیتراسیون

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارها بر میزان اسیدیته و اسیدهای قابل تیتراسیون در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). افزایش زمان انبارمانی موجب افزایش اسیدیته و کاربرد پوشش‌ها موجب کاهش اسیدیته گردید. در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام، بیش‌ترین میزان اسیدیته (۴/۳۴) نسبت به سایر تیمارها وجود داشت و در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس در روز ۶۰ام، کم‌ترین میزان اسیدیته (۳/۰۷۶) به‌دست آمد (شکل ۲).

میلی‌لیتر کربنات سدیم ۷/۵ درصد نیز به آن‌ها اضافه گردید. سپس نمونه‌ها به مدت ۱/۵ ساعت در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری شدند و بعد از آن میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) در طول موج ۷۶۰ نانومتر اندازه‌گیری و میزان فنول کل بر حسب میلی‌گرم اسیدگالیک در گرم بافت تر بیان گردید (D Abrosca et al., 2008; Drogoudi et al., 2008).

برای اندازه‌گیری فلاونوئیدها از روش رنگ‌سنجی کمی استفاده شد، به این منظور، به ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره ۱۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه شد. پس از گذشت ۵ دقیقه، ۱۰۰ میکرولیتر استات پتاسیم ۱ مولار و ۲۸۰۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. میزان جذب در طول موج ۴۱۵ نانومتر (بلانک متانول) با دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) ثبت و سپس مقدار فلاونوئید کل بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن تازه بیان گردید (Pavun et al., 2018).

فعالیت پلی‌فنول اکسیداز با توجه به روش (Jiang & Fu, 1998) اندازه‌گیری شد. در این روش، اکسیداسیون ۴-متیل کاتکول ناشی از پلی‌فنول اکسیداز در ۴۱۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر (UV-3200, MAPADA, Shanghai-China) افزایش جذب در هر دقیقه کنترل و میانگین تغییر جذب در دقیقه محاسبه و فعالیت پلی‌فنول اکسیداز به‌صورت واحد در گرم پروتئین بیان شد.

آنالیز آماری

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی طرح‌ریزی در چهار تکرار انجام شد. فاکتور اول، اثر تیمارهای مورد بررسی در شش سطح شامل:

Control = شاهد (شست و شو با آب مقطر)

CH = کیتوسان (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

ES = اسانس مرزه خوزستانی (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

CH+ES = کیتوسان + اسانس (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

CaCl₂ = کلرید کلسیم (غوطه‌وری پس از برداشت)

CH+ES+CaCl₂ = کیتوسان + اسانس (محلول‌پاشی قبل از برداشت)

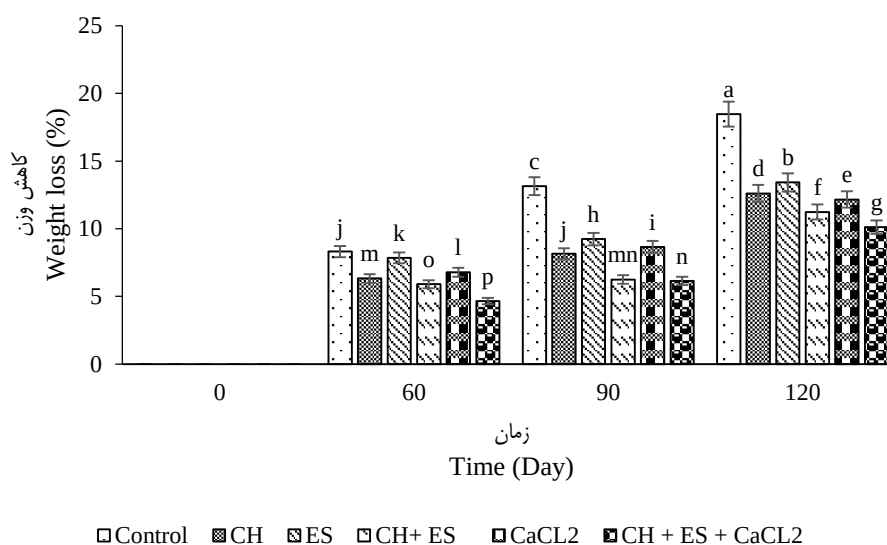
+ کلرید کلسیم (غوطه‌وری پس از برداشت)

برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel، برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS (PROC GLM in SAS v. 9.2) و برای گروه‌بندی میانگین‌ها در سطح پنج درصد از آزمون دانکن استفاده شد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر زمان و تیمار بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه سیب
Table 1- ANOVA (mean squares) for the effect of time and treatment on biochemical traits of apple fruit

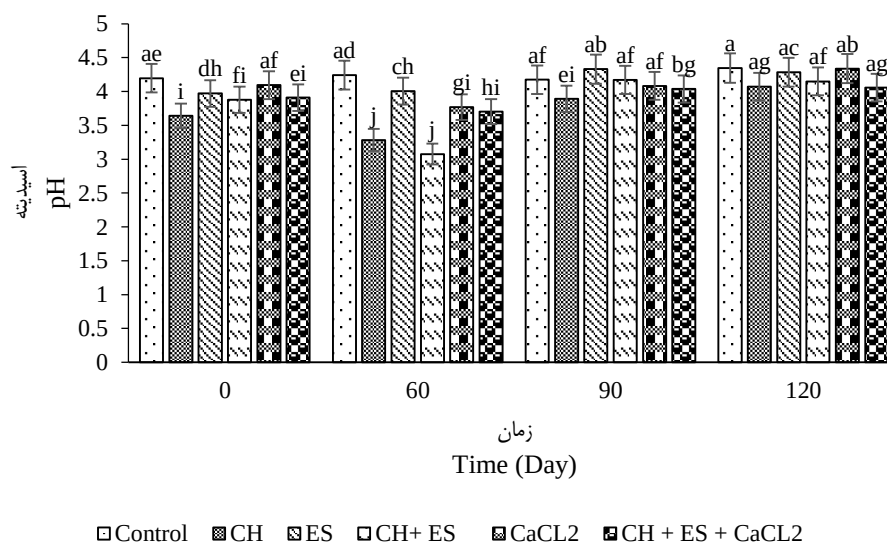
منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	کاهش وزن Weight loss	اسیدیته pH	میانگین مربعات Mean squares			شاخص طعم TSS/TA
				اسیدیته pH	مواد جامد محلول TSS	اسیدهای قابل تیتراسیون TA	
تیمار (a) Treatment (a)	5	44.143**	0.636**	6.670**	0.011**	3073.09**	
زمان (b) Time (b)	3	701.459**	1.287**	22.075**	0.026**	7477.09**	
تیمار*زمان a*b	15	7.714**	0.143**	0.996**	0.002**	648.31**	
خطا Error	72	0.016	0.046	0.190	0.0001	18.04	
ضریب تغییرات (%) CV. (%)	-	1.79	5.37	2.22	4.11	5.05	

ns و **: وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی‌دار.
*، ** و ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.



شکل ۱- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه سیب
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 1. Interaction effect of treatment and storage time on weight loss of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۲- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر اسیدیته میوه سیب
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

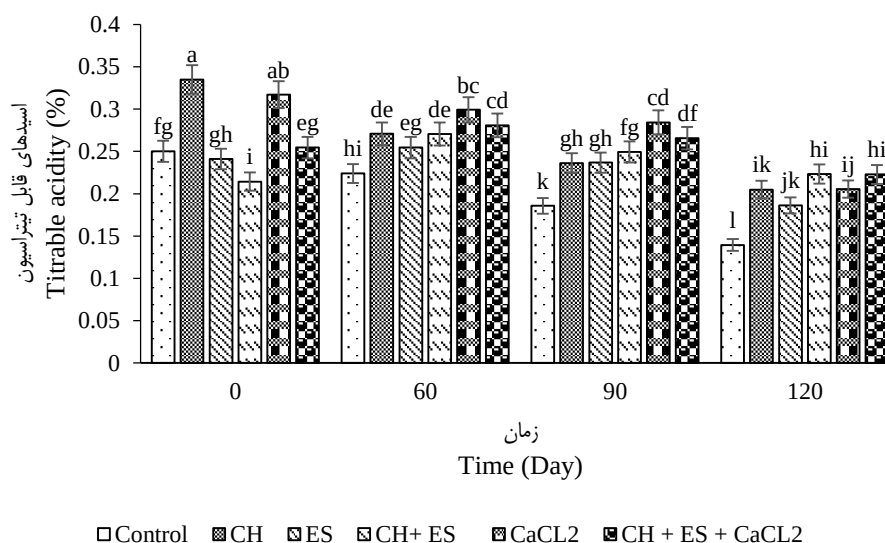
Fig. 2. Interaction effect of treatment and storage time on pH of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

به‌عنوان پیش‌ماده استفاده می‌کنند (Vieira et al., 2016). بنابراین اسیدهای قابل تیتراسیون معمولاً در طول ذخیره‌سازی کاهش می‌یابند و حداکثر کاهش، نشان‌دهنده پیری است (Cosme Silva et al., 2017). اسیدیته نیز یک پارامتر مهم در حفظ کیفیت میوه است که ارتباط مستقیمی با غلظت اسیدهای آلی غالب آن دارد (Gao et al., 2013). بنابراین، محتوای اسیدهای قابل تیتر و اسیدیته میوه

اسیدهای قابل تیتراسیون طی گذشت زمان انبارمانی کاهش نشان داد و در مقابل، در نمونه‌های تیمار شده افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون به‌دست آمد. کم‌ترین میزان (۰/۱۳۹ درصد) متعلق به تیمار شاهد در روز ۱۲۰م بعد از انبارمانی بود، بیش‌ترین میزان (۰/۳۳۵ درصد) در تیمار کیتوسان در روز صفر مشاهده شد (شکل ۳). تنفس یک فرآیند آنزیمی است و آنزیم‌های دخیل در تنفس از اسیدهای آلی

است منجر به کاهش سرعت تنفس شود، بنابراین غلظت بالاتری از اسیدهای آلی حفظ می‌شود (Hong et al., 2016). کیتوسان، اسانس و کلرید کلسیم مانند هر پوشش دیگری، تنفس را کاهش می‌دهد و نرخ تولید اتیلن با محدود شدن تبادل گازی که منجر به افزایش CO₂ و کاهش O₂ می‌شود را کاهش می‌دهد، در نتیجه منجر به کاهش مصرف اسیدهای آلی و جلوگیری از افزایش اسیدیته میوه می‌شود (Salvia- Trujillo et al., 2015).

نشان‌دهنده وضعیت میوه از نظر زمان پیری است که می‌تواند به‌دلیل مصرف اسید آلی در فرآیند تنفس و تبدیل آن‌ها به قندها باشد (Vargas et al., 2006). از طرفی، پوشش‌های خوراکی موجب کاهش پیری، تنفس و فعالیت آنزیم، کاهش تلفات رطوبت، حفاظت در برابر مکانیکی، جلوگیری از آسیب و رشد میکروبی، محافظت بافت، رنگ و طعم می‌شوند (Mahajan et al., 2014). افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون در میوه‌های پوشش داده شده به‌دلیل کاهش تغییرات متابولیک اسیدهای آلی به CO₂ و آب می‌باشد. تبدیل متابولیک ممکن



شکل ۳- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر اسیدهای قابل تیتراسیون میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 3. Interaction effect of treatment and storage time on titrable acidity of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

(Pizato et al., 2022) گزارش گردید که با نتایج حاضر همخوانی داشت. مواد جامد محلول، اسیدهای قابل تیتراسیون و ویتامین ث مواد اصلی طعم دهنده هستند (Chen et al., 2016). مواد جامد محلول ماده اصلی تنفس بوده و معمولاً برای نشان دادن کیفیت و بلوغ میوه در پس از برداشت استفاده می‌شود (Zhao et al., 2014). افزایش مواد جامد محلول در طول دوره نگهداری احتمالاً به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیمی است که مسئول تبدیل هیدرولیز نشاسته و قندهای نامحلول به قندهای محلول است که این تبدیل ممکن است منجر به تغییر در مقدار کربوهیدرات‌ها، پکتین و هیدرولیز جزئی پروتئین و تجزیه گلیکوزیدها به زیر واحدهای آن در طول تنفس شود. افزایش میزان تنفس و مصرف قند توسط سلول منجر به از دست دادن آب بیش‌تر شده که عامل مهمی در خراب شدن محصولات است (Dhakad et al., 2020).

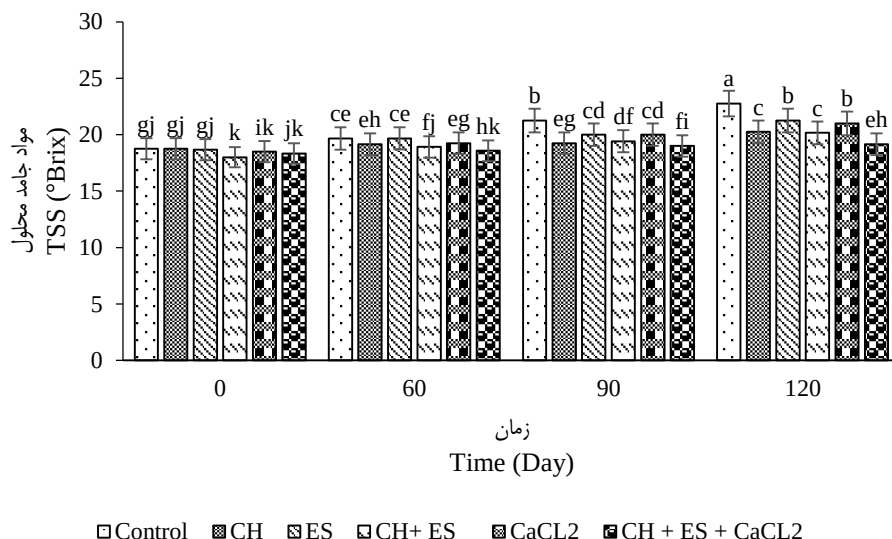
اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر

مواد جامد محلول و شاخص طعم

تجزیه واریانس نشان داد که تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر محتوای مواد جامد محلول و شاخص طعم در سطح احتمال یک درصد گذاشت (جدول ۱). براساس نتایج مقایسات میانگین، بیش‌ترین میزان مواد جامد محلول (۲۲/۷۵) درجه بریکس) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام اندازه‌گیری به‌دست آمد و کم‌ترین میزان (۱۸) درجه بریکس) متعلق به تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس در روز صفر انبارمانی بود (شکل ۴). مقایسات میانگین برای شاخص طعم نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار (۱۶۳/۲۵) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد و کم‌ترین میزان شاخص طعم (۵۶/۴۶) در تیمار کیتوسان در روز صفر به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج مشابهی برای میوه سیب

اثر اتیلن، کاهش تنفس و حفظ دیواره سلولی و در نهایت جلوگیری از افزایش مواد جامد محلول می‌شود (Steelheart et al., 2019). بنابراین، کاهش غلظت مواد جامد محلول ممکن است در نتیجه کاهش از دست دهی آب در میوه‌های تیمار شده در طی نگهداری پس از برداشت باشد (Gol et al., 2015).

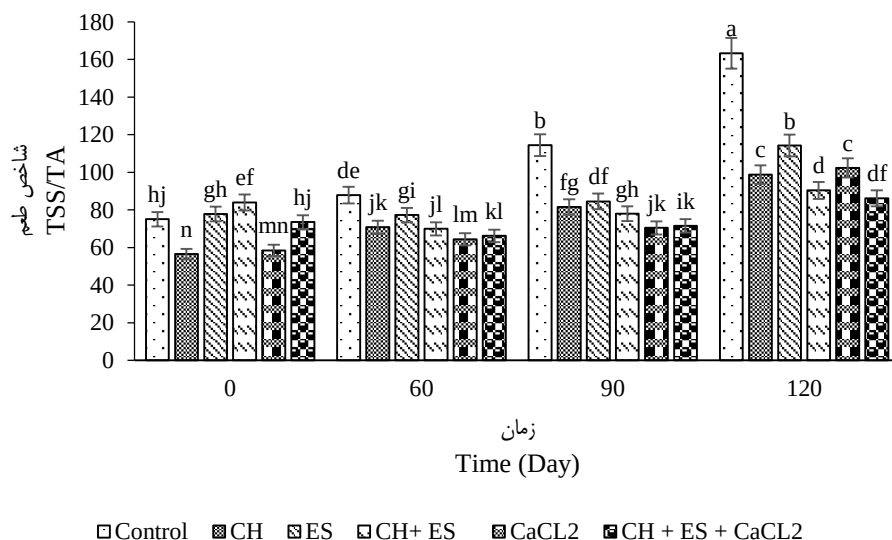
افزایش مواد جامد محلول و افزایش از دست دادن آب ارتباط تنگاتنگی دارد. محتوای کم ساکارز میوه (قند غیر احیا) می‌تواند نتیجه فرآیند آنابولیک و تنفس در طول رشد میوه و در نتیجه فعالیت بالای آنزیم اینورتاز در طول رسیدن میوه باشد (Veberic, 2016). کاربرد قبل از برداشت پوشش‌ها، فرآیند پیری را کاهش داده و باعث کاهش تولید و



شکل ۴- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر مواد جامد محلول میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 4. Interaction effect of treatment and storage time on TSS of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۵- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر شاخص طعم میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 5. Interaction effect of treatment and storage time on TSS/TA of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر زمان و تیمار بر ویژگی‌های بیوشیمیایی میوه سیب
Table 2- ANOVA (mean squares) for the effect of time and treatment on biochemical traits of apple fruit

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares					
		ویتامین C Vitamin C	مالون دی آلدئید MDA	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	محتوای فنول کل TPC	محتوای فلاونوئید کل TFC	آنزیم پلی فنول اکسیداز PPO
تیمار (a) Treatment (a)	5	10.464**	0.734**	398.67**	16.473**	231.859**	0.000001**
زمان (b) Time (b)	3	89.918**	4.255**	1720.01**	212.413**	218.527**	0.000002**
تیمار*زمان a*b	15	0.724**	0.101**	11.15**	1.637**	9.821**	0.000005**
خطا Error	72	0.040	0.002	0.49	0.343	0.598	0.0000001
ضریب تغییرات (%) CV. (%)	-	3.68	5.89	2.12	7.01	4.63	5.24

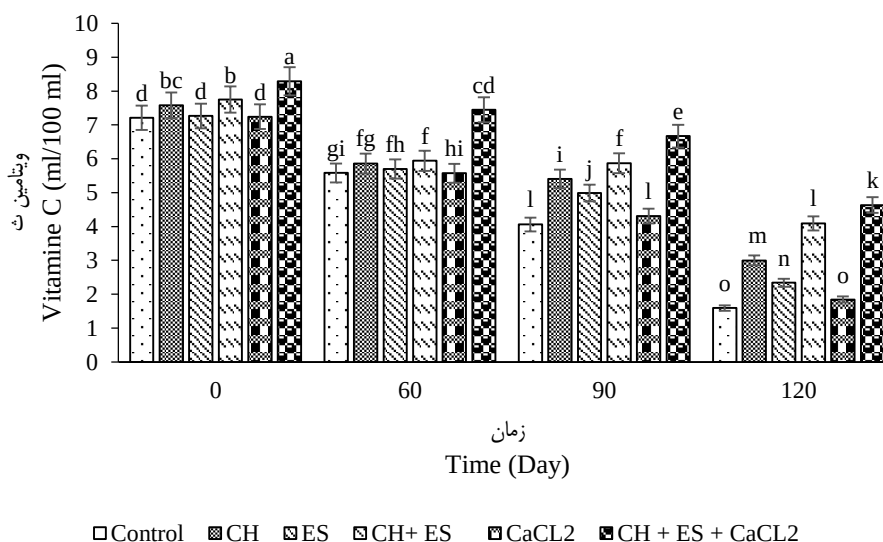
ns: وجود اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و عدم اختلاف معنی دار.
*, **, and ns: Significant at 5% and 1% levels of probability and non-significant, respectively.

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر

ویتامین ث

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارها بر میزان ویتامین ث در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). محتوای ویتامین ث در طول مدت زمان انبارمانی روندی کاهشی نشان داد، به‌طوری‌که کم‌ترین میزان (۱/۵۹ میلی‌لیتر در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد و کم‌ترین میزان (۸/۲۹ میلی‌لیتر در ۱۰۰ میلی‌لیتر عصاره میوه) متعلق به تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز صفر بود (شکل ۶). کاربرد کیتوسان در میوه انگور فخری (Shokri et al., 2023) و کامپوزیت کیتوسان-اسانس در توت فرنگی (Ehtesham Nia et al., 2023) موجب افزایش میزان ویتامین ث شد که با نتایج حاضر مطابقت دارد. همچنین کاربرد پس از برداشت کربنات کلسیم در میوه سیب (Asghari et al., 2017) موجب جلوگیری از کاهش ویتامین ث شد. ویتامین ث نه تنها یک شاخص مهم برای ارزیابی کیفیت میوه و ارزش غذایی است، بلکه یک ماده آنتی‌اکسیدانی مهم برای حذف گونه‌های فعال اکسیژن از میوه است (Zhao et al., 2014). علاوه بر این، ویتامین ث به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان و کوفاکتور در واکنش‌های ردوکس نیز نقش اصلی در فعال شدن مکانیسم‌های اپی ژنتیکی که

تمایز سلولی را کنترل می‌کنند ایفا می‌کند (Fenech et al., 2019). طی فرآیند انبارداری، میزان ویتامین ث تحت تأثیر فعالیت آنزیم اکسیدکننده اسیدآسکوربیک (آسکوربیناز) به سرعت کاهش می‌یابد. اسید آسکوربیک در مقایسه با سایر مواد مغذی طی فرآیند انبارداری نسبت به اکسیداسیون و تجزیه حساس‌تر است و دلیل احتمالی کاهش آن، اتواکسیداسیون است که به‌طور خودبخودی در مجاورت اکسیژن، اکسید می‌شود (Sogvar et al., 2016). سطح اسیدآسکوربیک با رسیدن میوه به‌دلیل اثر مستقیم آنزیم اسید آسکوربیک اکسیداز (آسکوربیناز)، اکسیداسیون و کاهش می‌یابد و همچنین تغییر اسیدآسکوربیک به ۲ و ۳-نیکاسید دایکتوگولو باشد. (Zhao et al., 2014). پوشش کیتوسان تغییراتی را در میزان انتقال O_2 و CO_2 از طریق پوشش ایجاد می‌کند و لایه‌ای روی سطح میوه تشکیل داده که سرعت تنفس میوه پوشش داده شده را کاهش می‌دهد و اکسیداسیون اسیدآسکوربیک را به‌دلیل فعالیت اسیدآسکوربیک اکسیداز و پلی‌فنول اکسیداز حفظ می‌کند (Hussain et al., 2019). پوشش‌های کامپوزیتی ممکن است محتویات ویتامین ث را به‌دلیل کاهش اکسیداسیون در سطح نفوذپذیر و محدودیت گاز تبادل افزایش دهند. ترکیب پوشش‌های خوراکی، با محدود کردن تبادل گاز و نرخ تنفس از محتویات ویتامین محافظت کنند و موجب جلوگیری از قرار گرفتن آن در معرض نور و تمرکز آن در داخل میوه می‌شوند (Sun et al., 2019).



شکل ۶- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر ویتامین ث میوه سیب

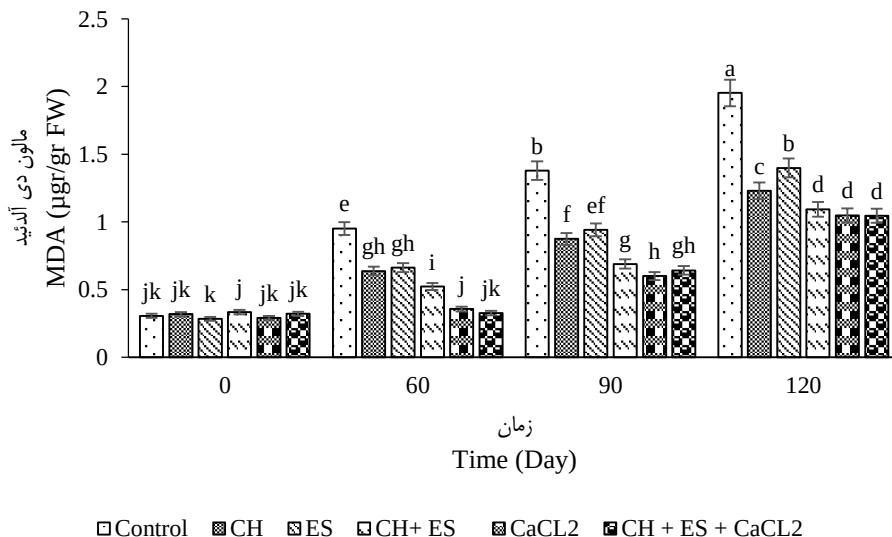
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

Fig. 6. Interaction effect of treatment and storage time on vitamin C of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر مالون دی آلدئید

طبق نتایج تجزیه واریانس، اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی در سطح احتمال یک درصد بر میزان مالون دی آلدئید معنی‌دار بود (جدول ۲). کاربرد کیتوسان، اسانس و کلرید کلسیم میزان مالون دی آلدئید را طی مدت زمان انبارمانی نسبت به تیمار شاهد کاهش داد. بیش‌ترین (۱/۹۵) میکروگرم بر گرم بافت تازه و کم‌ترین (۰/۲۸۴) میکروگرم بر گرم بافت تازه) میزان مالون دی آلدئید میوه به‌ترتیب در تیمارهای شاهد در روز ۱۲۰ام و تیمار اسانس در روز صفر مشاهده شد (شکل ۷). از دست دادن یکپارچگی غشاء به‌دلیل از هم پاشیدگی و جداسازی در طول دوره رسیدن رخ می‌دهد (Adiletta et al., 2021). استرس اکسیداتیو در پس از برداشت باعث از بین رفتن یکپارچگی غشا و افزایش محتوای مالون دی آلدئید می‌شود (Wang et al., 2019). گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) مانند آنیون سوپراکسید (O_2^-)، رادیکال هیدروکسیل (OH)، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) و اکسیژن منفرد (O_2) از فرآیندهای سلولی مانند تنفس در چندین اندامک سلولی تولید می‌شوند و به‌عنوان محصولات جانبی متابولیسم هوازی طبیعی یا به‌عنوان پاسخ به غیر زنده و تنش‌های زیستی تولید می‌شوند (Huan et al., 2017). ROS همیشه به‌عنوان ترکیبات مضر شناخته شده است

که در پراکسیداسیون لیپیدی نقش دارد و در نتیجه مسئول آسیب‌های غشایی و همچنین در اکسیداسیون سایر مولکول‌های بیولوژیکی مانند پروتئین‌ها، DNA و کربوهیدرات‌ها است (Wang et al., 2019). کاهش پراکسیداسیون لیپیدی با فعالیت کم لیپوکسیژناز در ارتباط است و پوشش کیتوسان با حذف ROS موجب حفظ ساختار غشای سلولی می‌شود (Adiletta et al., 2021). مطالعات زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد سطح بالاتری از محتوای ATP می‌تواند پتانسیل غشاء را تثبیت کند، در نتیجه یکپارچگی غشای سلولی را حفظ کرده و پیشرفت پیری گیاه را به تأخیر می‌اندازد (Li et al., 2020). حمله به غشاهای میتوکندری منجر به کاهش عملکرد Ca^{2+} -ATPase، H^+ -ATPase و Mg^{2+} -ATPase برای حفظ یونی سلولی هموستاز برای حفظ یکپارچگی ساختار غشاهای سلولی و وضعیت انرژی می‌شود، نشان داده شده که کاربرد پوشش کیتوسان پس از برداشت فعالیت‌های H^+ -ATPase، Ca^{2+} -ATPase و Mg^{2+} -ATPase را کاهش می‌دهد (Yang et al., 2019). تیمار کردن میوه‌ها می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش دهد، ROS را حذف کرده و از افزایش مالون دی آلدئید جلوگیری کند، همچنین پوشش‌های پس از برداشت می‌توانند با محافظت از ساختارهای غشای سلولی، پیری پس از برداشت را به تأخیر اندازند (Song et al., 2016).



شکل ۷- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر مالون دی آلدئید میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند)

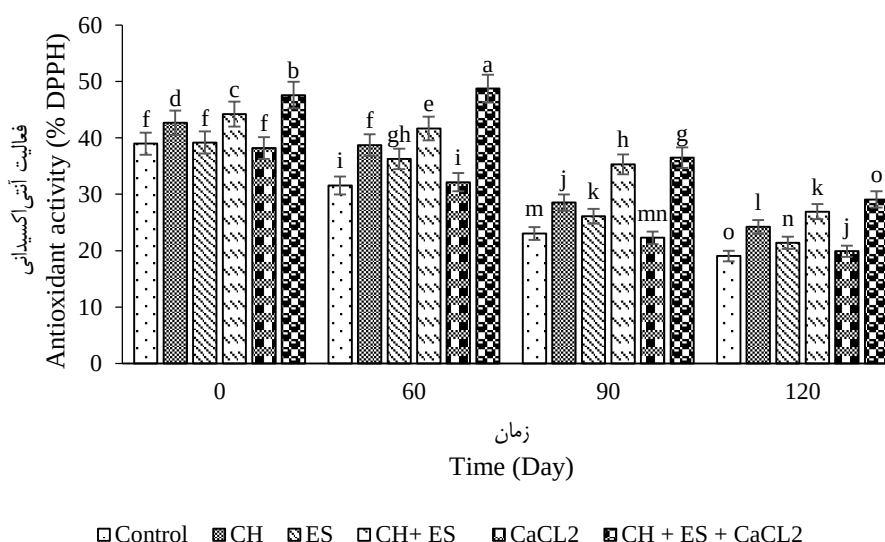
Fig. 7. Interaction effect of treatment and storage time on MDA of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تیمارها بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). با افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی بافت میوه کاهش نشان داد و تیمارهای ترکیبی موجب افزایش این ویژگی شدند. در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز ۶۰ام، بیش‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۴۸/۷۳ درصد) و در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام، کم‌ترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۱۹/۰۳ درصد) وجود داشت (شکل ۸). رسیدن میوه فرآیندی پیچیده و برنامه‌ریزی شده ژنتیکی است که در آن، سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی آنزیمی و غیر آنزیمی نقش مهمی در حفظ گونه‌های اکسیژن فعال دارند (Adiletta et al., 2021; Zhang et al., 2020). آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی مولکول‌های آلی هستند که شروع و یا انتشار واکنش‌های زنجیره‌ای رادیکال آزاد را سرکوب می‌کنند (Moussa et al., 2020). در طول فرآیند پیری، فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها ممکن است کاهش یابد و استفاده از تیمارهای پس از برداشت می‌تواند پیری را به تأخیر بیندازد، اکسیداسیون ترکیبات فنولی را کاهش دهد و گونه‌های فعال اکسیژن را مهار کند (Ehteshamnia et al., 2021). ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند به‌وسیله فاکتورهای محیطی تحت تأثیر قرار بگیرد و مشخص

شده که ارتباط مثبتی بین ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی وجود دارد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی نشان‌دهنده توانایی مهار فرآیند اکسیداسیون است. آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی برای ایفای نقش ضروری در محافظت از سلول‌ها در برابر ROS ناشی از آسیب اکسیداتیو در دوران پیری ترکیبات فنولی توسط مسیرهای فنیل پروپانئوئید سنتز می‌شوند (Gao et al., 2016). علاوه بر این، فعالیت‌های مهار رادیکال DPPH و رادیکال هیدروکسیل به‌طور گسترده برای غربالگری آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده شده است (Lu et al., 2016). در میوه‌های انار تیمار شده با کارواکرول، سطح ترکیب‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش معنی‌داری نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر سازگار است (Iraqi et al., 2021). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، فعالیت قهوه‌ای شدن را کاهش می‌دهند و خاصیت ضد میکروبی ایجاد می‌کنند (Nair et al., 2020). گزارش شده است که پوشش‌دهی میوه‌ها با کیتوسان، پیری میوه را به تأخیر می‌اندازد و محتوای فیتوشیمیایی را در طول ذخیره‌سازی افزایش می‌دهد (Xing et al., 2021; Xing et al., 2020). پوشش‌های مبتنی بر کیتوسان به‌عنوان یک مانع روی سطح میوه عمل می‌کنند که محتوای آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی را در طول ذخیره‌سازی حفظ می‌کند (Modesti et al., 2019). این ترکیبات، اتمسفر اطراف میوه را تغییر می‌دهند و به‌عنوان موانع نیمه تراوا عمل می‌کنند که تبادل گازی را کنترل می‌کنند و به‌دلیل اثر محافظتی، مانع از بین رفتن ترکیبات فنولی می‌شوند (Kerch et al., 2015).



شکل ۸- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر میزان کاهش وزن میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 8. Interaction effect of treatment and storage time on antioxidant activity of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

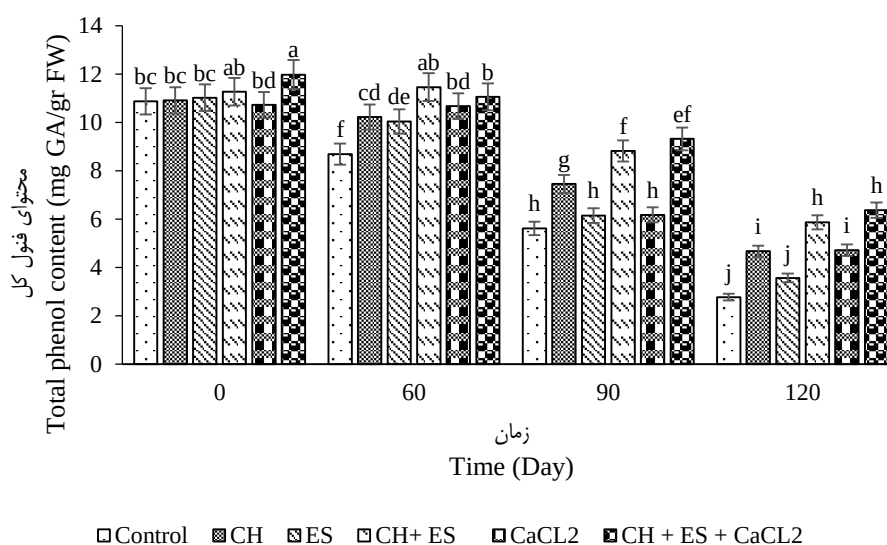
اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر محتوای فنول و فلاونوئید کل

تجزیه واریانس نشان داد که تیمار و مدت زمان انبارمانی، اثر معنی‌داری بر محتوای فنول و فلاونوئید کل در سطح احتمال یک درصد داشتند (جدول ۲). میزان فنول و فلاونوئید کل طی مدت زمان انبارمانی کاهش یافت و در نمونه‌های تیمار شده افزایش در هر دو ویژگی مشاهده گردید. بیش‌ترین میزان فنول (۱۱/۹۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم بافت تازه) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز صفر اندازه‌گیری به‌دست آمد و کم‌ترین میزان (۲/۷۷ میلی‌گرم گالیک اسید بر گرم بافت تازه) متعلق به تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی بود (شکل ۹). براساس مقایسات میانگین محتوای فلاونوئید، بیش‌ترین مقدار (۲۴/۸۸ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بافت تازه) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در روز ۶۰ام بعد از انبارمانی مشاهده شد که، البته اختلاف معنی‌داری با همین تیمار در روز صفر نداشت، کم‌ترین محتوای فلاونوئید کل (۹/۰۹ میلی‌گرم کوئرستین بر گرم بافت تازه) نیز در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام به‌دست آمد (شکل ۱۰). جلوگیری از کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی فنول و فلاونوئید کل در مراحل انبارمانی با استفاده از پوشش‌های کامپوزیتی در میوه‌های سیب (Rahmati Junidabad et al., 2022) و توت فرنگی (Ehtesham Nia et al., 2023) نیز گزارش شده است. میزان فنول کل طی فرآیند انبارداری بسته به شرایطی نظیر عوامل محیطی، نوع محصول، برداشت و مرحله برداشت و مرحله رسیدگی می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. کاهش ترکیبات فنولی در انبار ممکن است مربوط به تخریب ساختار سلولی ناشی از پیری و تخریب میوه باشد. ترکیبات فنولی، از جمله فلاونوئیدها، متابولیت‌هایی هستند که توسط متابولیسم ثانویه از طریق مسیر فنیل پروپانویید تولید می‌شوند و دارای مهار قوی رادیکال‌های آزاد است (Kerch et al., 2015). فنول‌ها ترکیبات آنتی‌اکسیدانی هستند که باعث سنتز یک سری متابولیت‌های ثانویه از مسیر شیکیمیک اسید یا از طریق فنیل پروپانوییدها می‌شوند. ترکیبات فنولی در پاکسازی از گونه‌های فعال اکسیژن برای تقویت فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها ضروری هستند (Rastegar et al., 2021). علاوه بر تخریب ساختارهای سلولی ناشی از افزایش سن، ترکیبات فلاونوئیدی را می‌توان در طول ذخیره‌سازی به‌دلیل اکسیداسیون ترکیبات فنولی توسط پلی‌فنول اکسیداز کاهش داد. علاوه بر این، فلاونوئیدها متابولیت‌های ثانویه گیاهان هستند که رادیکال‌های بدون اکسیژن را با خود اکسیداسیون حذف می‌کنند. بنابراین، کاهش ترکیبات فلاونوئیدی در طول ذخیره سازی می‌تواند تا حدودی به‌دلیل افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در نتیجه فرآیند پیری باشد (Mighani et

al., 2016). در پس از برداشت، غلظت ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی یا به‌طور قابل ملاحظه‌ای ثابت است یا کاهش می‌یابد. علاوه بر این، با افزایش فعالیت پلی‌فنول اکسیداز در طول فرآیند پیری، مصرف پلی‌فنول‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش سن میوه، محتوای کل ترکیبات فنولی بافت کاهش می‌یابد. فلاونوئیدها نیز از فراوان‌ترین فیتوکمیکال‌ها در میوه‌ها هستند و فعالیت‌های ضد تکثیر سرطان، آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی و استروژنی سلولی دارند (Ahn-Jarvis et al., 2019). حفظ ترکیبات فنولی و فلاونوئیدی در شرایط ایجاد پوشش بر سطح میوه، به تأخیر ایجاد شده در فرآیند پیری و کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و یا افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نسبت داده شده است (Petriccione et al., 2015). این پوشش‌ها با تغییر اتمسفر اطراف میوه در فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیاز که آنزیم کلیدی در بیوسنتز ترکیبات فنولی است (موجب تبدیل فنول به پلی‌فنول می‌شود) تأخیر ایجاد می‌کند. محلول کیتوسان با افزایش پتانسیل هضم‌کننده گونه‌های فعال اکسیژن، موجب افزایش فنول و آنتی‌اکسیدان می‌شود (Jongsri et al., 2016). کیتوسان می‌تواند روی مسیر فنیل پروپانویید عمل کند و موجب افزایش سطح ترکیبات فنولی در گیاهان شود و مسیر فنیل پروپانویید شامل سنتز انواع متابولیت‌های ثانویه گیاهی مانند لیگنین‌ها، فلاونوئیدها، فرارهای فنولی و تانن‌ها است (Vogt et al., 2018). مانع نیمه‌تراوای پوشش کیتوسان سرعت تنفس را محدود کرده، کاهش هدررفت آب و تأخیر در رسیدن و پیری که منجر به محتوای فنول کل بالاتر در طول ذخیره سازی شد (Shen & Yang, 2017).

اثر کیتوسان، اسانس و غوطه‌وری در کلرید کلسیم بر فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز

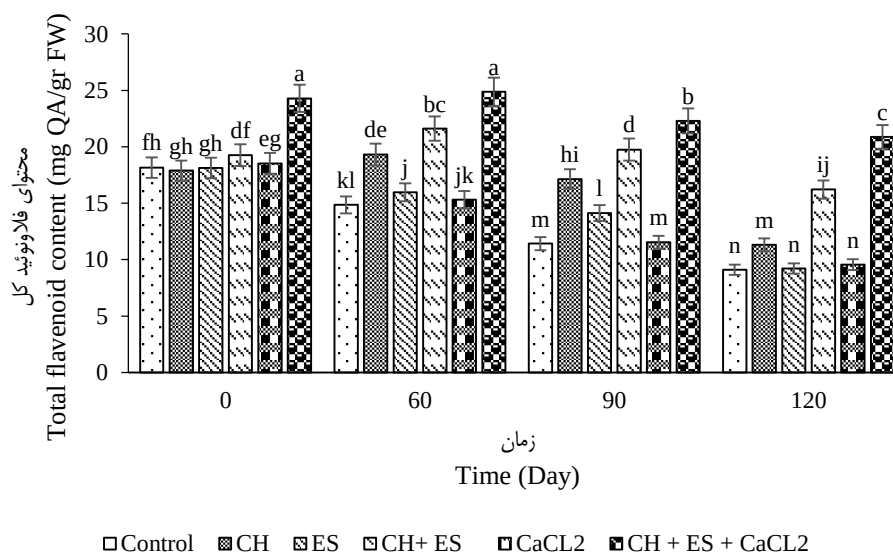
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که افزایش مدت زمان انبارمانی، میزان فعالیت این آنزیم را افزایش داد و تیمارهای مورد استفاده در مراحل قبل و پس از برداشت، موجب کاهش فعالیت آنزیم شدند. بر همین اساس، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز (۰/۰۱۲۴ واحد در گرم پروتئین) در تیمار شاهد در روز ۱۲۰ام بعد از انبارمانی به‌دست آمد و کم‌ترین میزان فعالیت (۰/۰۰۳۱ درصد) در تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم در زمان اول انبارمانی مشاهده شد (شکل ۱۱).



شکل ۹- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر محتوای فنول کل میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 10. Interaction effect of treatment and storage time on total phenol content of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)



شکل ۱۰- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر محتوای فلاونوئید کل میوه سیب

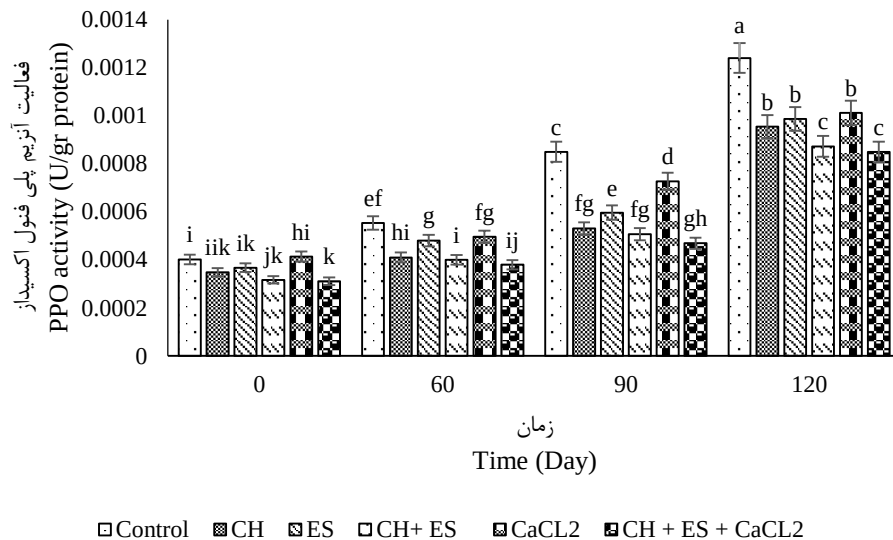
(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 10. Interaction effect of treatment and storage time on total flavonoid content of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

اکسیداز در ارتباط بوده و این آنزیم مهم‌ترین علت قهوه‌ای شدن بافت می‌باشد که غالباً در طی رسیدگی و پیری و یا در شرایط تنش زمانی که به غشاء آسیب وارد شود، فعال می‌شود. پوشش‌های کامپوزیتی اکسیداسیون ترکیبات فنولی را با به تاخیر می‌اندازد و فلزات و رادیکال‌های آزاد را از بین می‌برند و یک ساختار شبه پیوندی، که مانع

تحقیقات نشان داده که کاربرد پوشش‌های پس از برداشت، موجب کاهش فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز در میوه‌های پسته (Barzaman *et al.*, 2018)، انگور رقم فخری (Shokri *et al.*, 2023) و سیب رقم گلدن دلشیز (Asghari *et al.*, 2018) شد که با نتایج حاضر مطابقت داشت. قهوه‌ای شدن آنزیمی یکی از مشکلات میوه‌ها بعد از برداشت می‌باشد که با اکسیداسیون طبیعی مواد فنولی توسط آنزیم پلی فنول

از عبور مواد نفوذی مانند O_2 ، CO_2 و بخار آب شود را به وجود می آورند (Harnkarnsujarit et al., 2021).



شکل ۱۱- اثر متقابل تیمار و زمان انبارمانی بر فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز میوه سیب

(میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد غیر معنی‌دار هستند).

Fig. 11. Interaction effect of treatment and storage time on PPO enzyme activity of apple fruit (LSD, $p \leq 0.05$)

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافی ندارند.

میزان مشارکت نویسندگان

فاطمه عینی تاری: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، مدیریت داده‌ها، نوشتن-پیش‌نویس اصلی، **عبداله احتشام‌نیا:** مدیریت داده‌ها، مدیریت پروژه، نظارت، **حسن مومیوند:** مدیریت پروژه، نظارت. **محمد رضا راجی:** مدیریت پروژه، نظارت.

منابع تأمین مالی

این مقاله از رساله دکتری خانم فاطمه عینی تاری با حمایت مالی دانشگاه لرستان ارائه شده است که به این وسیله قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، کاربرد تیمار ترکیبی کیتوسان + اسانس + کلرید کلسیم، موجب افزایش ویتامین ث، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنول و فلاونوئید کل شد و سبب جلوگیری از کاهش وزن میوه در طی انبارمانی شد. علاوه بر این، کاربرد این تیمار موجب بهبود سایر ویژگی‌ها از جمله کاهش مالون دی آلدئید، اسیدیته، مواد جامد محلول، شاخص طعم و فعالیت آنزیم پلی‌فنول اکسیداز و افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون گردید. بنابراین می‌توان اظهار نمود که علاوه بر اینکه این ترکیبات به تنهایی موجب بهبود کیفیت میوه سیب شدند، کاربرد ترکیبی آن‌ها نیز به‌عنوان پوششی زیست تخریب‌پذیر و طبیعی، جهت افزایش عمر انبارمانی میوه سیب رقم گلدن دلشز قابل توصیه می‌باشد.

References

- Abhirami, P., Modupalli, N., & Natarajan, V. (2020). Novel postharvest intervention using rice bran wax edible coating for shelf-life enhancement of *Solanum lycopersicum* fruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(12), e14989. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14989>
- Ackah, S., Bi, Y., Xue, S., Yakubu, S., Han, Y., Zong, Y., Atuna, R.A., & Prusky, D. (2022). Post-harvest chitosan treatment suppresses oxidative stress by regulating reactive oxygen species metabolism in wounded apples. *Front Plant Science*, 13, 959762. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.959762>

3. Adiletta, G., Di Matteo, M., & Petriccione, M. (2021). Multifunctional role of chitosan edible coatings on antioxidant systems in fruit crops: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(5), 2633. <https://doi.org/10.3390/ijms22052633>
4. Adiletta, G., Pasquariello, M.S., Zampella, L., Mastrobuoni, F., Scortichini, M., & Petriccione, M. (2018). Chitosan coating: A postharvest treatment to delay oxidative stress in loquat fruits during cold storage. *Agronomy*, 8(4), 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy8040054>
5. Agricultural statistics. (2021). report of horticultural and greenhouse products. *publications of the deputy statistics of information and communication technology center*, 3, 328 p. (In Persian)
6. Ahmadvand, H., Tavafic, M., & Khalatbary, A.R. (2012). Hepatoprotective and hypolipidemic effects of *Satureja khuzestanica* essential oil in alloxan-induced type 1 diabetic rats. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 11, 1219-1226. PMID: 24250556
7. Barzaman, M., Mirdehghan, S.H., & Nazoori, F. (2018). Combined application of polyamines and chitosan on bioactive compound and browning of fresh pistachio. *Nutrition Science and Food Technology*, 15(81), 357-374. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-189-en.html>
8. Ahn-Jarvis, J.H., Parihar, A., & Doseff, A.I. (2019). Dietary flavonoids for immunoregulation and cancer: Food design for targeting disease. *Antioxidants*, 8(7), 202. <https://doi.org/10.3390/antiox8070202>
9. Alizadeh, A. (2013). Iranian endemic medicinal plants. Estahban Branch, *Islamic Azad University. Lecture notes*.
10. Asghari, M.R., Jami, R., & Farokhzad, A.R. (2017). Postharvest application of calcium carbonate nanoparticles on enzyme activity and some attributes quality in fresh cut apples varieties Golden Delicious. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 13(1), 155-166. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.45104>
11. Ashtiani, S.H.M., Rafiee, M., Morad, M.M., Khojastehpour, M., Khani, M.R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
12. Beiparysa, A., Ebson Topno, S., Joseph, A.V., Bahadur, V., Kerketta, A., & Kesharwani, L. (2023). Effect of calcium chloride (CaCl₂) and carbon dioxide (CO₂) on post harvest quality of apple fruit (*Malus domestica*) cv. Gala. *International Journal of Plant & Soil Science*, 35(18), 199-207. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2023/v35i183283>
13. Brand-Williams, W., Cuvelier, M.E., & Berset, C.L.W.T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
14. Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M.U., & Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 126438. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>
15. Chen, C., Hu, W., He, Y., Jiang, A., & Zhang, R. (2016). Effect of citric acid combined with UV-C on the quality of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 111, 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.08.005>
16. Cosme Silva, G.M., Silva, W.B., Medeiros, D.B., Salvador, A.R., Cordeiro, M.H.M., da Silva, N.M., Santana, D.B., & Mizobutsi, G.P. (2017). The chitosan affects severely the carbon metabolism in mango (*Mangifera indica* L. cv. Palmer) fruit during storage. *Food Chemistry*, 237, 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.123>
17. D Abrosca, B., Pacifico, S., Cefarelli, G., Mastellone, C., & Fiorentino, A. (2007). Limoncella apple, an Italian apple cultivar: phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity. *Journal of Food Chemistry*, 104, 1333-1337. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.073>
18. Dhakad, A., Sonkar, P., Bepari, A., & Kumar, U. (2020). Effect of pre-harvest application of plant growth regulators and calcium salts on biochemical and shelf life of acid lime (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(4), 1983-1985. www.phytojournal.com
19. Drogoudi, P.D., Michailidis, Z., & Pantelidis, G. (2008). Peel and flesh antioxidant content and harvest quality characteristics of seven apple cultivars. *Scientia Horticulturae*, 115, 149-153. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.08.010>
20. Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2021). Pre-harvest application of chitosan and postharvest *Aloe vera* gel coating enhances quality of table grape (*Vitis vinifera* L. cv. 'Yaghouti') during postharvest period. *Food Chemistry*, 347, 129012. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129012>
21. Ehtesham Nia, A., Taghipour, S., & Siahmansour, S. (2022). Putrescine with *Aloe vera* gel coating improves bioactive compounds and quality of table grape under cold storage. *Journal of Food Science and Technology*, 59(10), 4085-4096. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05461-w>
22. Ehtesham Nia, A.E., Taghipour, S., Tatari, A., & Ghasemi Arshad, Z. (2023). Effects of preharvest chitosan-*Myrtus communis* essential oil composite and postharvest nanocellulose on quality of strawberry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253, 126733. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126733>
23. FAO. (2021). <http://www.fao.org/fruitsvegetables-2021-11/02/2022>

24. Fenech, M., Amaya, I., Valpuesta, V., & Botella, M.A. (2019). Vitamin C content in fruits: Biosynthesis and regulation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 2006. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.02006>
25. Forsline, P.L., & Aldwinckle, H.S. (2003). Evaluation of *Malus sieversii* seedling populations for disease resistance and horticultural traits. In *XI Eucarpia Symposium on Fruit Breeding and Genetics*, 663, 529-534. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.663.92>
26. Gao, H., Zhang, Z.K., Chai, H.K., Cheng, N., Yang, Y., Wang, D.N., & Cao, W. (2016). Melatonin treatment delays postharvest senescence and regulates reactive oxygen species metabolism in peach fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 118, 103-110. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.006>
27. Gao, S.P., Hu, K.D., Hu, L.Y., Li, Y.H., Han, Y., Wang, H. L., & Zhang, H. (2013). Hydrogen sulfide delays postharvest senescence and plays an antioxidative role in fresh-cut kiwifruit. *HortScience*, 48(11), 1385-1392. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.11.1385>
28. Ghasemi Arshad, Z., Ehtsham Nia, A., Hizbavi, A., Momiwand, H., & Soleimani Aghdam, M. (2023). Pre-harvest application of chitosan with carvacrol on the biochemical, qualitative and shelf-life characteristics of strawberries. *Iranian Journal of Food Science and Industry Research*, 19(5), 617-633. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.77806.1192>
29. Gol, N.B., Vyas, P.B., & Ramana Rao, T.V. (2015). Evaluation of polysaccharide-based edible coatings for their ability to preserve the postharvest quality of Indian blackberry (*Syzygium cumini* L.). *International Journal of Fruit Science*, 15(2), 198-222. <https://doi.org/10.1080/15538362.2015.1017425>
30. Harnkarnsujarit, N., Wongphan, P., Chatkitanan, T., Laorenza, Y., & Srisa, A. (2021). Bioplastic for sustainable food packaging. In *Sustainable food processing and engineering challenges* (pp. 203-277). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822714-5.00007-3>
31. He, Y., Bose, S.K., Wang, W., Jia, X., Lu, H., & Yin, H. (2021). Pre-harvest treatment of chitosan oligosaccharides improved strawberry fruit quality. *International Journal of Molecular Science*, 19(8), 2194. <https://doi.org/10.3390/ijms19082194>
32. Hong, K., Gong, D., Zhang, L., Hu, H., Jia, Z., Gu, H., & Song, K. (2016). Transcriptome characterization and expression profiles of the related defense genes in postharvest mango fruit against *Colletotrichum gloeosporioides*. *Gene*, 576(1), 275-283. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2015.10.041>
33. Huan, C., Han, S., Jiang, L., An, X., Yu, M., Xu, Y., & Yu, Z. (2017). Postharvest hot air and hot water treatments affect the antioxidant system in peach fruit during refrigerated storage. *Postharvest Biology and Technology*, 126, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.11.018>
34. Hussain, P.R., Rather, S.A., Suradkar, P.P., & Ayob, O. (2019). Gamma irradiation treatment of quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill): effect on post-harvest retention of storage quality and inhibition of fungal decay. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 12(1), 118-131. <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588>
35. Iraqi, H., Rastgar, S., Tajuddin, B., Nikkhah M., & Askari Sarcheshmeh, M. (2021). Preservation of antioxidant activity and reduction of microbial load of Aryl Pomegranate cultivar Meles Saveh using a film to preserve antioxidant activity containing chitosan and carvacrol. *Journal of Nutrition Science and Food Industry of Iran*, 16(2), 130-121. (In Persian). <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588>
36. Jain, V., Chawla, S., Choudhary, P., & Jain, S. (2019). Post-harvest calcium chloride treatments influence fruit firmness, cell wall components and cell wall hydrolyzing enzymes of Ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.) fruits during storage. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4535-4542. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03934-z>
37. Jan, I., Rab, A., & Sajid, M. (2012). Storage performance of apple cultivars harvested at different stages of maturity. *Journal of Anim. Plant Science*, 22, 438-447. <https://doi.org/10.1080/16878507.2019.1618588>
38. Jiang, Y.M., & Fu, J.R. (1998). Inhibition of polyphenol oxidase and the browning control of litchi fruit by glutathione and citric acid. *Food Chemistry*, 62, 49-52. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00144-1](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00144-1)
39. Jongsri, P., Wangsomboondee, T., Rojsitthisak, P., & Seraypheap, K. (2016). Effect of molecular weights of chitosan coating on postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruit. *Lwt*, 73, 28-36. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.05.038>
40. Kerch, G. (2015). Chitosan films and coatings prevent losses of fresh fruit nutritional quality: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 46(2), 159-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.10.010>
41. Khaliq, G., Abbas, H.T., Ali, I., & Waseem, M. (2019). Aloe vera gel enriched with garlic essential oil effectively controls anthracnose disease and maintains postharvest quality of banana fruit during storage. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 60(5), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00159-z>
42. Khan, A.S., Singh, Z., Abbasi, N.A., & Swinny, E.E. (2008). Pre- or post-harvest application of putrescine and low temperature storage affect fruit ripening and quality of Angelino plum. *Science of food and Agriculture*, 88, 1686-1695. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3265>

43. Li, D., Zhang, X., Qu, H., Li, L., Mao, B., Xu, Y., & Luo, Z. (2020). Delaying the biosynthesis of aromatic secondary metabolites in postharvest strawberry fruit exposed to elevated CO₂ atmosphere. *Food Chemistry*, 306, 125611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125611>
44. Lister, C.E., Lancaster, J.E., & Sutton, K.H. (1994). Developmental changes in the concentration and composition of flavonoids in skin of a red and a green apple cultivar. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 64, 155-161. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740640204>
45. Liu, Z., Du, M., Liu, H., Zhang, K., Xu, X., Liu, K., & Liu, Q. (2021). Chitosan films incorporating litchi peel extract and titanium dioxide nanoparticles and their application as coatings on watercored apples. *Progress in Organic Coatings*, 151, 106103. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.106103>
46. Lu, H., Li, L., Limwachiranon, J., Xie, J., & Luo, Z. (2016). Effect of UV-C on ripening of tomato fruits in response to wound. *Scientia Horticulturae*, 213, 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.10.017>
47. Mahajan, P.V., Caleb, O.J., Singh, Z., Watkins, C.B., & Geyer, M. (2014). Postharvest treatments of fresh produce. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 372(2017), 20130309. <https://doi.org/10.1098/rsta.2013.0309>
48. Michailidis, M., Karagiannis, E., Tanou, G., Samiotaki, M., Tsiolas, G., Sarrou, E., Stamatakis, G., Ganopoulos, I., Martens, S., Argiriou, A., & Molassiotis, A. (2020). Novel insights into the calcium action in cherry fruit development revealed by highthroughput mapping. *Plant Molecular Biology*, 104, 597-614. <https://doi.org/10.1007/s11103-020-01063-2>
49. Mighani, H., Boroumand, N., & Moghbeli, A. (2016). The effect of chitosan and calcium chloride on post-harvest quality and antioxidant compounds of strawberry fruit. *Food Science and Industry*, 76-15. (In Persian)
50. Miraei Ashtiani, S.H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., & Martynenko, A. (2022). Cold plasma pretreatment improves the quality and nutritional value of ultrasound-assisted convective drying: The case of goldenberry. *Drying Technology*, 1-19. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2050255>
51. Misir, J., Brishti, F.H., & Hoque, M.M. (2014). Aloe vera gel as a novel edible coating for fresh fruits: A Review. *American Journal of Food Science and Technology*, 2(3), 93-97. <https://doi.org/10.12691/ajfst-2-3-3>
52. Modesti, M., Zampella, L., & Petriccione, M. (2019). Chitosan mono-and bilayer edible coatings for preserving postharvest quality of fresh fruit. *Polymers for Agri-Food Applications*, 465-486. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-1946-1-23>
53. Moussa, H., El Omari, B., Chefchaou, H., Tanghort, M., Mzabi, A., Chami, N., & Remmal, A. (2021). Action of thymol, carvacrol and eugenol on *Penicillium* and *Geotrichum* isolates resistant to commercial fungicides and causing postharvest citrus decay. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 43(1), 26-34. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1767692>
54. Nair, M.S., Tomar, M., Punia, S., Kukula-Koch, W., & Kumar, M. (2020). Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 164, 304-320. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.083>
55. Palmer, J.W. (2006). Apples and kiwifruit, can we learn from each other?. In *VI International Symposium on Kiwifruit*, 753, 359-368. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.753.45>
56. Pavun, L., MarKovic, S., Stankov, M., Dikanovic, D., & Durdevic, P. (2018). Determination of flavonoids and total polyphenol contents in commercial apple juices. *Czech Journal of Food Sciences*, 36(3), 233-238. <https://doi.org/10.17221/211/2017-CJFS>
57. Pessoa, C.C., Marques, A.C., Coelho, A.R.F., Daccak, D., Luís, I.C., Ramalho, J.C., Campos, P.S., Pais, I.P., Semedo, J.N., & Silva, M.M. (2022). Assessment of calcium content in pear fruits under storage after CaCl₂ applications during pre- and post-harvest phases. *Biological Life Science Forum*, 16, 9. <https://doi.org/10.3390/IECHo2022-12481>
58. Petriccione, M., De Sanctis, F., Pasquariello, M.S., Mastrobuni, F., Rega, P., Scortichini, M., & Mencarelli, F. (2015). The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life. *Food and Bioprocess Technology*, 8, 394-408. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1411-x>
59. Pizato, S., Sebastian Vega-Herrera, S., Costa Chevalier, R., Arevalo Pinedo, R., & Renzo Cortez-Vega, W. (2022). Impact of chitosan coatings enriched with clove essential oil on quality of minimally processed strawberries. *Food/Feed Science and Technology Journal*, 65, e22210278. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-202210278>
60. Rahmati Junidabad, M., Alizadeh Behbahani, B., & Naushad, M. (2022). Chemical characteristics and investigation of inhibitory and lethal activity of the growth of fungi that cause spoilage and mold after harvesting apple fruit using bitter myrrh essential oil. *Iranian Journal of Food Science and Industry*, 31(19), 231-223. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.131.223>
61. Rastegar, S., & Atrash, S. (2021). Effect of alginate coating incorporated with Spirulina, Aloe vera and guar gum on physicochemical, respiration rate and color changes of mango fruits during cold storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 265-275. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00635-6>

62. Rezvanifar, M.A., Farshid, A.A., Sadrkhanlou, R.A., Ahmadi, A., Rezvanfar, M.A., & Salehnia, A., Abdollahi, M. (2010). Benefit of *Satureja khuzestanica* in subchronically rat model of cyclophosphamide-induced hemorrhagic cystitis. *Exp Molecular Pathology*, 62, 323–330. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.05.005>
63. Rocculi, P., Romani, S., & Dalla Rosa, M. (2004). Evaluation of physico-chemical parameters of minimally processed apples packed in non-conventional modified atmosphere. *Food Research International*, 37(4), 329–335. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.01.006>
64. Rokayya, S., Khojah, E., Elhakem, A., Benajiba, N., Chavali, M., Vivek, K., & Helal, M. (2021). Investigating the nano-films effect on physical, mechanical properties, chemical changes, and microbial load contamination of white button mushrooms during storage. *Coatings*, 11(1), 44. <https://doi.org/10.3390/coatings11010044>
65. Sadeghi-Nejad, B., Saki, J., Khademvatan, S., & Nanaei, S. (2011). In vitro antileishmanial activity of the medicinal plant *Satureja khuzestanica* Jamzad. *Journal Medicinal Plants Research*, 5, 5912–5915. <http://www.academicjournals.org/JMPR ISSN 1996-0875>
66. Saei-Dehkordi, S., Fallah, A.A., HeidariNasirabadi, M., & Moradi, M. (2012). Chemical composition, antioxidative capacity and interactive antimicrobial potency of *Satureja khuzestanica* Jamzad essential oil and antimicrobial agents against selected food-related microorganisms. *Internatinal Journal Food Scieance Technology*, 47, 1579–1585. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03006.x>
67. Salvia-Trujillo, L., Rojas-Grau, M.A., Soliva-Fortuny, R., & Martín-Belloso, O. (2015). Use of antimicrobial nanoemulsions as edible coatings: Impact on safety and quality attributes of fresh-cut Fuji apples. *Postharvest Biology and Technology*, 105, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.009>
68. Sharma, R., Kamble, S.S., Gunasekaran, A., Kumar, V., & Kumar, A. (2020). A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. *Computers & Operations Research*, 119, 104926. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104926>
69. Shen, Y., & Yang, H. (2017). Effect of preharvest chitosan-g-salicylic acid treatment on postharvest table grape quality, shelf life, and resistance to *Botrytis cinerea*-induced spoilage. *Scientia Horticulturae*, 224, 367–373. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.046>
70. Shokouhian, A.A., Einizadeh, S., & Dashti, M. (2024). The effect of edible coatings on the quality and storage life of Cherry cv. Lambert. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 20(2), 237–247. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.81146.1236>
71. Shokri, M., Rahmati-Joneidabad, M., Heidari, M., Rasouli, M., & Zare, A. (2023). The effect of chitosan edible coating on physicochemical properties and enzymatic activity of grape fruit cultivar Fakhri in cold storage conditions. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 19(1), 95–106. (In Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22067/ifstrj.2022.75449.1150>
72. Sogvar, O.B., Saba, M.K., & Emamifar, A. (2016). Aloe vera and ascorbic acid coatings maintain postharvest quality and reduce microbial load of strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 114, 29–35. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.11.019>
73. Song, H., Yuan, W., Jin, P., Wang, W., Wang, X., Yang, L., & Zhang, Y. (2016). Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant capacity of loquat fruit during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, 119, 41–48. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.015>
74. Steelheart, C., Alegre, M.L., Bahima, J.V., Senn, M.E., Simontacchi, M., Bartoli, C.G., & Grozeff, G.E.G. (2019). Nitric oxide improves the effect of 1-methylcyclopropene extending the tomato (*Lycopersicum esculentum* L.) fruit postharvest life. *Scientia Horticulturae*, 255, 193–201. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.035>
75. Sun, X., Baldwin, E., & Bai, J. (2019). Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables—A review. *Food Control*, 95, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.07.044>
76. Szlachta, M., Neitola, R., Peraniemi, S., & Vepsäläinen, J. (2020). Effective separation of uranium from mine process effluents using chitosan as a recyclable natural adsorbent. *Sep. Purif. Technology*, 253, 117493. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117493>
77. Teuber, R., & Jensen, J.D. (2020). Definitions, measurement, and drivers of food loss and waste. In *Food Industry Wastes* (pp. 3–18). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817121-9.00001-2>
78. Vargas, M., Albors, A., Chiralt, A., & Gonzalez-Martínez, C. (2006). Quality of cold-stored strawberries as affected by chitosan-oleic acid edible coatings. *Postharvest Biology and Technology*, 41(2), 164–171. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2006.03.016>
79. Veberic, R. (2016). The impact of production technology on plant phenolics. *Horticulturae*, 2(3), 8. <https://doi.org/10.3390/horticulturae2030008>
80. Vieira, J.M., Flores-Lopez, M.L., de Rodríguez, D.J., Sousa, M.C., Vicente, A.A., & Martins, J.T. (2016). Effect of chitosan–Aloe vera coating on postharvest quality of blueberry (*Vaccinium corymbosum*) fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 116, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.01.011>

81. Vogt, S., Kelkenberg, M., Noll, T., Steinhoff, B., Schonherr, H., Merzendorfer, H., & Noll, G. (2018). Rapid determination of binding parameters of chitin binding domains using chitin-coated quartz crystal microbalance sensor chips. *Analyst*, 143(21), 5255-5263. <https://doi.org/10.1039/C8AN01453A>
82. Wang, F., Zhang, X., Yang, Q., & Zhao, Q. (2019). Exogenous melatonin delays postharvest fruit senescence and maintains the quality of sweet cherries. *Food Chemistry*, 301, 125311. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125311>
83. Wu, X., Yan, L., Hu, X., & Lian, M. (2023). Effect of foliar calcium fertilization on fruit quality, cell wall enzyme activity and expression of key genes in Chinese cherry. *International Journal of Fruit Science*, 23(1), 200–216. <https://doi.org/10.1080/15538362.2023.2265656>
84. Xing, Y., Yang, H., Guo, X., Bi, X., Liu, X., Xu, Q., & Zheng, Y.I. (2020). Effect of chitosan/Nano-TiO₂ composite coatings on the postharvest quality and physicochemical characteristics of mango fruits. *Scientia Horticulturae*, 263, 109135. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109135>
85. Xing, Y., Yang, S., Xu, Q., Xu, L., Zhu, D., Li, X., & Bi, X. (2021). Effect of chitosan/nano-TiO₂ composite coating on the postharvest quality of blueberry fruit. *Coatings*, 11(5), 512. <https://doi.org/10.3390/coatings11050512>
86. Yang, C., Chen, T., Shen, B., Sun, S., Song, H., Chen, D., & Xi, W. (2019). Citric acid treatment reduces decay and maintains the postharvest quality of peach (*Prunus persica* L.) fruit. *Food Science & Nutrition*, 7(11), 3635-3643. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1219>
87. Zarrin, M., Amirrajab, N., & Sadeghi-Nejad, B. (2010). In vitro antifungal activity of *Satureja khuzestanica*. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 26, 880-882. URL: <http://jjm.ajums.ac.ir>.
88. Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 355-365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009>
89. Zhang, W., Shu, C., Chen, Q., Cao, J., & Jiang, W. (2019). The multi-layer film system improved the release and retention properties of cinnamon essential oil and its application as coating in inhibition to *Penicillium expansion* of apple fruit. *Food Chemistry*, 299, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125109>
90. Zhang, X., Qu, H., Li, L., Mao, B., Xu, Y., & Luo, Z. (2020). Delaying the biosynthesis of aromatic secondary metabolites in postharvest strawberry fruit exposed to elevated CO₂ atmosphere. *Food Chemistry*, 306, 125611. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125611>
91. Zhao, L., Wang, Y., Qiu, D., & Liao, X. (2014). Effect of ultrafiltration combined with high-pressure processing on safety and quality features of fresh apple juice. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 3246-3258. <http://doi.org/10.1007/s11947-014-1307-9>
92. Zheng, X., & Tian, S. (2006). Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. *Food Chemistry*, 96(4), 519-523. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.049>
93. Zhi, H.H., Liu, Q.Q., Dong, Y., Liu, M.P., & Zong, W. (2017). Effect of calcium dissolved in slightly acidic electrolyzed water on antioxidant system, calcium distribution, and cell wall metabolism of peach in relation to fruit browning. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 92(6), 621–629. <https://doi.org/10.1080/14620316.2017.1309994>

Investigating the Physicochemical and Antimicrobial Properties of Gelatin-carboxymethyl Cellulose Edible Film Containing *Dorema aucheri* Extract

E. Ahmadi¹, S. Panahi², A. Karimzadeh², H. Hassanzadeh³, M. Hosseini^{4*}

1, 2, 3 and 4- Ph.D., Bachelor Student, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Food Science and Hygiene, Faculty of Veterinary Science, Ilam University, Ilam, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: m.hosseini@ilam.ac.ir)

Received: 25.09.2024
Revised: 22.10.2024
Accepted: 09.11.2024
Available Online: 16.02.2025

How to cite this article:

Ahmadi, E., Panahi, S., Karimzadeh, A., Hassanzadeh, H., & Hosseini, M. (2025). Investigating the physicochemical and antimicrobial properties of gelatin-carboxymethyl cellulose edible film containing *Dorema aucheri* extract. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 103-117. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89620.1371>

Introduction

In recent years, with increasing concerns about food safety and environmental issues related to waste generated by non-degradable plastic packaging, study on novel biodegradable packaging materials has attracted the attention of researchers. Active packaging based on biopolymers, which offers a sustainable and environmentally friendly way to improve food shelf life, considered one of such packaging technologies. Edible coatings and films, are a thin layer of edible compounds and biopolymers applied on the surface of food products that play important role to control physicochemical, microbial and physiological changes in food. Gelatin is obtained from partial degradation of collagen. Due to its availability, relatively cheap price, biodegradability and good properties such as its excellent ability to form a film and reduce the transfer of oxygen, oil and moisture, it is highly regarded as an edible film and has antimicrobial and antioxidant activity. In general, the gelatin film showed high water absorption due to the presence of several hydrophilic groups, which may weaken the mechanical properties and water vapor transport of the film. For this reason, the combination of gelatin with other biopolymers such as chitosan, starch and gum is a suitable method to eliminate the drawbacks of gelatin-based films.

Materials and Methods

To prepare the composite film of the four formulations studied in this research, gelatin powder (3% by weight/volume of water) and glycerol (30% by weight/volume of gelatin powder) were added to deionized water and magnetically stirred for 10 minutes at 2400 RPM. To prepare an aqueous suspension of carboxymethyl cellulose, powder (CMC 2% by weight/volume of water) and glycerol (30% by weight/weight of carboxymethyl cellulose powder) were mixed with deionized water. This suspension was heated to boiling temperature and kept at this temperature for 15 minutes and then kept for 30 minutes at 90°C water bath and stirred. The G/CMC coating was also prepared by dissolving 40 grams of gelatin, 10 grams of carboxymethyl cellulose and glycerol (30% by weight/weight of polymer materials) in one liter of water. The mixture was stirred for 1 hour at 60 degrees Celsius. The mixture was then dried at 25-35 degrees Celsius. Different concentrations of the extract (0, 0.5, 0.75, 1.5 and 3.25%) were added to the mixture and stirred for 2 minutes. In the next step, the mixture was added to a plastic Petri dish with a diameter of 15 cm and placed under a vacuum hood for 1 hour. Then it was transferred to a fan oven and kept for 20 hours. In the final stage, the dried films were placed in a desiccator at room temperature for testing. The effect of different concentrations of *Dorema aucheri* extract for the production of edible films on the physicochemical, mechanical, antioxidant and antimicrobial properties was analyzed with one-way analysis of variance (ANOVA) and comparing the average data was performed based on Duncan's multi-range test using SPSS26 software at probability level of 0.05.



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.89620.1371>

Results and Discussion

The highest tensile strength and elongation at break point and Young's modulus in the treatment was 1.5%. In all concentrations, solubility and permeability were significant ($p < 0.05$). The lowest solubility was observed in the control. The highest permeability and turbidity were observed in the treatment of 1.5% *Dorema aucheri* extract. In all edible film treatments, the antioxidant property using DPPH radicals was significant ($p < 0.05$). The results of the evaluation of the antimicrobial activity of the film with the help of diffusion discs showed that the maximum diameter of the inhibition halo in the concentration of 3.25% was related to *Escherichia coli* with an average halo diameter of 5.33 mm. Average halo diameter for *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* was reported as 4 mm and 3.99 mm, respectively. The overall results showed that the addition of *Dorema aucheri* extract at a concentration of 1.5% produced films that, in addition to inhibiting the growth and proliferation of bacteria, have strength and can be used for perishable food.

Keywords: Carboxymethyl cellulose, *Dorema aucheri*, Film, Gelatin

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۱۷-۱۰۳

بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و ضد میکروبی فیلم خوراکی ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز حاوی عصاره کندل کوهی (*Dorema aucheri*)

الهام احمدی^۱ - سارا پناهی^۲ - امیرحسین کریم زاده^۲ - حامد حسن زاده^۳ - محمدیار حسینی^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۹

چکیده

فیلم‌های خوراکی به عنوان مواد جدید تجزیه پذیر در بسته بندی مواد غذایی، نقش مهمی در رفع نگرانی‌های مصرف کنندگان در مورد آلودگی محیط زیست و آلودگی مواد غذایی دارند. با توجه به تمایل استفاده زیاد فیلم‌های بسته بندی زیست تخریب پذیر و افزایش قابلیت ضد میکروبی آنها در این مطالعه، فیلم فعال بسته بندی زیست تخریب پذیر بر پایه ژلاتین و کربوکسی متیل سلولز در غلظت‌های مختلف (غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱/۵، ۳/۲۵ درصد) حاوی عصاره کندل کوهی تهیه شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فیلم‌های فعال تولیدی مانند (حلالیت، نفوذپذیری به بخار، ضخامت و کدورت)، آزمایشات مکانیکی (ازدیاد طول تا نقطه شکست، مقاومت به کشش و مدول یانگ)، فعالیت آنتی اکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی در نظر گرفته شد. اثر غلظت‌های ۰، ۰/۵، ۱/۵، ۳/۲۵ درصد) عصاره کندل برای تولید فیلم‌های خوراکی روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، آنتی اکسیدانی و ضد میکروبی با طرح آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS²⁶ در سطح احتمال (۰/۰۵) انجام گرفت. بالاترین میزان استحکام کششی و ازدیاد طول در نقطه شکست و مدول یانگ در تیمار ۰/۵ درصد بود. در تمامی غلظت‌ها حلالیت و نفوذپذیری معنی دار بود ($p < 0.05$). و کمترین میزان حلالیت و ضخامت در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین نفوذپذیری و کدورت در تیمار (۱/۵٪) عصاره کندل مشاهده شد. در تمامی تیمارهای فیلم خوراکی خاصیت آنتی اکسیدانی با استفاده از رادیکال‌های DPPH معنی دار بود ($p < 0.05$). نتایج ارزیابی فعالیت ضد میکروبی فیلم با کمک روش دیسک‌های انتشاری نشان داد که بیشترین قطر هاله بازدارندگی در غلظت (۳/۲۵٪) مربوط به *Escherichia coli* متوسط قطر هاله ۵/۳۳ mm بود. متوسط قطر هاله برای *Pseudomonas aeruginosa* و *Staphylococcus aureus* به ترتیب ۴ mm و ۳/۹۹ mm گزارش شد. نتایج کلی نشان داد که افزودن عصاره کندل در غلظت (۱/۵٪) باعث تولید فیلم‌هایی گردید که علاوه بر مهاررشد و تکثیر باکتری‌ها دارای خواص مکانیکی مطلوب موجب بهبود خصوصیات آنتی اکسیدانی فیلم ترکیبی شد و همچنین می‌تواند به عنوان یک پوشش مناسب برای محافظت مواد غذایی استفاده گردند.

واژه‌های کلیدی: ژلاتین، فیلم، کربوکسی متیل سلولز، کندل کوهی

مقدمه

بسته بندی مدرن زیست تخریب پذیر توجه محققان را به خود جلب کرده است.

یکی از این فناوری‌های مدرن بسته بندی، بسته بندی فعال مبتنی بر پلیمرهای زیستی است، که راهی پایدار و سازگار با محیط زیست برای بهبود ماندگاری مواد غذایی ارائه می‌دهد (Roy & Rhim, 2021)

در سال‌های اخیر، با افزایش نگرانی‌ها در مورد ایمنی مواد غذایی و مسائل زیست محیطی مربوط به زباله‌های ایجاد شده توسط بسته بندی‌های پلاستیکی تجزیه ناپذیر، تحقیقات بر روی مواد

۱، ۲، ۳ - به ترتیب دکتری، دانشجوی کارشناسی، استادیار و دانشیار علوم و صنایع غذایی، گروه بهداشت و صنایع غذایی، دانشکده پیرامپزشکی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

(*) - نویسنده مسئول: (Email: m.hosseini@ilam.ac.ir)

منجر به نفوذ و نشت آنها شوند. نشت گسترده مولکول‌ها و یون‌های حیاتی از باکتری، منجر به کشتن این میکروارگانیسم‌ها می‌شود. علاوه بر این، ترکیبات اصلی استخراج شده از گیاهان دارای ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد انگلی مطلوبی هستند. مطالعات مختلف اهمیت گیاهان دارویی را برای حذف حشرات، انگل‌های گیاهی و انسانی نشان داده است. مکانیسم‌های اصلی سیستم تنفسی و جذب پوست را مختل می‌کنند که در نتیجه منجر به مرگ حشرات و انگل‌ها می‌شود (Gulluce et al., 2007).

جنس *Dorema* متعلق به خانواده Apiaceae است که از شش گونه در فلور ایران تشکیل شده است. *Dorema aucheri* گونه‌ای بومی چند ساله ایران است که در کوه‌های مرتفع می‌روید. این گیاه دارویی در مناطق تحت پوشش استان کهگیلویه و بویراحمد و فارس در جنوب غربی ایران به نام «بیلهار» شناخته می‌شود. اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی دارد (Eftekhari et al., 2019).

تکنولوژی فیلم‌های خوراکی علاوه بر داشتن فوایدی مانند قابلیت خوردن، ساختمان ظاهری زیبا، سازگاری با محیط، غیرسمی و ارزان بودن، مواد غذایی را از آسیب‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی حفظ می‌کند. با توجه به تقاضای مصرف‌کنندگان جهت استفاده از مواد خوراکی با کیفیت بالا و نگرانی آنها به دلیل مشکلات ناشی از مصرف نگهدارنده‌های مصنوعی، ایده استفاده از فیلم‌ها و پوشش‌های زیست کافت با خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی بالا به عنوان جایگزینی مناسب قوت گرفته است (Lui et al., 2012). در سال‌های اخیر اثر دی آلدئید کربوکسی متیل سلولز بعنوان عامل پیوند عرضی در ساختار فیلم پروتئینی ژلاتین و در استفاده از کربوکسی متیل سلولز در پیوند با ژلاتین و کلاژن در صنعت پزشکی مورد بررسی قرار گرفته است (Leonardis et al., 2010)، با این حال استفاده از کربوکسی متیل سلولز در ترکیب با ژلاتین بعنوان پوشش خوراکی کمتر مورد پژوهش بوده است هدف از این پژوهش بررسی تأثیر عصاره کندل بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، مکانیکی، آنتی‌اکسیدانی و فعالیت ضد میکروبی فیلم خوراکی ژلاتین/ کربوکسی متیل سلولز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

ژلاتین، کربوکسی متیل سلولز و مواد شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق ساخت شرکت مرک می‌باشند. کندل کوهی (*Dorema aucheri*) از دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام تهیه شد.

پوشش‌ها و فیلم‌های خوراکی، لایه‌های نازکی از ترکیبات و بیوپلیمرهای خوراکی می‌باشند که در سطح مواد غذایی یا در بین ترکیبات آنها قرار می‌گیرند و استفاده از آنها یکی از روش‌های مهم جهت کنترل تغییرات فیزیکوشیمیایی، میکروبی و فیزیولوژیکی در مواد غذایی محسوب می‌شوند (Dicka et al., 2015). ژلاتین^۱ (G) از تخریب جزئی کلاژن به دست می‌آید. به دلیل در دسترس بودن، قیمت نسبتاً ارزان، زیست تخریب‌پذیری و خواص خوب به دلیل توانایی عالی در تشکیل فیلم و کاهش انتقال اکسیژن، روغن و رطوبت، به عنوان یک فیلم خوراکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است و دارای فعالیت ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی است (Cao et al., 2007).

به طور کلی، فیلم ژلاتین به دلیل وجود چندین گروه آب‌دوست، جذب آب بالایی را نشان داد که ممکن است خواص مکانیکی و انتقال بخار آب فیلم را تضعیف کند. به همین دلیل، ترکیب ژلاتین با پلیمرهای زیستی دیگر مانند کیتوزان، نشاسته و صمغ، روشی مناسب برای از بین بردن کاستی‌های فیلم‌های مبتنی بر ژلاتین است (Abdollahi & Raoufi, 2022; Tongdeesoontorn & Rawdkuen, 2019). در پژوهش‌های مربوط به ساخت و ارزیابی فیلم‌های خوراکی در سال‌های اخیر استفاده از انواع اسانس مانند (اسانس آویشن، میخک، پونه کوهی، دارچین، زنجبیل و ریحان) برای محافظت میکروبی، به تعویق انداختن فساد مواد غذایی (شیمیایی و میکروبی) و کاهش ضایعات غذایی جایگاه قابل توجهی به دست آورده‌اند (Prakash et al., 2014; Taheri et al., 2015; Tongdeesoontorn et al., 2016). کربوکسی متیل سلولز^۲ (CMC) در صنعت بسته‌بندی به عنوان افزایش‌دهنده ویسکوزیته و عامل پیوند استفاده می‌شود. ویژگی CMC برای ایجاد فیلم در صنایع غذایی به دلیل شفافیت املاح، اتصال به آب و خواص ویسکوزیته آن است (Tongdeesoontorn et al., 2011). فیلم‌های آماده شده با این پلیمر معمولاً سد خوبی در برابر گازهایی با خواص مکانیکی متوسط تا خوب هستند اما در برابر رطوبت آسیب‌پذیر هستند (Nazmi et al., 2020; Biswal & Singh, 2004). با وجود در دسترس بودن و هزینه پایین CMC، مشکل اصلی پوشش‌های CMC، مهار نسبتاً ضعیف آن در برابر بخار آب است (Yoo & Krochta, 2011). برخی از مواد کاربردی همراه با اجزای اصلی فیلم‌های خوراکی می‌توانند برای بهبود کارایی فیلم برای حفظ محصولات غذایی استفاده شوند. امروزه توجه اصلی بر روی ترکیبات طبیعی ضد میکروبی متمرکز شده است که رشد میکروب‌ها را متوقف کرده و کیفیت محصولات غذایی را بهبود می‌بخشد. ترکیبات آب‌دوست استخراج شده از گیاهان، آنها را قادر می‌سازد تا به غشای لیپیدی باکتری‌ها و قارچ‌ها نفوذ کرده و با برهم زدن ساختار لیپیدی سلول،

۲- Carboxymethyl cellulose

۱- Gelatin

استخراج عصاره آبی

استخراج عصاره از کندل کوهی به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سلسیوس انجام شد. سپس عصاره جمع‌آوری شد و در دمای ۴ درجه سلسیوس در شیشه تیره نگه‌داشته شد. غلظت‌های (۰، ۰/۵، ۰/۷۵، ۱/۵ و ۳/۲۵ درصد) در فیلم‌ها استفاده می‌شود.

تهیه فیلم ترکیبی

جهت تهیه محلول ژلاتین، پودر ژلاتین (۳ درصد وزنی/حجمی آب) و گلیسرول (۳۰ درصد وزنی/وزنی پودر ژلاتین) به آب دیونیزه اضافه و با هم زن مغناطیسی به مدت ۱۰ دقیقه و با دور ۲۴۰۰ RPM هم زده شد (NurHanani et al., 2012). برای تهیه‌ی سوسپانسیون آبی کربوکسی متیل سلولز، ۲ درصد نیز پودر CMC (۲ درصد وزنی / حجمی آب) و گلیسرول (۳۰ درصد وزنی/وزنی پودر کربوکسی متیل سلولز) با آب دیونیزه مخلوط شد. این سوسپانسیون برای مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب ۹۰ درجه سلسیوس نگهداری و هم‌زده شد (Oluwaseun et al., 2013). تهیه پوشش ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز نیز با مخلوط کردن ۴۰ گرم ژلاتین، ۱۰ گرم کربوکسی متیل سلولز و ۸۰٪ توئین ۸۰ (۳۰ درصد وزنی/وزنی مواد پلیمری) در یک لیتر آب تهیه شد و به مدت ۴ دقیقه هم زده شد. سپس مخلوط در دمای ۳۵-۲۵ درجه سلسیوس خنک شد.

سپس عصاره با غلظت‌های مشخص شده به مخلوط اضافه و با مدت ۲ دقیقه هم‌زده شد. در مرحله بعدی ۱۰ میلی‌لیتر به پتری‌دیش پلاستیکی با قطر ۱۵ سانتی‌متر اضافه و به مدت ۱ ساعت زیر هود تحت خلا قرار داده شد. سپس به آن فن‌دار انتقال داده شد و به مدت ۲۰ ساعت نگه‌داشته شد. در مرحله پایانی فیلم‌های خشک در دسیکاتور در دمای محیط جهت انجام آزمایش گذاشته شدند.

آزمون‌ها

اندازه‌گیری ضخامت فیلم‌ها

تعیین ضخامت فیلم‌ها برای آزمایشات مکانیکی، نفوذپذیری به بخار آب و خواص نوری امری ضروری می‌باشد. ضخامت فیلم‌های تولیدی توسط میکرومتر (Mitutoyo ژاپن) با دقت نزدیک به ۰/۰۰۱ میلی‌متر و در ۱۰ نقطه مختلف از هر نمونه اندازه‌گیری شد و در نهایت مقدار میانگین ضخامت محاسبه شده و در تعیین قدرت کششی، نفوذپذیری به بخار آب و کدورت استفاده گردید (Khanzadi et al., 2015).

حلالیت

نمونه‌های فیلم (۲ سانتی‌متر × ۲ سانتی‌متر) به مدت یک شب در دمای ۱۰۵ °C توسط آون (memmert آلمان) خشک و توزین (W_1) شدند. سپس نمونه‌ها در ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵°C غوطه‌ور شدند. نمونه‌های فیلم بازیابی شد، در دمای ۱۰۵ °C برای محاسبه وزن نهایی ماده خشک (W_2) خشک شدند حلالیت در آب نمونه‌های فیلم با توجه به رابطه زیر تعیین شد: که در آن W_2 وزن خشک اولیه و W_2 وزن خشک نهایی می‌باشند (Alizadeh et al., 2022).

$$\text{حلالیت} = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100$$

نفوذپذیری نسبت به بخار آب (تراوش‌پذیری)

نفوذپذیری نسبت به بخار آب به روش وزن‌سنجی انجام شد (ASTM-E96-95, 1995). در یک ظرف ۱۴ میلی‌لیتری، ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد و توسط فیلم‌های مورد بررسی با مساحت ۱/۵ سانتی‌متر مربع درب‌بندی شد. بطری درب‌بندی شده ابتدا توزین گردید و در محفظه دارای سیلیکاژل با میزان رطوبت نسبی و دمای مشخص قرار گرفت. هر ۱۲ ساعت و به مدت ۳ روز توزین ظرف انجام شد. سپس نمودار تغییرات وزن ظرف در برابر زمان رسم شد. شیب آن محاسبه و میزان نفوذپذیری نسبت به رطوبت با فرمول زیر محاسبه شد (Hossini et al., 2023).

$$WVP^1 (\text{gm}^{-1} \text{pa}^{-1} \text{s}^{-1}) = \frac{W \times X}{A \times t \times \Delta p}$$

w میزان اختلاف وزن بطری، X ضخامت فیلم ژلاتینی، A مساحت فیلم ژلاتینی (m^2)، t زمان بر حسب ثانیه و Δp اختلاف فشار بخار اتمسفر دو سمت فیلم، ظرف حاوی آب خالص و محفظه دارای سیلیکاژل است.

اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری

برای تعیین ویژگی‌های نوری فیلم‌ها از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Shimadzu ژاپن) استفاده شد. به این منظور نمونه‌های فیلم به ابعاد ۴۰×۹ میلی‌متر بریده شده و داخل سلول اسپکتوفوتومتر قرار گرفته شدند. یک نمونه سلول خالی نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. میزان عبور نور در طول موج‌های مختلف و هم چنین جذب آن در طول موج ۵۰۰ نانومتر بررسی شد از فرمول زیر برای اندازه‌گیری کدورت محاسبه شد (Hossini et al., 2023).

ضخامت فیلم × میزان جذب در ۵۰۰ نانومتر = کدورت فیلم

ویژگی‌های مکانیکی

خواص مکانیکی فیلم‌ها شامل قدرت کششی (مگاپاسکال)، افزایش طول تا نقطه شکست (درصد) و مدول یانگ (مگاپاسکال) می‌باشد. این ویژگی‌ها بر اساس استاندارد ASTM D882-00 (ASTM, 2000) و با استفاده از دستگاه بافت‌سنج (Stable Micro System TA-XT.PLUS TA-Plus انگلستان) محاسبه شد. ابتدا فیلم‌ها به ابعاد ۲۵/۴ میلی‌متر عرض ۷۵ میلی‌متر طول بریده شد. سپس بین دو فک دستگاه بافت‌سنج با فاصله اولیه ۵۰mm و سرعت حرکت فک ۰/۸ میلی‌متر بر ثانیه قرار داده شدند و ویژگی‌های مکانیکی شامل قدرت کششی، درصد افزایش طول تا نقطه شکست (تغییر طول نمونه تقسیم بر طول اولیه ضرب در ۱۰۰) و هم چنین مدول یانگ از روی منحنی نیرو بر حسب تغییر شکل محاسبه گردید.

خواص آنتی‌اکسیدانی

این روش یکی از روش‌های مرسوم برای سنجش فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌باشد. این روش مبتنی بر به دام‌اندازی میزان رادیکال‌های آزاد ماده‌ای به نام دی فنیل ۱ پیکریل هیدرازیل (DPPH) با استفاده از عوامل آنتی‌اکسیدانی می‌باشد که سبب کاهش میزان جذب در طول موج ۵۱۷ نانومتر می‌شود. موقعی که محلول DPPH با ماده‌ای که می‌تواند دهنده اتم هیدروژن باشد مخلوط می‌شود فرم احیای رادیکال تشکیل می‌شود که همراه با کاهش رنگ می‌باشد. این واکنش سبب از بین رفتن رنگ بنفش می‌شود که شاخص آن تشکیل باند جذبی در ۵۱۷ نانومتر می‌باشد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم‌های ژلاتین توسط تغییر رنگ رادیکال DPPH از بنفش به هیدرازین‌های زرد رنگ اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۳۰ میلی‌گرم از هر فیلم در نسبت‌های برابر آب مقطر و متانول (نسبت ۳ به ۳) حل شد. پس از حل شدن تمام فیلم‌ها، به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ (Universal آلمان) شد. سپس به مدت ۱۲ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداشته شد (۱ شب استراحت) و دوباره به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۴۰۰۰ rpm سانتریفوژ شد. سپس ۱ میلی‌لیتر از قسمت رویی محلول سانتریفوژ شده هر فیلم با ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH مخلوط شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی در دمای اتاق نگهداری شد. سپس جذب هر یک در ۵۱۷ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد (A_s). به عنوان شاهد، ۱ میلی‌لیتر از محلول آب و متانول (۳ میلی‌لیتر آب مقطر + ۳ میلی‌لیتر متانول) با ۴ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ میلی‌مولار DPPH به مدت ۳۰ دقیقه در انکوباتور (Mettler آلمان) در دمای اتاق نیز

نگهداری شد و جذب آن در ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (Shimadzu ژاپن) اندازه‌گیری شد (Ekrami et al., 2019).

(A_b) در نهایت فعالیت مهار رادیکال DPPH مطابق معادله زیر محاسبه شد.

$$\text{DPPH scavenging activity (درصد)} = \frac{(A_b - A_s)}{A_b} \times 100$$

تعیین فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها

فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها به روش سنجش انتشار دیسک تعیین گردید، بدین صورت که محیط آگار آبگوشت قلب و مغز با ۱۰۰ میکرولیتر کشت باکتری که حاوی 1×10^7 باکتری در هر میلی‌لیتر بود تلقیح گردید، سپس دیسک‌هایی از فیلم‌های مذکور حاوی غلظت‌های موردنظر از عصاره کندل که به قطر ۹ میلی‌متر پانچ شده بودند در مرکز پلیت قرار داده شد و پلیت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در ۳۷ درجه سلسیوس گرم خانه‌گذاری شدند و ناحیه ممانعت از رشد به صورت هاله شفاف اطراف فیلم‌ها با کولیس دیجیتالی (اینسایز چین) بر حسب میلی‌متر اندازه‌گیری شد (Shokri et al., 2010).

تجزیه و تحلیل آماری

تمامی آزمایشات در سه تکرار ($n=3$) با نمونه‌گیری کاملاً تصادفی مطابق جدول ۱ انجام شد. آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) و مقایسه میانگین داده‌ها براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار SPSS26 در سطح احتمال ۰/۰۵ انجام گرفت.

جدول ۱- تیمار فیلم‌های خوراکی	
Table 1- Edible films treatments	
تیمار	کندل کوهی
Treatment	Dorema aucheri (%)
1	0
2	0.5
3	0.75
4	1.5
5	3.25

نتایج و بحث

خواص فیزیکی فیلم‌های تولیدی (حلالیت، کدورت، ضخامت و نفوذپذیری به بخار آب) مقدار حلالیت بین همه غلظت‌های عصاره مورد استفاده معنی‌دار بود ($p < 0.05$). به طور کلی در تمامی تیمارها درصد حلالیت فیلم ترکیبی کمتر از شاهد شد. بیشترین حلالیت مربوط به تیمار شاهد با درصد حلالیت ۱۳٪ می‌باشد و با افزایش غلظت عصاره

این پدیده شامل جذب و انحلال بیوپلیمرها و به دنبال آن انتشار مولکول‌های آب در ماتریکس و دفع یا تبخیر (فاز خشک شدن) مولکول‌های آب در سطح فیلم است. نفوذپذیری در تمام غلظت‌ها افزایش معنی‌دار داشت ($p < 0.05$). بیشترین نفوذپذیری در غلظت ۳/۲۵٪ فیلم ترکیبی بود. در مطالعه حاضر، غلظت بیوپلیمرها، نرم کننده و آب یکسان بود. بنابراین، افزایش نفوذپذیری ناشی از غلظت عصاره افزایشی بود. افزودن عصاره‌های طبیعی به ترکیب ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز به دلیل اتصال متقاطع با مولکول‌های فعال زیستی، در دسترس بودن گروه‌های OH ماتریکس ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز را کاهش می‌دهد. دو و همکاران (Dou et al., 2018) دریافتند که نفوذپذیری در فیلم‌های ژلاتین تحت تأثیر ترکیب عصاره‌های گیاهی قرار می‌گیرد، زیرا یک ساختار شبکه‌ای متراکم بین پلیمرها و عصاره تشکیل می‌شود و در نتیجه نفوذپذیری را کاهش می‌دهد، که با مطالعات ما مغایرت داشت در مطالعه دیگری، مالهربی و همکاران (Malherbi et al., 2019) دریافت که نفوذپذیری در فیلم‌های ژلاتینی با خمیر عصاره گایبرا نتایج متغیری در رابطه با غلظت اسانس اضافه شده داشت. نتایج مطالعه حاضر تأیید کرد نفوذپذیری در فیلم‌های ژلاتینی با نسبت عصاره اضافه شده به محلول مرتبط است. بنابراین، با افزایش مقدار عصاره، نواحی ناهمگن تولید شده توسط فعل و انفعالات ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز حاوی عصاره کندل افزایش می‌یابد، که باعث ناپیوستگی در شبکه پلیمری می‌شود.

کدورت معیاری است جهت سنجش شفافیت فیلم‌هاست که هرچه کدورت بالاتر باشد شفافیت کمتر است. شفافیت فیلم‌های فعال به دلیل تأثیر آن بر ویژگی‌های ممانعت‌کنندگی نور و ظاهر فیلم‌های بسته‌بندی، می‌باشد که نقش مهمی در بسته‌بندی مواد غذایی ایفا می‌کند (Alizadeh, 2021). ادغام عصاره کندل در فیلم ترکیبی ژلاتین و کربوکسی متیل سلولز باعث تغییرات قابل توجهی ($P < 0.05$) در مقادیر عبور نور و کدورت با توجه به غلظت عصاره شد (جدول ۱). در فیلم ترکیبی با افزایش غلظت تا (۱/۵٪) از ۰/۲۱ به ۰/۸۴ نانومتر افزایش یافت. رنگ فیلم‌های کنترل، بی رنگ و شفاف است، می‌تواند رنگ خود را با حداقل غلظت افزودنی تغییر دهد. در این مورد، تغییرات مشاهده شده در پارامترهای رنگ عمدتاً به حضور ترکیبات فنلی در عصاره کندل نسبت داده شود که پس از ادغام یک رنگ قهوه‌ای تغییر رنگ می‌دهد (Li et al., 2021). در غلظت (۳/۵٪) کدورت کاهش یافت، این کاهش می‌تواند در نتیجه جذب نور توسط ترکیبات فنولی موجود در عصاره کندل باشد. در این راستا، علیزاده ثانی و همکاران (Alizadeh Sani et al., 2022) گزارش کردند که افزودن عصاره زعفران و توت قرمز باعث کاهش قابل توجه شفافیت فیلم‌های بر پایه ژلاتین/کاپا کاراگینان شدند. در تطابق با یافته‌ها احمد و همکاران

کندل در غلظت ۱/۵٪ و ۳/۲۵٪ حلالیت به ترتیب به ۸/۴٪ و ۶/۰۱٪ کاهش یافت. تفاوت در میزان حلالیت، به غلظت و ماهیت گروه‌های عاملی ترکیبات بستگی دارد. افزودن اسانس به ترکیب فیلم، باعث می‌شود که اجزای غیرقطبی اسانس با دامنه هیدروفیل ژلاتین و هیدروکسی متیل سلولز در تعامل بوده و باعث افزایش آبگریزی و کاهش حلالیت فیلم حاصل گردد. حلالیت آب فیلم‌ها با گروه‌های OH موجود در پلیمر مرتبط است که می‌تواند پیوندهای هیدروژنی بین اجزا برقرار کند. به دلیل ماهیت آبدوست ژلاتین و فراوانی گروه‌های هیدروکسیل (OH) در مولکول‌های ژلاتین میل ترکیبی زیادی با مولکول‌های آب دارد. ولی ترکیب ژلاتین با کربوکسی متیل سلولز کاهش حلالیت آب را نشان داد که می‌تواند به دلیل برهمکنش‌های هیدروژن بین مولکولی بین گروه‌های آبدوست موجود در کربوکسی متیل سلولز-ژلاتین رخ دهد (Vargas-Torrico et al., 2022).

با افزودن غلظت عصاره حلالیت کاهش یافت کاهش حلالیت در آب با توجه به برهمکنش پیوندهای هیدروژنی بین گروه‌های OH در زنجیره کربوکسی متیل سلولز-ژلاتین و گروه هیدروکسیل فنلی پلی‌فنل‌ها در عصاره کندل می‌باشد. بنابراین، گروه‌های آبدوست در زنجیره پلیمر و پلی‌فنل‌های موجود در اسانس پیوندهای هیدروژنی تشکیل دادند که ظرفیت گروه‌های OH برای برهمکنش با مولکول‌های آب را کاهش داد و حلالیت آب فیلم‌های مخلوط را کاهش داد. به طور کلی، فیلم‌هایی با حلالیت کم در آب برای کاربردهای بسته‌بندی مواد غذایی توصیه می‌شود پیوندهایی که ظرفیت گروه‌های OH، برهمکنش با مولکول‌های آب را کاهش داده و حلالیت فیلم‌های مخلوط را در آب کاهش می‌دهند. از طریق کاهش نفوذ آب و رطوبت، این فیلم‌ها به طور مؤثری طراوت محصول را حفظ می‌کنند، از واکنش‌های اکسیداتیو جلوگیری می‌کنند و رشد میکروبی را مسدود می‌کنند (Moghadam et al., 2021).

بنابراین داده‌های حاصل از سنجش میزان حلالیت، گویای این امر هستند که فیلم کربوکسی متیل سلولز-ژلاتین در نتیجه‌ی ترکیب شدن با عصاره نسبت به فیلم خالص آن ۷٪ کاهش در میزان حلالیت داشته است.

اندازه‌گیری نفوذپذیری نسبت به آب به دلیل نیاز به حفاظت از محیط و غذا و مانع در برابر بخار آب، در فیلم‌های نگهداری مواد غذایی فاکتور مهم و تعیین کننده‌ای در انتخاب فیلم می‌باشد. نفوذپذیری آب مقادیر افزایشی متناسب با غلظت عصاره اضافه شده به محلول تشکیل دهنده فیلم بود. نفوذپذیری بالا را می‌توان با فرایندهای جذب، انتشار و دفع توضیح داد، جایی که پلیمرهای دارای طبیعت آبدوست عبور می‌کنند و ممکن است آن پارامتر را افزایش دهند (Xue et al., 2020).

(Ahmed et al., 2016) گزارش کردند که با افزایش درصد اسانس ترنج و اسانس پوتار میزان عبور نور از فیلم‌ها و کدورت کاهش یافت. همچنین در افزودن عصاره‌ها به دلیل مهاجرت مقداری از عصاره‌ها به سطح فیلم حین خشک کردن میزان پراکندگی نور افزایش و کدورت کمتر شد. این نتایج با نتایج داده‌ها در کاهش شفافیت در فیلم‌های ترکیبی و فیلم‌های حاوی اسانس با گزارش می و همکاران (Ma et al., 2016) در استفاده از امولسیون روغن سویا و اسانس دارچین در فیلم کیتوزان و اثر اسیدهای چرب و اسانس گیاهی برتن و همکاران (Bertan et al., 2005) روی فیلم‌های کامپوزیتی برپایه ژلاتین مشابهت داشت.

ضخامت به غلظت مواد، مقدار محلول اولیه در واحد سطح و سرعت ریختن روی سطح و همچنین تحت تأثیر افزودن ترکیبات مختلف نظیر امولسیفایرها، پلاستیسایزرها و نیز افزودنی‌هایی مثل اسانس‌ها است. همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده، ضخامت فیلم‌ها در تمامی غلظت‌ها بجز غلظت (۳/۲۵٪) معنی‌دار است ($p < 0.05$). ضخامت فیلم‌های بر پایه ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز رابطه

مستقیمی با میزان محتوی جامد فیلم دارد. ضخامت فیلم‌ها از ۰/۲۱ تا ۰/۱۲ میلی‌لیتر متفاوت است. فیلم ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز خالی (شاهد) ٪ دارای بیشترین میزان ضخامت بود. ۰/۲۱ میلی‌متر که این مقدار با افزودن غلظت تا (۱/۵٪) کاهش داشت. علت این کاهش ضخامت را می‌توان به اشباع شدن محلول و ایجاد منافذ و در نتیجه شکنندگی در ساختار فیلم ترکیبی همراه با عصاره می‌باشد که این نتایج با نتایج که توسط احمد و همکاران (Ahmed et al., 2016) گزارش شده است مغایرت داشت آنها طی آزمایشاتی که بر روی فیلم‌های ژلاتینی با عصاره ترنج و روغن بادرنجبویه داشتند در ابتدا یک اختلال در زنجیره‌های پلی‌پپتیدی ژلاتین با حضور اسانس مشاهده کردند. سپس، این پلی‌پپتیدها به دلیل ماهیت آبدوست عصاره قادر به برهمکنش و ایجاد پیوند با ترکیبات فنلی بودند که منجر به ساختاری با اندازه بزرگتر شد. لازم به ذکر است که ضخامت لایه‌ها با ترکیب عوامل خارجی مرتبط با محلول بیوپلیمری افزایش می‌یابد زیرا در غیر این صورت، عامل می‌تواند محلول را اشباع کند و در نتیجه ساختارهای نازک، شکننده و با ذرات غیر محلول ایجاد کند (Xue et al., 2021).

جدول ۲- خواص فیزیکی فیلم‌های خوراکی
Table 2- Physical properties of edible films

تیمار	حلالیت	نفوذپذیری	کدورت	ضخامت
Treatment	Solubility (%)	Permeability ($\text{gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{pa}^{-1}$)	Turbidity	Thickness (mm)
0%	13.8±0.55 ^a	1.6±0.2 ^d	0.21±0.02 ^c	0.21±0.83 ^a
0.75%	10.8±0.56 ^b	2.5±0.2 ^c	0.24±0.02 ^c	0.18±0.45 ^b
1.5%	8.4±0.75 ^c	4.3±0.2 ^a	0.84±0.04 ^a	0.12±0.01 ^c
3.25%	6.01±0.57 ^d	3.56±0.21 ^b	0.31±0.02 ^b	0.12±0.42 ^c

نتایج به صورت میانگین $\pm$ انحراف استاندارد در سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) است. The results in the table have reported as mean $\pm$ standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

آزمون مکانیکی

خصوصیات مکانیکی پلیمرهای مرکب از جمله خصوصیتی است که به میزان برهمکنش‌ها در سطح مشترک ترکیبات بستگی دارد. بطور کلی، برقراری برهمکنش‌های مناسب میان ترکیبات، سبب بهبود معنی‌دار در ویژگی‌های مکانیکی فیلم‌ها می‌شود (Brindle & Krochta, 2008).

تأثیر عصاره‌ها بر خواص مکانیکی فیلم‌ها به شدت به ویژگی‌های عصاره و ظرفیت آن برای تعامل با بیوپلیمر بستگی دارد (Pereda et al., 2012).

نتایج حاصل از آزمون‌های مکانیکی ترکیب فیلم ژلاتین با اثرات متقابل غلظت‌های مختلف عصاره‌ها در جدول ۳ آمده است. نتایج آنالیز آماری اختلاف معنی‌داری از آزمون‌های افزایش طول در نقطه شکست،

مقاومت کششی و مدول ینگ را در تیمارهای جدول ۲ نشان داده است ($p < 0.05$). میزان افزایش طول تا نقطه شکست (کشش‌پذیری) در عدم حضور غلظت عصاره کندل کوهی حداقل مقدار (۲۷٪) را دارا می‌باشد و با افزایش غلظت عصاره کندل کوهی تا (۱/۵٪) در محیط این پاسخ به بیشترین مقدار خود (۳۷٪) می‌رسد که می‌تواند به دلیل افزایش پیوندهای ساختاری بهتر و هم جهت با ملکول ژلاتین باشد که باعث جذب آب بیشتر و پیوند هیدروژنی قوی‌تر در ساختار پروتئین ژلاتین و برهمکنش مناسب بین مولکولی قوی و افزایش اتصالات عرضی بین این پلیمر ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز می‌باشد (Nazmi & Sarbon, 2020; Govindappa et al., 2011). ولی با افزایش غلظت عصاره از (۱/۵٪) تا (۳/۲۵٪) این مقدار به (۲۸٪) کاهش یافت. به دلیل توزیع ذرات همگن‌تر و ساختار محکم‌تر و فشرده‌تر

شده و ایجاد پیوندهای هیدروژنی درون مولکولی بجای پیوندهای هیدروژنی بین مولکولی میزان درصد افزایش طول کاهش می‌یابد. درصد کشش‌پذیری هم با افزایش غلظت عصاره تا (۱/۵٪) افزایش معنی‌داری مشاهده شد. و بیشترین درصد کشش مربوط به غلظت (۱/۵٪) با ۷/۴۷ مگاپاسکال مشاهده شد. ولی با افزایش بیشتر عصاره در غلظت (۳/۲۵٪) به ۶/۶۶ مگا پاسکال کاهش یافت. در همه نمونه‌ها پلاستی سایزر روغنی باعث افزایش حجم آزاد در نمونه می‌گردد و باعث افزایش کشش‌پذیری فیلم ژلاتین می‌گردد. این کاهش می‌تواند به دلیل غلظت بالای ترکیبات فنلی باشد که ساختاری ناهمگن با مناطق ناپیوسته در فیلم ایجاد می‌کند. این نتایج با نتایج گزارش شده توسط کچو و همکاران (Kchaou et al., 2020) مطابقت دارد. آنها نشان دادند که خواص مکانیکی با ادغام اسانس‌های طبیعی در مقادیر بیشتر

از محلول اشباع یا هنگام ایجاد ناسازگاری با ماتریس پلیمرهای زیستی کاهش می‌یابد زیرا باعث کاهش چگالی برهمکنش‌های بین مولکولی و افزایش حجم بین زنجیره‌های ژلاتینی آزاد می‌شود. که باعث شکنندگی فیلم‌ها می‌شود. افزایش مدول یانگ احتمالاً به این دلیل است که پلاستی سایزر روغنی گلیسرول باعث ویژگی الاستیسیته فیلم گردند که باعث افزایش تغییرات طولی نسبت به تغییرات عرضی در زنجیره و ترکیبات می‌گردند. این مدول همچنین تحت تأثیر توزیع و چگالی فعل و انفعالات درون و بین ملکولی در ساختار فیلم ترکیبی است. ماهیت روغنی گلیسرول و نسبت سطح به حجم بالای آن در غلظت (۱/۵٪)، باعث افزایش حجم فضای خالی بین زنجیره‌ها می‌شود و مدول یانگ زیاد می‌شود.

جدول ۳- خواص مکانیکی فیلم‌های خوراکی
Table 3- mechanical properties of edible films

تیمار Treatment	درصد کشش Tensile strength (Mpa)	ازدیاد طول در نقطه شکست Elongation at break (%)	مدول یانگ Young modulus (Mpa)
0%	3.2±0.61 ^c	27.35±1.02 ^c	64.76±0.2 ^c
%0.75	5.4±0.36 ^b	31.54±0.76 ^b	88.71±1.22 ^a
%1.5	7.47±0.37 ^a	37.1±2.24 ^a	93.43±2.6 ^a
%3.25	6.66±0.28 ^a	28.76±0.65 ^c	73.63±4.2 ^b

نتایج به صورت میانگین ± انحراف استاندارد در سه تکرار گزارش شده است. حروف متفاوت در هر ردیف نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($p < 0.05$) است. The results in the table have reported as mean ± standard deviation of triplicate analysis. Different words in the same row represent significant difference at 5 % ($p < 0.05$).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

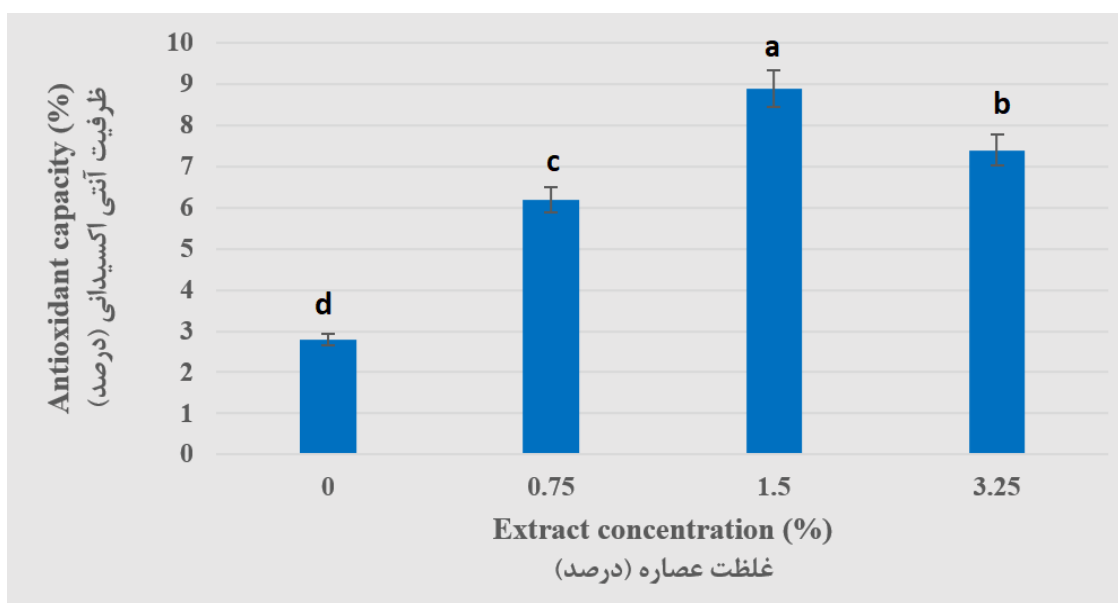
شکل ۱ نمودار حاصل از فعالیت آنتی‌اکسیدانی تیمارها در غلظت‌های مختلف عصاره کندل را نشان می‌دهد که در تمامی غلظت‌ها به صورت معنی‌دار بوده و با افزایش درصد عصاره، قدرت مهار رادیکال تیمارها نسبت به فیلم شاهد به صورت معنی‌داری افزایش یافت ($p < 0.05$). Dorema aucheri سرشار از فلاونوئیدها است (Mokhtari et al., 2008).

فلاونوئیدها گروه بزرگی از ترکیبات پلی‌فنلی را تشکیل می‌دهند که دارای خواص آنتی‌اکسیدانی هستند و عصاره کندل دارای خواص آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Yazdi et al., 2015؛ Miraghaee & Karimi, 2012).

کمترین و بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب در فیلم شاهد ۲/۶ و فیلم ترکیبی در غلظت (۱/۵٪) عصاره کندل ۹/۱۴ به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره گیاه کندل می‌باشد. فیلم خوراکی ژلاتینی نسبت به کربوکسی متیل سلولز در کنترل اکسیداسیون دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالاتری می‌باشد. دلیل اثرگذاری بیشتر پوشش پروتئینی نسبت به کربوهیدراتی را می‌توان نفوذپذیری پایین پوشش‌های

پروتئینی از جمله ژلاتین در برابر نفوذ اکسیژن دانست که این امر نیز ناشی از شبکه‌ی منظم و منسجم می‌باشد که بهترین عملکرد را در کنترل اکسیداسیون دارد (Baldwin, 2007). حضور کربوکسی متیل سلولز بعنوان یک عامل پیوند عرضی باعث ایجاد انسجام بیش تر در ساختار و متقابلاً عملکرد بهتر پوشش شد (Li et al., 2021؛ Leonardis, 2010).

مشابه با نتایج ما سای چین و همکاران (Sui Chin et al., 2017) گزارش دادند که افزودن ژل آلوه ورا به فیلم بر پایه ژلاتین منجر به فعالیت آنتی‌اکسیدانی فیلم شد، که با افزایش غلظت آلوه ورا این فعالیت افزایش می‌یابد. فعالیت آنتی‌اکسیدانی آلوه ورا مرتبط با ترکیبات فنولی موجود در این ژل می‌باشد. علاوه بر این، اسانس رزماری گنجانده شده در فیلم کیتوزان دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی بود که این فعالیت رابطه مستقیمی با افزایش غلظت اسانس رزماری داشت (Souza, 2019). با افزودن غلظت (۳/۲۵٪) خاصیت آنتی‌اکسیدانی حاوی فیلم عصاره کندل، کاهش یافت که دلیل این امر را می‌توان افزایش انسجام ساختاری، کاهش میزان ترکیبات فنولی آزاد شده از فیلم، در حین اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیان کرد.



شکل ۱- خواص آنتی اکسیدانی تیمارهای فیلم‌های ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز با غلظت‌های مختلف عصاره کندل
 Fig. 1. Antioxidant properties of gelatin (GEL) and Carboxymethyl cellulose (CMC) films with different concentrations of *Dorema aucheri* extract

فعالیت ضد میکروبی

توانایی مهار یا جلوگیری از فساد یا رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا روی مواد غذایی یکی دیگر از ویژگی‌های مهم مواد بسته‌بندی فعال است (Tavassoli et al., 2021).

فعالیت ضد میکروبی فیلم‌ها در تمام تیمارهای دارای عصاره کندل در برابر هر سه گونه مورد آزمایش باکتری *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *پسودوموناس* در شکل ۲ نشان داده شده است. اثر غلظت‌های مختلف عصاره کندل جهت کاهش یا جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌های *اشریشیا کلی*، *استافیلوکوکوس اورئوس* و *پسودوموناس* به روش انتشار آگار مورد بررسی قرار گرفت. فیلم ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز بدون عصاره (شاهد) اثر بازدارنده ضعیفی را در برابر میکروارگانیسم‌های مورد بررسی نشان دادند. با افزودن عصاره کندل به فیلم بر پایه ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز، باعث فعالیت آنتی‌باکتریال قابل توجه فیلم شد. افزایش غلظت عصاره اثر معنی‌داری بر افزایش قطر هاله عدم رشد میکروارگانیسم‌های مورد بررسی داشت ($p < 0.05$). بیشترین میزان مهار رشد در هر سه گونه باکتریای *سودوموناس آئروژنز* و *اشریشیا کلی* و باکتری *پسودوموناس* در تیمار (۳/۲۵٪) بود. بیشترین مهار رشد در این غلظت مربوط به باکتری *اشریشیا کلی* ۵/۳۳ و *استافیلوکوکوس اورئوس* و *سودوموناس* هم اثر مهار رشد در این غلظت ۴ و ۳/۹۹ بود.

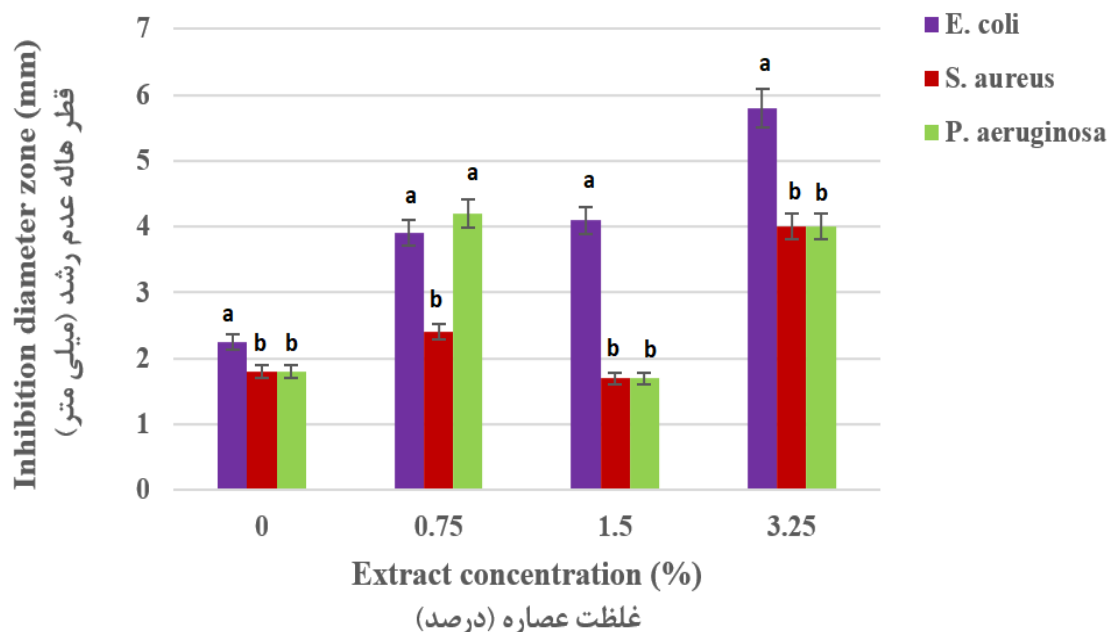
عصاره‌های گیاهی و ترکیبات مؤثر آن‌ها در برابر انواع گسترده‌ای از میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری‌های گرم منفی و گرم مثبت فعال شناخته شدند. هر چند در برخی بررسی‌ها باکتری‌های گرم مثبت مقاومتی مانند باکتری‌های گرم منفی نشان دادند (Oussalah, 2007). خاصیت مهارکنندگی بیشتر اسانس‌های مورد مطالعه بر روی باکتری‌های گرم مثبت نسبت به گرم منفی می‌تواند به علت اتصال گروه‌های هیدروکسیل ترکیبات فنلی موجود در عصاره به گروه N استیل گلوکز آمین موجود در دیواره سلولی باکتری‌های گرم مثبت باشد و مقاومت بیشتر باکتری‌های گرم منفی به عصاره ممکن است؛ به علت وجود لیپولی ساکاریدهای غشاء بیرونی باکتری‌های گرم منفی نسبت داده شود که ذاتاً به عوامل خارجی مانند آنتی بیوتیک‌ها و شوینده‌ها مقاومت (Coa et al., 2007; Elansary et al., 2020).

فعالیت ضد میکروبی محلول ژلاتینی بیشتر به علت وجود زنجیره الیگوپپتیدی حاصل از آب کافت ژلاتین می‌باشد. با افزایش غلظت پوشش در محلول پوشش‌دهی خاصیت ضد میکروبی افزایش یافت که احتمالاً به دلیل افزایش ضخامت فیلم تشکیل شده روی سطح عصاره کندل و اثر ممانعتی قوی‌تر آن به نفوذ اکسیژن می‌باشد. عصاره *Dorema aucheri* نیز دارای فعالیت ضد میکروبی می‌باشد (Ahangarpour et al., 2014).

الانسانی و همکاران (Elansary et al., 2020) اثر ضد میکروبی شش گیاه از گونه *Ferocactus* را روی پنج باکتری *باسیلوس سرئوس*، *اشریشیا کلی*، *لیستریا مونوسیژنز*، *مارینیلوتای کوکوس فلاووس* و

کربوکسی متیل سلولز/کیتوزان/ اکسید روی را بر افزایش عمر پنبه سفید نرم مصری مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد فیلم تولیدی فعالیت ضد میکروبی خوبی در برابر باکتری‌های گرم مثبت (استافیلوکوکوس اورئوس) گرم منفی (سودوموناس آئروژینوزا، اشرشیا کلی)، قارچ‌ها (کاندیدا آلبیکنس) داشته است (Ahmad et al., 2016).

استافیلوکوکوس اورئوس بررسی کردند که نشان‌دهنده اثر ضد میکروبی قابل توجه عصاره این گونه‌ها بر دو باکتری اشرشیاکلی و استافیلوکوکوس اورئوس در مقایسه با سایر باکتری‌ها بود که با نتایج ما مطابقت داشت (Elansary et al., 2020). همچنین احمد و همکاران (Ahmad et al., 2016) تأثیر فیلم بیونانوکامپوزیت



شکل ۲- فعالیت ضد میکروبی فیلم‌های ژلاتین- کربوکسی متیل سلولز با تیمارهای مختلف عصاره کندل

Fig. 2. Antimicrobial activity of gelatin GEL and of gelatin (GEL) and Carboxymethyl cellulose (CMC) films with different concentrations of *Dorema aucheri* extract

و نفوذپذیری به رطوبت تمامی تیمارها بجز تیمار (۱/۵٪) که کاهش یافت با افزایش میزان عصاره کندل به طور معنی‌داری افزایش یافت. افزایش طول تا نقطه شکست، مقاومت به کشش و مدول یانگ در تمامی تیمارها بجز غلظت (۱/۵٪) افزایش غلظت عصاره کندل در محیط از لحاظ آماری معنی‌دار بود ($p < 0.05$). فعالیت آنتی‌اکسیدانی در همه غلظت‌ها معنی‌دار بود و بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به غلظت (۱/۵٪) بود. همچنین بیشترین تأثیر در فعالیت ضد میکروبی در اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس اورئوس و سودوموناس در غلظت (۳/۲۵٪) مشاهده شد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت فیلم‌های فعال ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز در حضور غلظت (۱/۵٪) عصاره کندل، بالاترین کارایی و ویژگی‌های مطلوب را دارد و می‌تواند با تأخیر در

این با یافته‌های محمود و نایمل (Begum, et al., 2018) مطابقت دارد که اسانس‌ها را به عنوان ترکیبات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی و افزودنی‌های طبیعی می‌توان در مواد بسته‌بندی به کار برد تا از آلودگی میکروبی محصول جلوگیری کند و در نتیجه ماندگاری آن را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری

نتیجه آزمایش‌های انجام شده بر روی فیلم خوراکی ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز نشان داد که مقادیر حلالیت و نفوذپذیری و ضخامت فیلم-های ژلاتین-کربوکسی متیل سلولز حاصل معنی‌دار بود ($p < 0.05$). کمترین حلالیت و ضخامت در تیمار شاهد مشاهده شد. بیشترین نفوذپذیری و کدورت در تیمار ۱،۵ درصد اسانس *Dorema aucheri* مشاهده شد میزان حلالیت با افزایش میزان عصاره کندل کاهش یافت

اکسیداسیون لیپیدها، خواص مکانیکی و فیزیکوشیمیایی مطلوب، به عنوان یک پوشش مناسب برای محافظت مواد غذایی استفاده کردند.

نظارت، الهام احمدی: مدیریت داده‌ها، نوشتن-پیش‌نویس داده‌ها، حامد حسن زاده: سرپرستی پروژه و طراحی آزمون

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافی ندارند.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیر انتفاعی دریافت نکرد.

میزان مشارکت نویسندگان

سارا پناهی، امیر حسین کریم زاده: انجام آزمایشات، تحقیق و بررسی، محمدیار حسینی: مدیریت داده‌ها، نوشتن-پیش‌نویس اصلی،

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از آزمایشگاه مرکزی ایلام جهت همکاری و حمایت از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Abdollahi, S., & Raoufi, Z. (2022). Gelatin/Persian gum/bacterial nanocellulose composite films containing Frankincense essential oil and *Teucrium polium* extract as a novel and bactericidal wound dressing. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 72, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103423>
2. Ahangarpour, A., Teymuri Zamaneh, H., Jabari, A., Nia, H.M., & Heidari, H. (2014). Antidiabetic and hypolipidemic effects of *Dorema aucheri* hydroalcoholic leave extract in streptozotocinnicotinamide induced type 2 diabetes in male rats. *Iran Journal Basic Medical Science*, 17, 808-14. <https://doi.org/10.22038/ijbms.2014.3458>
3. Ahmed, A., Youssef, MS., EL-Sayedb, K., Hoda, Z., Sayed, A., & Dufresne, A. (2016). Enhancement of Egyptian soft white cheese shelf life using a novel chitosan/carboxymethyl cellulose/zinc oxide bionanocomposite film. *Carbohydrate Polymers*, 151, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.05.023>
4. Ahmad, M., Benjakul, S., Prodpran, T., & Agustini, TW. (2012). Physico-mechanical and antimicrobial properties of gelatin film from the skin of unicorn leatherjacket incorporated with essential oils. *Food Hydrocolloids*, 28(1), 189-199. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.12.003>
5. Alizadeh Sani, M., Tavassoli, M., Salim, S.A., Azizi-lalabadi, M., & McClements, DJ. (2022). Development of green halochromic smart and active packaging materials: TiO₂ nanoparticle- and anthocyanin loaded gelatin/κ-carrageenan films. *Food Hydrocolloids*, 124, 107324. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107324>
6. Baldwin, E.A. (2007). Surface treatments and edible coatings in food preservation. In: Rahman M.S. (ed.), *Handbook of Food Preservation*, Boca Raton. CRC Press, Florida- USA. Baldwin, E. & Wood, B., 2006, Use of edible coating to preserve pecans. <https://doi.org/10.1201/9781420017373.ch21>
7. Begum, T., Mahmud, J., Naimul Islam, M.D., & Khan, R.A. (2018). Essential oils and biodegradable packaging materials: Application on food preservations. *Scientific Review*, 5(1), 1-7. <https://doi.org/10.32861/sr.51.1.7>
8. Bertan, L., Tanada-Palmu, P., Siani, A., & Grosso, C. (2005). Effect of fatty acids and 'Brazilian elemi' on composite films based on gelatin. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 73-82. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.017>
9. Biswal, D.R., & Singh, R.P. (2004). Characterization of carboxymethyl cellulose and polyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate Polymers*, 57(4), 379-387. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2004.04.020>
10. Brindle, L.P., & Krochta, J.M. (2008). Physical properties of whey protein hydroxy propylmethylcellulose blend edible films. *Journal of Food Science*, 73(9). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00941.x>
11. Cao, N., Fu, Y., & He, J. (2007). Mechanical properties of gelatin films cross linked, respectively, by ferulic acid and tannin acid. *Food Hydrocolloids*, 21(4), 575-584. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.07.001>
12. Dehnad, D. (2015). Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate-pullulan by application of beeswax. *Carbohydrate Polymers*, 118, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.015>
13. Dicka, M., Costaa, T.M.H., Goma, A., Subirade M, Riosa, A.D.O., & Flôresa, S.H. (2015). Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 130, 198-205. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.040>
14. Dou, L., Li, B., Zhang, K., Chu, X., & Hou, H. (2018). Physical properties and antioxidant activity of gelatin-sodium alginate edible films with tea polyphenols. *International Journal of Biological Macromolecules*, 118(B), 1377-1383. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.121>
15. Eftekhari, Oskou F., Tofighi, Z., Motevaseli, E., & Jafari Nodoshan, Sh. (2019). MRAlert for Consumption of *Dorema aucheri*: an Edible. *Medicinal Plant of Iran*, 75-84.

16. Ekrami, M., Emam-Djomeh, Z., Ghoreishy, S.A., Najari, Z., & Shakoury, N. (2019). Characterization of a high-performance edible film based on Salep mucilage functionalized with pennyroyal (*Mentha pulegium*). *International Journal Biology Macrom*, 133, 529-537. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.136>
17. Elansary, H.O., Szopa, A., Klimek-Szczykutowicz, M., Ekiert, H., Barakat, AA., & Al-Mana, F.A. (2020). Antiproliferative, antimicrobial, and antifungal activities of polyphenol extracts from *Ferocactus* species. *Processes*, 8(2), 138. <https://doi.org/10.3390/pr8020138>
18. Fernando, A.L. (2019). Activity of chitosan montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: From in vitro assays to application in fresh poultry meat. *Food Hydrocolloids* 89, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.049>
19. Govindappa, M., Channabasava, S.Ts, R., Mk, J., Ks, P., & Raghavendra, V.B. (2011). Antioxidant activity and phytochemical screening of *Tecoma stans* (L.) Juss. ex Kunth. *Journal of Phytology*, 3(3), 68-76. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.2274>
20. Gulluce, M., Sahin, F., Sokmen, M., Ozer, H., Daferera, D., Sokmen, A., Polissiou, M., Adiguzel, A., & Ozkan, H. (2007). Antimicrobial and antioxidant properties of the essential oils and methanol extract from *Mentha longifolia* L. ssp. *longifolia*. *Food Chemistry*, 103(4), 1449-56. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.061>
21. Hosseini, M., Rahimi, Z., & Saifi, T. (2023). Production of edible film based on gelatin containing thyme essential oil: investigation of its physicochemical, mechanical, antioxidant and microbial properties. *Iranian Food Science and Technology*, 20(135), 129-139. <https://doi.org/10.22034/FSCT.19.135.129>
22. Jahit, I.S., Nazmi, N.N., M., Isa, M.I.N., & Sarbon, N.M. (2016). Preparation and physical properties of gelatin/CMC/chitosan composite films as affected by drying temperature. *International Food Research Journal*, 23(3), 1068–1074. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(1\).243](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(1).243)
23. Kchaou, H., Jridi, M., Benbettaieb, N., Debeaufort, F., & Nasri, M. (2020). Bioactive films based on cuttlefish (*Sepia officinalis*) skin gelatin incorporated with cuttlefish protein hydrolysates: Physicochemical characterization and antioxidant properties. *Food Packaging and Shelf Life*, 24, 100477. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100477>
24. Khanzadi, M., Jafari, S.M., Mirzaei, H., Chegini, F.K., Maghsoudlou, Y., & Dehnad, D. (2015). Physical and mechanical properties in biodegradable films of whey protein concentrate–pullulan by application of beeswax. *Carbohydrate Polymers*, 118, 24-29. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.11.015>
25. Koné, WM., Atindehou, KK., Kacou-N'douba, A., & Dosso, M. (2006). Evaluation of 17 medicinal plants from Northern Côte d'Ivoire for their in vitro activity against *Streptococcus pneumoniae*. *Afr Journal Tradit Complement Altern Medical*, 4(1), 17-22. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v4i1.31187>
26. Leonardis, M., Palange, A., FV Dornelles, R., & Hund, F. (2010). Use of cross-linked carboxymethyl cellulose for softtissue augmentation, preliminary clinical studies. *Journal of Clinical Interventions in Aging*, 5, 317–322. Department of Plastic Surgery, Salvator Mundi International Hospital, Roma. <https://doi.org/full/10.2147/CIA.S13813>
27. Li, N., Jiang, H., Yang, J., Wang, C., Wu, L., Hao, Y., & Liu, Y. (2021). Characterization of phenolic compounds and anti-acetylcholinase activity of coconut shells. *Food Bioscience*, 42, 101204. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101204>
28. Liu, Z., Ge, X., Dong, S., Zhao, Y., & Zeng, M. (2012). Effects of chitosan molecular weight and degree of deacetylation on the properties of gelatine-based films. *Food Hydrocolloids*, 26, 311-317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.06.008>
29. Malherbi, N.M., Schmitz, A.C., Grando, R.C., Bilck, A.P., Yamashita, F., Tormen, L., Fakhouri, F.M., Velasco, J.I., & Bertan, L.C. (2019). Corn starch and gelatin-based films added with guabiroba pulp for application in food packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 140-146. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.12.008>
30. Ma, Q., Zhang, Y., Critzer, F., Davidson, P., Zivanovic, S., & Zhong, Q. (2016). Physical, mechanical, and antimicrobial properties of chitosan films with microemulsions of cinnamon bark oil and soybean oil. *Food Hydrocolloids*, 52, 533-542. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.07.036>
31. Miraghaee, S.S., & Karimi, I. (2012) Evaluation of the antioxidant and antimicrobial properties of *Dorema aucheri* plant. *Iran. Red Crescent Medicenal Journal*, 14, 684-5.
32. Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadadi, M., & Emam-Djomeh, Z. (2020). Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel. *Food Hydrocolloids*, 104, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105735>
33. Mokhtari, M., Sharifi, A., & Parang, A. (2008). Investigation of *Dorema aucheri* hydroalcoholic extract on hematologic parameters in rats. *Journal of the Zanzjan University of Medical Sciences*, 16, 37-44 <http://journal.zums.ac.ir/article-1-382-fa.html>
34. Mothana, R.A., Hasson, S.S., Schultze, W., Mowitz, A., & Lindequist, U. (2011). Phytochemical composition and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of essential oils of three endemic Soqotraen *Boswellia* species. *Food Chemistry*, 126(3), 1149-54. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.150>

35. Nazmi, N.N.M., & Sarbon, N.M. (2020). Characterization on antioxidant and physical properties of gelatin based composite films with incorporation of *Centella asiatica* (Pegaga) extract. *Food Research*, 4(1), 224-233. <https://doi.org/10.3390/membranes12050442>
36. NurHanani, Z.A., Roos, Y.H., & Kerry, J.P. (2012). Use of beef, pork and fish gelatin sources in the manufacture of films and assessment of their composition and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 29, 144-151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.015>
37. Oluwaseun, A.C., Kayode, A., Bolajok, F.O., Bunmi, A.J., & Olagbaju, A.R. (2013). Effect of edible coatings of carboxymethyl cellulose and corn starch on cucumber stored at ambient temperature. *Asian Journal of Agriculture & Biological*, 1(3), 133-140. <https://doi.org/10.22067/ijfstrj.v12i4.34446>
38. Oussalah, M., Caillet, S., Saucier, L., & Lacroix, M. (2007). Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E coli* 0157: H7, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*. *Food Control*, 18, 414-420. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.11.009>
39. Pereda, M., Amica, G., & Marcovich, N.E. (2021). Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydrate Polymers*, 87(2), 1318-25. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.09.019>
40. Prakash, B., Mishra, P.K., Kedia, A., & Dubey, N. (2014). Antifungal, antiaflatoxin and antioxidant potential of chemically characterized *Boswellia carterii* Birdw essential oil and its in vivo practical applicability in preservation of *Piper nigrum* L. fruits. *LWT-Food Science and Technology*, 56(2), 240-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.023>
41. Roy, S., & Rhim, J.W. (2021). Gelatin/agar-based functional film integrated with Pickering emulsion of clove essential oil stabilized with nanocellulose for active packaging applications. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 627, 127220.
42. Shakeri, M.S., Shahidi, F., Beiraghi-Toosi, S., & Bahrami, A. (2011). Antimicrobial activity of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil incorporated with whey protein based films on pathogenic and probiotic bacteria. *International Journal Food Science Technology*, 46(3), 549-54. (In Persian). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127220>
43. Shakeri, M.S., Shahidi, F., Beiraghi-Toosi, S., & Bahrami, A. (2011). Antimicrobial activity of *Zataria multiflora* Boiss. essential oil incorporated with whey protein based films on pathogenic and probiotic bacteria. *International Journal Food Science Technology*, 46(3), 549-54. (In Persian). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2010.02519.x>
44. Souza, VGL., Pires, JRA., Vieira, ÉT., Coelho, I.M., Duarte, M.P., & Fernando, A.L. (2019). Activity of chitosan montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary essential oil: From in vitro assays to application in fresh poultry meat. *Food Hydrocolloids* 89, 241–252. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.049>
45. Sui Chin, S., Han, Lyn, F., & Nur Hanani, Z.A. (2017). Effect of Aloe vera (*Aloe barbadensis* Miller) gel on the physical and functional properties of fish gelatin films as active packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 12, 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2017.04.008>
46. Taheri-Behrooz, F., Maher, B.M., & Shokrieh, M. (2015) Mechanical properties modification of a thin film phenolic resin filled with nano silica particles. *Computational Materials Scienc*, 96, 411-5. <https://doi.org/10.1016/j.commatsci.2014.08.042>
47. Tavassoli, M., Sani, M.A., Khezerlou, A., Ehsani, A., & McClements, D.J. (2021). Multifunctional nanocomposite active packaging materials: Immobilization of quercetin, lactoferrin, and chitosan. *Nanofiber Particles in Gelatin Films*, 118, 106747. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106747>
48. Tongnuanchan, P., Benjakul, S., Prodpran, T., Pisuchpen, S., & Osako, K. (2016). Mechanical thermal and heat sealing properties of fish skin gelatin film containing palm oil and basil essential oil with different surfactants. *Food Hydrocolloids*, 56, 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.005>
49. Tongdeesontorn, W., Mauer, L.J., Wongruong, S., Sriburi, P., & Rachtanapun, P. (2011). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starchbased films. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-6>
50. Tongdeesontorn, W., & Rawdkuen, S. (2019). Gelatin-based films and coatings for food packaging applications. *Modulein Food Science*, 1-15. <https://doi.org/10.5772/intechopen.86245>
51. Vargas- Torrico, M.F., von Borries- Medrano, E., & Aguilar-Méndez, M.A. (2020). Development of gelatin/carboxymethylcelluloseactive films containing Hass avocado peel extract and their application as a packaging for the preservation of berries. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 1012-1025. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.101>
52. Xue, F., Zhao, M., Liu, X., Chu, R., Qiao, Z., Li, C., & Adhikari, B. (2021). Physicochemical properties of chitosan/zein/essential oil emulsion-based active films functionalized by polyphenols. *Future Foods*, 3, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100033>
53. Yazdi, F.T., Behbahani, B.A., Vasiee, A., Mortazavi, S.A., & Yazdi, F.T. (2015). An investigation on the effect of alcoholic and aqueous extracts of *Dorema aucheri* (Bilhar) on some pathogenic bacteria in vitro. *Journal Paramed. Science*, 6, 58-64.9.

54. Yoo, S., & Krochta, J.M. (2011). Whey protein– polysaccharide blended edible film formation and barrier, tensile, thermal and transparency properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(14), 2628–2636. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4502>

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 119-132

The Effect of L-glutathione Postharvest Treatment on the Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry Fruit during Cold Storage

K. Manda-Hakki^{1*}, H. Hassanpour²

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, respectively.

(* - Corresponding Author Email: Karim.manda1995@gmail.com)

Received: 19.10.2024
Revised: 23.11.2024
Accepted: 01.12.2024
Available Online: 16.02.2024

How to cite this article:

Manda-Hakki, K., & Hassanpour, H. (2025). The effect of L-glutathione postharvest treatment on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry fruit during cold storage. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 21(1), 119-132. (In Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90319.1375>

Introduction

Due to the high rate of respiration, strawberry is prone to water loss, mechanical damage and fungal decay post-harvesting, which may reduce its shelf life (Yan *et al.*, 2019). Food waste is an important global challenge that estimated about 30% of the world's agricultural land. Every year, about 9.5 million tons of food is lost in the post-harvest phase of agriculture crops (Bishop *et al.*, 2021). Post-harvest storage of strawberry at low temperature without using other combined treatments may reduce its shelf life due to its highly perishable nature. Therefore, in addition to low temperature storage, other post-harvest techniques have also been reported to increase the shelf life of strawberry fruits after harvest. One of these techniques is using chemicals (Kahramanoglu *et al.*, 2019). Glutathione is present in various plant tissues in concentrations of 2 to 3 mM and plays an important role in many cellular processes such as cell differentiation, enzyme regulation, cell signaling and cell death and acts as an antioxidant. (Diaz-Vivancos *et al.*, 2015). During the experiment, spraying GSH on strawberry plants increased the amount of total flavonoids and ascorbic acid in the harvested fruits, and the results showed that the application of GSH can increase the shelf life of strawberries. (Ge *et al.*, 2019). It has been reported that application of glutathione after harvesting okra has reduced browning and prevented its weight loss, which has created a suitable market for it, also GSH has increased the level of total phenol and the activity of ascorbate peroxidase enzyme and reduced the level of ROS and malondialdehyde, which can increase the shelf life of okra in cold storage after harvesting (Li *et al.*, 2023).

Materials and Methods

Sabrina strawberry fruit was obtained from a commercial greenhouse located in Urmia in the full maturity stage. The fruits were transported to the laboratory of Horticultural Sciences Department of Urmia University, observing the necessary precautions to prevent mechanical damage. The fruits were separated in terms of size and uniformity, so that the fruits were divided into 5 groups of 15, one group as a control group and 4 groups treated with different concentrations of L-glutathione (4, 16, 32 and 64 mM respectively). After drying, the treated fruits were placed in zipped nylon bags and stored for 15 days in a cold room at ± 0.5 °C and a relative humidity of 90-95%. Also, three biological replicates at each time interval were included in the analysis. Samples obtained at each of specified time were placed to evaluate skin color, titratable acidity, soluble solids, taste index, pH, weight loss, total antioxidant capacity, total phenol content, and polyphenol oxidase enzyme activity.

Results and Discussion

The results of variance analysis showed that the effect of GSH treatment after harvesting, the effect of storage and the interaction between them differently affect each of the studied indicators. In terms of color, no significant



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90319.1375>

effect was found. The effect of storage ($p \leq 0.01$) and post-harvest treatment ($p \leq 0.05$) were significant on TA trait and its highest value was observed in 10 days of storage with 32 mM. In terms of antioxidant capacity ($p \leq 0.05$) and PPO activity ($p \leq 0.01$), the effect of GSH treatment after harvest was significant, and the highest amount was observed in 16 and 64 mM treatment, respectively. Also, the effect of storage time ($p \leq 0.05$) and the effect of GSH treatment after harvesting ($p \leq 0.01$) were significant in the trait of total phenol content, and the highest amount was observed in 15 days of storage and 64 mM treatment. However, both the storage ($p \leq 0.01$) and the post-harvest GSH treatment ($p \leq 0.05$) effects on fruit weight reduction were significant and the lowest weight loss was observed in 5 days of storage and 64 mM treatment. There were no significant changes in indices such as TSS, taste index and pH.

Conclusion

According to the obtained results, the treatment of 64 mM GSH is the best concentration of GSH to increase the shelf life of harvested strawberry fruits in cold storage.

Author Contributions

Manda-Hakki: conceptualization, data management, financing, research and review, resources, validation, visualization, writing-main draft, **Hassanpour:** formal analysis, methodology, project management, software, supervision, Writing - review and editing

Funding Sources

Part of this project was financially supported by Urmia University.

Acknowledgement

We appreciate and thank all those who were with us in this project, especially the officials of Horticulture Laboratory, Faculty of Agriculture, Urmia University.

Keywords: Antioxidant, Polyphenol oxidase, Storage, Total phenol

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۱۱۹-۱۳۲

تأثیر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی انبار سرد

کریم منداحکی^{۱*} - حمید حسن‌پور^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۱

چکیده

توت‌فرنگی میوه‌ای محبوب با طعم لذیذ و دارای منبع مهمی از مواد مغذی از قبیل مواد معدنی، ویتامین‌ها و پلی‌فنل‌ها است که حفظ این ویژگی‌ها در شرایط پس از برداشت از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. در پژوهش حاضر اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون (GSH) در غلظت‌های (صفر، ۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار) و زمان انبارمانی (۵، ۱۰ و ۱۵ روز) بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا طی مدت انبارمانی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج، بالاترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار ۳۲ میلی‌مولار (۱/۲۵ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه) و در روز دهم (۱/۲۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن میوه)، بالاترین میزان مواد جامد محلول در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۱۰ در صد)، کمترین میزان کاهش وزن در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۱/۲۷ در صد) و در روز پنجم (۱/۱۲ در صد)، بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۶ میلی‌مولار (۶۹/۹۵ در صد)، بالاترین محتوای فنل کل در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ۷۶۴/۱۸) و در روز ۱۵ام (میلی‌گرم اسید گالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه ۷۱۹/۱۴) و بالاترین میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) در تیمار ۶۴ میلی‌مولار (۳۶۰ واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن میوه) مشاهده شد. بطور کلی نتایج نشان داد که تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون با تأثیر مثبت بر سیستم آنتی‌اکسیدانی و حفظ شاخص‌های مناسب توت‌فرنگی می‌تواند مناسب‌ترین تیمار باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، انبارمانی، پلی‌فنل اکسیداز، فنل کل

مقدمه

غلظت عطرها در توت‌فرنگی با مدت زمان نگهداری کاهش می‌یابد (Baldwin et al., 2023). با این حال، در مرحله بعد از برداشت توت‌فرنگی بسیار مستعد فساد است و برای نگهداری و حمل و نقل طولانی مدت مناسب نیست زیرا مستعد نرم شدن بافت، فساد و قهوه‌ای شدن می‌باشد. بر اساس مطالعات احتمال پوسیدگی میوه‌های توت‌فرنگی در مرحله‌ی پس از برداشت حدود ۴۰ درصد است (Ren et al., 2023). ضایعات مواد غذایی یک چالش مهم جهانی می‌باشد که حدود ۳۰ درصد از مساحت زمین کشاورزی جهان در حال هدر رفتن است. هر سال حدود ۹/۵ میلیون تن غذا در مرحله پس از برداشت کشاورزی از بین می‌رود (Bishop et al., 2021). بنابراین، فناوری

توت‌فرنگی (*Fragaria × ananassa*) از خانواده Rosaceae می‌باشد، این میوه یک میوه محبوب با مواد مغذی غنی و طعم لذیذ است (Chang et al., 2023). این میوه نرم با طعم و عطر مناسب دارای منبع مهمی از مواد مغذی ارتقاءدهنده سلامتی مانند مواد معدنی، ویتامین‌ها و پلی‌فنل‌ها است که برای مصرف‌کنندگان جذاب می‌باشد (Vallarino et al., 2018). این میوه‌ها همچنین دارای مقادیر بالایی از متابولیت‌های ثانویه متنوع هستند که به ظاهر، طعم و عطر آن‌ها کمک فراوانی می‌کنند (Pott et al., 2019). علاوه بر این، توت‌فرنگی به‌دلیل طعم متمایز و مواد فرار فراوانش ارزش بالایی دارد. انواع و

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Karim.manda1995@gmail.com)

انبارمانی برای افزایش ماندگاری، حفظ تغذیه و حفظ طعم کالاهای تازه بسیار دارای اهمیت می‌باشد (Brizzolara et al., 2020; Holler et al., 2023). نگهداری در دمای کم بدون استفاده از سایر تیمارهای ترکیبی به دلیل ماهیت فاسدشدنی بالای میوه‌های توت‌فرنگی، ماندگاری آن را در سردخانه کم می‌کند. بنابراین، علاوه بر انبارمانی در دمای کم، سایر تکنیک‌های پس از برداشت نیز برای افزایش عمر انبارمانی میوه‌های توت‌فرنگی پس از برداشت گزارش شده است. یکی از این تکنیک‌ها، بکار بردن مواد شیمیایی می‌باشد (Kahramanoglu, 2019). در سال‌های اخیر، واکنش اسیدهای آمینه و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه به‌طور گسترده در میوه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. به همین ترتیب، بسیاری از محققان نشان داده‌اند که ویژگی‌های بسیاری از میوه‌ها را می‌توان به راحتی با اسیدهای آمینه مختلف و تنظیم‌کننده‌های رشد بهبود بخشید (Drobek et al., 2019). اسیدهای آمینه به‌عنوان مولکول‌های واسطه هورمون‌های گیاهی درون‌زا، به سنتز پروتئین کمک می‌کنند و تأثیر کمپلکس‌کننده‌ای بر مواد مغذی دارند (Taiz et al., 2017).

گلوتاتیون (GSH)، فراوان‌ترین تیول حاوی پپتید با وزن مولکولی کم می‌باشد که به‌طور گسترده در سلول‌های گیاهان و جانوران توزیع شده است و یک ماده فعال مهم در گیاهان است که می‌تواند رادیکال‌های آزاد موجودات زنده را مهار کند. همچنین یکی از مؤثرترین حذف‌کننده‌ها برای فرآیندهای متابولیک درون سلولی و پراکسیدهای تولید شده توسط گیاهان تحت تنش اکسیداتیو می‌باشد (Li et al., 2010). امروزه، گلوتاتیون یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی و بخش مهمی از چرخه آسکوربات-گلوتاتیون است، فرآیندی که سطوح پراکسید هیدروژن را در سلول‌های گیاهی کنترل می‌کند، همچنین دارای فعالیت بیولوژیکی در برابر تنش زیستی است (Hu et al., 2014; Kuzniak & SkLodowska, 2004). گلوتاتیون در بافت‌های مختلف گیاهی در غلظت‌های ۲ تا ۳ میلی‌مولار وجود دارد و نقش مهمی در بسیاری از فرآیندهای سلولی مانند تمایز سلولی، تنظیم آنزیمی، سیگنال‌دهی سلولی و مرگ سلولی ایفا می‌کند و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان عمل می‌کند (Diaz_Vivancos et al., 2015). در پژوهشی، محلول‌پاشی گلوتاتیون بر روی بوته‌های توت‌فرنگی باعث افزایش میزان فلاونوئید کل و میزان اسید آسکوربیک در میوه‌های برداشت شده آن شد، و نتایج نشان داد که کاربرد گلوتاتیون می‌تواند باعث افزایش عمر انبارمانی توت‌فرنگی گردد (Ge et al., 2019). گزارش شده است که کاربرد پس از برداشت گلوتاتیون در بامیه باعث کاهش قهوه‌ای شدن و جلوگیری از کاهش وزن آن شده است که سبب ایجاد بازارپسندی مناسب برای آن گردیده، همچنین گلوتاتیون باعث افزایش سطح فنل کل و فعالیت آنزیم آسکوربات پراکسیداز و کاهش سطح ROS و مالون

دی آلدئید شده که می‌تواند عمر پس از برداشت بامیه در سردخانه را افزایش دهد (Li et al., 2023). در مطالعه‌ای دیگر طی محلول‌پاشی گلوتاتیون روی فلفل دلمه‌ای برداشت شده در انبار مشاهده گردید که سطوح مالون‌دی‌آلدئید و رادیکال‌های آزاد در فلفل‌ها کاهش یافته و باعث افزایش عمر انبارمانی این میوه گردید (Yao et al., 2021). همچنین در آزمایشی بر روی فلفل‌های برداشت شده، محلول‌پاشی گلوتاتیون با غلظت‌های مختلف انجام شد که غلظت یک میلی‌مولار گلوتاتیون استفاده شده باعث کاهش سطح مالون دی آلدئید و پراکسید هیدروژن شد و همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر سوپر اکسید دسموتاز، کاتالاز و آسکوربات پراکسیداز، گردید که در نتیجه باعث افزایش عمر پس از برداشت فلفل شد (Ramzan et al., 2020). با توجه به اهمیت تغذیه‌ای توت‌فرنگی و عمر انبارمانی کم آن نیاز به استفاده از روش‌هایی جهت افزایش عمر پس از برداشت و حفظ خصوصیات بیوشیمیایی آن ضروری می‌باشد، علی‌رغم اینکه گلوتاتیون اثرات مثبتی بر عمر پس از برداشت و خصوصیات بیوشیمیایی میوه‌ها و سبزیجات دارد، اما با توجه به اطلاعات ما تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از این ترکیب و اثرات آن بر فیزیولوژی پس از برداشت توت‌فرنگی ارائه نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی و بررسی تأثیر کاربرد پس از برداشت گلوتاتیون بر ماندگاری و حفظ خصوصیات بیوشیمیایی و کیفی این میوه می‌باشد تا در آینده به‌عنوان یک روش و یک تیمار مناسب در محصولات برداشت شده استفاده شود.

مواد و روش‌ها

تهیه و تیمار میوه‌ها

میوه توت‌فرنگی رقم سابрина مورد آزمایش در این پژوهش از یک گلخانه تجاری واقع در ارومیه در مرحله بلوغ و رسیدگی کامل تهیه شد. میوه‌ها با احتیاط لازم جهت جلوگیری از وقوع هر گونه آسیب مکانیکی، به آزمایشگاه گروه علوم باغبانی دانشگاه ارومیه منتقل شدند. میوه‌ها از نظر اندازه و یکنواختی تفکیک گردیده، بطوری که میوه‌ها به ۵ گروه ۱۵ عددی تقسیم شده یک گروه به‌عنوان گروه شاهد و ۴ گروه به‌ترتیب با غلظت‌های ال-گلوتاتیون (۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار) تیمار شدند. بعد از خشک شدن میوه‌های تیمار شده در دمای اتاق، آن‌ها در داخل کیسه‌های نایلونی زیپ‌دار قرار داده شده و به‌مدت ۱۵ روز در دمای ۵/۰ ± ۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵-۹۰ درصد در سردخانه نگهداری شدند. همچنین سه تکرار بیولوژیکی در هر نقطه زمانی در آنالیز گنجانده شد. نمونه‌های بدست آمده در هر یک از این زمان‌ها جهت ارزیابی رنگ پوست میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH، کاهش وزن، سفتی، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی،

محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز مورد استفاده قرار گرفتند.

ارزیابی صفات مورد آزمایش

رنگ پوست میوه

تغییرات رنگ پوست با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج (CHROMA METER CR-400) ساخت ژاپن در دو نقطه‌ی پوست میوه اندازه‌گیری شد. در این روش مقادیر L^* ، a^* ، b^* ، Hue angle = $\arctan(b^*/a^*)$ و $Chroma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$ اندازه‌گیری شدند (Pathare et al., 2013).

اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)

برای اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراسیون از روش (Erkan & Selcuk, 2015) با کمی تغییر استفاده شد. همزمان با قرائت pH، عمل تیتراسیون توسط هیدروکسید سدیم (NaOH) ۰/۱ نرمال تا زمانی که pH عصاره به عدد ۸/۲ برسد انجام شد. بر اساس مقدار هیدروکسید سدیم مصرفی در جریان تیتراسیون مقدار اسید موجود در عصاره میوه به صورت میلی گرم اسید سیتریک در ۱۰۰ گرم محاسبه شد:

$$TA = (S \times N \times F \times E / C) \times 100$$

در این رابطه TA، مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون، S، مقدار NaOH مصرفی، N، نرمالیت، F، فاکتور NaOH، C، مقدار عصاره میوه، E، اکی والان اسید سیتریک

مواد جامد محلول (TSS)

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول از رفاکتومتر دستی مدل (ATAGO) استفاده شد (Jalili Marandi, 2013). همچنین شاخص طعم هر نمونه نیز از طریق مقدار مواد جامد محلول (TSS) بر اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) بدست آمد (Pelayo-zaldivar, 2005). میزان pH آبمیوه نیز با دستگاه pH متر دیجیتالی مدل (pH-Mtere CG 824) اندازه‌گیری شد.

کاهش وزن

برای اندازه‌گیری درصد کاهش وزن میوه‌ها، قبل از قرار دادن میوه‌ها در انبار و در روز پنجم، دهم و پانزدهم وزن آنها با استفاده از ترازوی دیجیتالی (مدل ۳۰۰ CANDGL) اندازه‌گیری و درصد کاهش وزن با استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (Meng et al., 2007).

$$100 \times \frac{\text{وزن میوه قبل از انبار کردن} - \text{وزن میوه پس از انبار کردن}}{\text{وزن میوه قبل از انبار کردن}} = \text{درصد کاهش وزن میوه}$$

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

جهت اندازه‌گیری ظرفیت آنتی‌اکسیدانی از رادیکال آزاد (DPPH 2,2-Diphenyl-picryl-Hydrazyl) استفاده شد. برای اندازه‌گیری توانایی عصاره‌ها در مهار رادیکال‌های آزاد، ۵۰ میکرولیتر از عصاره آماده شده را با ۱۹۵۰ میکرولیتر DPPH مخلوط کرده و سپس نمونه‌ها ۳۰ دقیقه در تاریکی قرار داده شدند و جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شده و بر اساس فرمول زیر با درصد بازدارندگی محاسبه گردید (Nakajima et al., 2004).

$$\text{درصد مهار رادیکال} = \frac{A_{\text{blank}} - A_{\text{sample}}}{A_{\text{blank}}} \times 100$$

که در این فرمول A blank; جذب نمونه شاهد و A sample; جذب نمونه‌ها می‌باشد.

محتوی فنل کل

برای اندازه‌گیری محتوای فنل کل به ۳۰ میکرولیتر از عصاره، ۶۰۰ میکرولیتر معرف فولین سیوکالتو ۱۰ درصد و ۹۰ میکرولیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت ۶ دقیقه ۴۸۰ میکرولیتر کرینات سدیم ۷/۵ درصد به آن اضافه گردید و حجم نهایی به ۱۲۰۰ میکرولیتر رسانده شد (Du et al., 2009). سپس نمونه‌ها به مدت ۱/۵ لی ۲ ساعت در محل تاریکی در دمای اتاق نگهداری شدند. بعد از این مدت جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (Dynamica HALO DB_20) قرائت گردید. نتایج بر حسب میلی گرم معادل اسیدگالیک در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه بیان شد.

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)

تهیه عصاره آنزیمی: هموژن حاصل از خیساندن و خرد کردن ۵۰۰ میکرولیتر از آبمیوه تهیه شده در ۲ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار pH=7.5 متشکل از ۱ درصد پلی‌وینیل پیرولیدون (PVP) و ۱ میلی‌مولار EDTA به عنوان یک عصاره آنزیمی برای ارزیابی آنزیم استفاده شد. عصاره بدست آمده پس از سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا زمان انجام آزمایش نگهداری شد (Bradford, 1976).

برای سنجش فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO) از روش (Pizzocaro et al., 1993) بر اساس اکسیداسیون کاتکول استفاده شد. ۲/۵ میلی‌لیتر ماده بافری را به ۰/۵ میلی‌لیتر عصاره آنزیمی اضافه کرده و پس از قرار دادن به مدت ۵ دقیقه در بن‌ماری در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، منحنی تغییرات جذب در طول موج ۴۰۰ نانومتر به مدت سه دقیقه اندازه‌گیری شد. یک واحد فعالیت آنزیمی عبارت از میزان تغییر PPO به مقدار ۰/۰۰۱ در دقیقه در یک میلی‌لیتر از عصاره آنزیم بود.

$$\frac{\Delta A \times 1000}{0.001 \times 25} = \text{فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز (واحد در دقیقه در ۱۰۰ گرم وزن تر)}$$

$$\Delta A = \text{اختلاف جذب}$$

۲۵=میزان گرم آنزیم به کار رفته

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تجزیه واریانس صفات نشان داد که تیمار ال-گلوتاتیون تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح احتمال آماری (۵ درصد)، درصد کاهش وزن (۱ درصد)، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۵ درصد)، محتوای فنل کل (۱ درصد) و میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (۱ درصد) داشته است. همچنین زمان انبارمانی نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در سطح آماری (۱ درصد)، درصد کاهش وزن (۱ درصد) و محتوای فنل کل (۵ درصد) داشته است. همچنین مشاهده شد که تیمارها اثر معنی‌داری بر تغییرات رنگ، مواد جامد محلول، شاخص طعم، pH و سفتی نداشتند (جدول ۱). در ضمن مقادیر این صفات در زمان صفر انبارمانی در جدول ۲ آورده شده است.

طرح آماری و آنالیز داده‌ها

پژوهش حاضر بصورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و در هر تکرار ۱۵ میوه در هر تکرار انجام شد. فاکتور اول غلظت‌های مختلف ال-گلوتاتیون در پنج سطح ۰، ۴، ۱۶، ۳۲ و ۶۴ میلی‌مولار و فاکتور دوم زمان انبارمانی در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ روز بود. داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و برای مقایسه میانگین از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطوح ۵ و ۱ درصد استفاده شد. برای رسم نمودارها نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی ساب‌رینا در طول

نگهداری در سردخانه

Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares				
		a*	b*	L*	Hue	Chroma
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	11.29 ^{ns}	8.05 ^{ns}	13.34 ^{ns}	25.92 ^{ns}	14.52 ^{ns}
زمان انبارمانی (Storage time)	2	4.2 ^{ns}	1.88 ^{ns}	4.96 ^{ns}	8.58 ^{ns}	10.87 ^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione × Storage time)	8	7.52 ^{ns}	2.32 ^{ns}	4.18 ^{ns}	1.52 ^{ns}	19.55 ^{ns}
خطا Error	30	13.34	4.03	6.32	14.4	24.73
ضریب تغییرات (%) (CV)	-	12.67	15.58	8.34	15.62	16.06

دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد به ترتیب عدم تفاوت معنی و *، *^{ns}

^{ns}, * and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی توت‌فرنگی ساب‌رینا در طول

نگهداری در سردخانه

The continuation of Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی Degree of freedom	میانگین مربعات Mean squares			
		اسیدیته قابل تیتراسیون (TA)	مواد جامد محلول (TSS)	شاخص طعم (TSS/TA)	pH
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	0.04*	2.98 ^{ns}	0.9 ^{ns}	0.002 ^{ns}
زمان انبارمانی (Storage time)	2	0.18**	1.4 ^{ns}	2.6 ^{ns}	0.024 ^{ns} 0.013 ^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione × Storage time)	8	0.034 ^{ns}	1.16 ^{ns}	2.07 ^{ns}	0.036
خطا Error	30	0.016	1.28	1.23	
ضریب تغییرات (%) (CV)	-	11	12.9	14.6	4.62

^{ns}, * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

ادامه جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر برخی خصوصیات فیزیکیوشیمیایی توت‌فرنگی سابرینا در طول نگهداری در سردخانه

The continuation of Table 1- Results of variance analysis of the effect postharvest L-glutathione application on the physicochemical characteristics of Sabrina strawberry during cold storage

منابع تغییرات Sources of variations	درجه آزادی (Degree of freedom)	میانگین مربعات (mean squares)			
		کاهش وزن میوه Fruit weight loss	ظرفیت آنتی‌اکسیدانی Anti-oxidant capacity	فنل کل Total phenol	پلی‌فنل اکسیداز PPO
ال-گلوتاتیون (L-glutathione)	4	0.223**	270.07*	24926.9**	90943.8**
زمان انبارمانی (Storage time)	2	2.26**	76.31 ^{ns}	1252.2*	7789.01 ^{ns}
ال-گلوتاتیون × زمان انبارمانی (L-glutathione × Storage time)	8	0.050 ^{ns}	67.45 ^{ns}	1518.4 ^{ns}	9472.5 ^{ns}
خطا Error	30	0.027	98.35	3399.4	8674.06
ضریب تغییرات (%) (CV)	-	10.71	16.82	8.5	45.35

^{ns}, * و **: به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

^{ns}, * and **: No significant difference and significant difference at the probability level of 5 and 1 percent, respectively.

جدول ۲- نتایج برخی از صفات کیفی میوه توت‌فرنگی سابرینا در زمان برداشت

Table 2- The results of some quality traits of Sabrina strawberry fruit at harvest time

صفات Attributes											
a*	b*	L*	Hue	Chroma	اسیدیته تیتراسیون (TA) mg.100g) (FW	مواد جامد محلول (TSS) (%)	شاخص طعم (TSS/T A)	pH	ظرفیت آنتی- اکسیدانی (Anti-oxidant) (capacity (%)	فنل کل (Total) (Phenol) mg) GA.100 ⁻¹ . (FW	پلی‌فنل اکسیداز (PPO) U.min.100) (g FW
2.98	1.01	2.84	2.39	31.8	1.18	8.33	6.98	3.3	60.99	772.7	320

رنگ میوه

رنگ میوه یک شاخص کیفی مهم بازاری پسندی می‌باشد. بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی و همچنین برهم‌کنش بین تیمار و مدت انبارمانی بر هیچ یک از شاخص‌های تغییرات رنگ اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۱). این نتایج نشان‌دهنده این می‌باشد که تیمار ال-گلوتاتیون می‌تواند باعث حفظ رنگ میوه در طول انبارمانی شود و تغییر و کاهش رنگ آن معنی‌دار نبوده است.

اسیدیته قابل تیتراسیون

مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در شروع انبارمانی (۱/۱۸۳ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم وزن تر میوه) بود (جدول ۲). با توجه به نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی به ترتیب در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد اثر معنی‌داری داشتند (شکل ۱). در پایان دوره انبارمانی بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار ۳۲ میلی‌مولار و در روز ۱۰ انبارمانی مشاهده شد.

اسیدها بعنوان منبع اندوخته مهمی از انرژی میوه می‌باشند که در هنگام رسیدن با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (Jalili Marandi, 2016). اسیدیته میوه یک ویژگی مهم در تعیین کیفیت آن است و اسیدهای قابل تیتراسیون ارتباط مستقیم با غلظت اسیدهای ارگانیک موجود در میوه دارند (Akhtar et al., 2010). کاهش اسیدیته قابل تیتراسیون در زمان انبارمانی به دلیل تغییرات متابولیکی میوه ناشی از مصرف شدت اسیدهای آلی در فرایند تنفس می‌باشد (Akhond et al., 2022). اسیدهای آلی به هنگام رسیدن میوه در نتیجه تنفس و نیز تبدیل شدن به قندها کاهش می‌یابند و این کاهش رابطه مستقیم با فعالیت‌های متابولیکی دارد. در واقع اسیدهای آلی به عنوان یک منبع ذخیره و مهم برای میوه عمل می‌نماید و هنگام رسیدن آن، با افزایش سوخت و ساز مصرف می‌شوند (Getenit et al., 2008). اسیدهای آمینه از کاهش اسید تیتراسیون در طول دوره انبارمانی در میوه‌ها به دلیل کاهش تنفس جلوگیری نمودند و نرخ تنفس پایین در نهایت از مصرف اسیدهای آلی جلوگیری می‌نماید (Gohari et al., 2021). گزارش شده است که کاربرد فنیل‌آلانین در گوجه‌فرنگی سبب تحمل به سرمازدگی

و بهبود اسیدیته شده و همچنین سطح آنتی‌اکسیدانی را نیز طی انبارمانی حفظ کرده است (Aghdam et al., 2019).

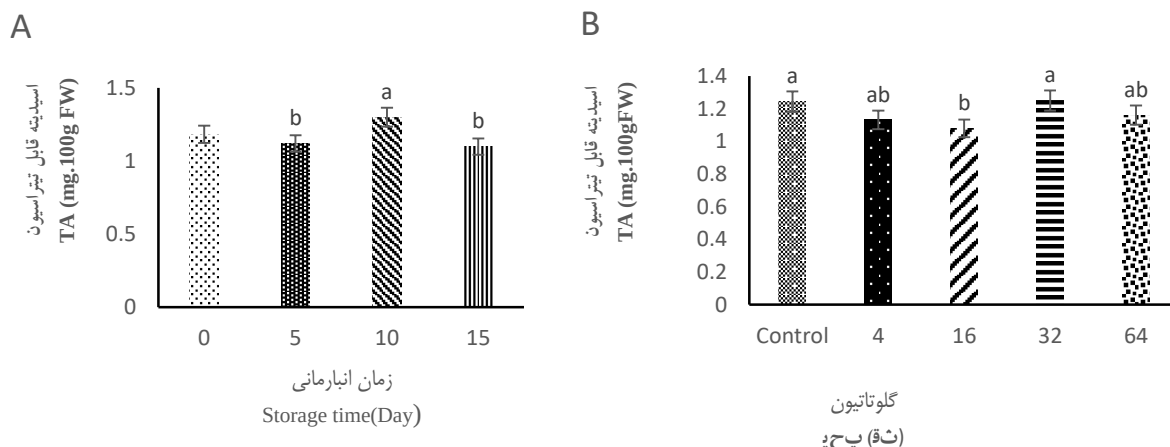
مواد جامد محلول

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل مابین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی در سطح احتمال ۵ درصد اثر معنی‌داری بر TSS میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی ۱۵ روز انبارمانی در سردخانه داشت. تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون نسبت به سایر تیمارها افزایش TSS بیشتری را نشان داد (شکل ۲). مواد جامد محلول از شاخص‌های کیفی مهم می‌باشد که رابطه بالایی با ساختار میوه دارد. میوه حاوی قندهایی مانند نشاسته، گلوکز، فروکتوز و ساکارز می‌باشد که مقادیر بالای این قندها در دوره رسیدن میوه و پس از برداشت به دلیل هیدرولیز نشاسته افزایش می‌یابد (Davaranpanah et al., 2013). افزایش TSS هم به دلیل شکسته شدن کربوهیدرات‌ها، مواد پکتیکی، هیدرولیز پروتئین‌ها و تجزیه قندها به واحدهای کوچکتر در طی فرآیند تنفس اتفاق می‌افتد و همچنین

به دلیل شکسته شدن پلی ساکاریدهای دیواره سلولی (سلول، همی سلولز و پکتین) و تبدیل شدن آن به قندهای محلول صورت می‌گیرد و هر عاملی که از شکستن دیواره سلولی جلوگیری نماید و یا آن را کاهش دهد باعث جلوگیری از افزایش غیر عادی TSS خواهد شد (Hazbavi et al., 2013). تحقیقات انجام شده نشان داد که در طول مدت زمان انبارمانی در میوه انار رقم ملس ساوه، TSS میوه افزایش یافت و تیمار فنیل‌آلانین باعث حفظ مواد جامد محلول میوه شد (Keshavarz, 2018).

شاخص طعم و pH

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی و همچنین برهمکنش بین تیمار و مدت انبارمانی بر هیچ یک از شاخص‌های طعم و pH اثر معنی‌داری نداشته است و مقدار هر یک از این شاخص‌ها در شروع انبارمانی به ترتیب ۶٫۹۸ و ۳٫۳۳ درصد بود.



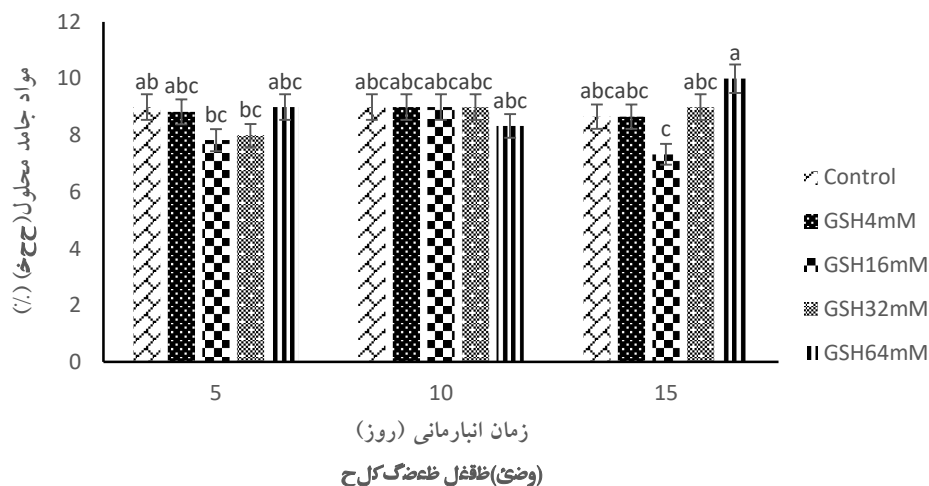
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی (A) و تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون (B) بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 1. Comparison of the average effect of storage time (A) and L-glutathione post-harvest treatment (B) on TA of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

مشاهده شد (شکل ۳). وزن میوه یکی از شاخص‌های مهم کیفیت میوه می‌باشد که به مرور زمان با توجه به شرایط نگهداری کاهش می‌یابد. در دوره پس از برداشت دو عامل مهم باعث از دست دادن آب و کاهش وزن محصول می‌شود: نخست قطع شدن رابط آبی میوه با گیاه مادری و دوم افزایش تعرق از سطح میوه که یک فرایند فیزیولوژیکی می‌باشد و منجر به از دست دادن رطوبت محصول می‌گردد (Treviño Garza et al., 2015).

کاهش وزن

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی در سطح احتمال ۱ درصدی اثر معنی‌داری بر کاهش وزن میوه توت‌فرنگی سابرینا داشتند. لازم به ذکر است که اثر متقابل مابین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی اثر معنی‌داری بر درصد کاهش وزن میوه‌ها نداشت. کمترین کاهش وزن در روز ۵ و در تیمار ۶۴ میلی‌مولار ال-گلوتاتیون



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال-گلوپتایون و مدت زمان انبارمانی بر مواد جامد محلول کل میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

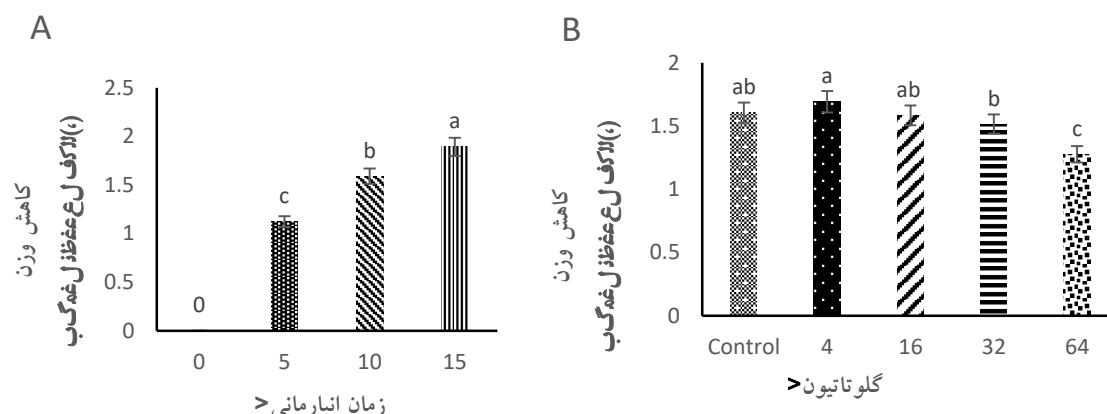
Fig. 2. Comparison of the mean interaction effect between L-glutathione post-harvest treatment and storage time on the total soluble solids of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۶ میلی‌مولار مشاهده شد (شکل ۴ A). همچنین مدت زمان انبارمانی و برهمکنش بین تیمار و مدت انبارمانی اثر معنی‌داری بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه‌ها نداشتند. آنتی‌اکسیدان‌ها باعث جلوگیری از اکسیداسیون‌های مولکول‌های زیستی سلول‌ها مانند لیپیدها، پروتئین و DNA ها و کربوهیدرات‌ها می‌شوند (Dar et al., 2015). یکی از آسیب‌های مهم بافتی که ممکن است در اثر قرار گرفتن گیاهان در معرض تنش‌ها رخ دهد، افزایش تولید گونه‌های اکسیژن آزاد می‌باشد. تجمع بیش از حد ROS باعث کاهش سیالیت غشا، انتقال یونی، فعالیت آنزیمی و سنتز پروتئین‌ها می‌شود و در نهایت مرگ سلولی را به همراه خواهد داشت (Ranjbar Malidarreh et al., 2019). به‌طور کلی افزایش ظرفیت و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ارتباط مستقیمی با افزایش مدت زمان انبارمانی دارد (Sowmyashree et al., 2021). ال-گلوپتایون همواره نقش مهمی در سیستم آنتی‌اکسیدانی سلول داشته است، ما نیز در یافته‌های خود به این نتیجه رسیدیم که ال-گلوپتایون نقش آنتی‌اکسیدانی را در سلول ایفا می‌کند. در یک مطالعه‌ی قبلی گزارش شده است که کاربرد ال-گلوپتایون پس از برداشت روی میوه‌های توت‌فرنگی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی آنها را از طریق افزایش محتوای آنتی‌اکسیدانی درون‌زا بهبود بخشید (Ge et al., 2019).

همچنین کاهش وزن میوه یک شاخص مهم است که میزان تنفس و تبخیر رطوبت بین بافت میوه و هوای اطراف را منعکس می‌کند. محلول پاشی GSH روی سطح میوه باعث کاهش تلفات تعرق می‌شود و به‌عنوان مانع عمل می‌کند. پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی میوه‌های توت‌فرنگی با تخریب لایه میانی و کاهش پکتین در طی نگهداری پس از برداشت نرم تر می‌شوند. طبق یافته‌های ما، هر چه میوه‌ها بیشتر در انبار نگهداری شوند، وزن میوه‌ها بیشتر کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که عامل زمان نگهداری رابطه مستقیمی با کاهش وزن میوه‌ها دارد که می‌تواند ناشی از افزایش تنفس و از دست دادن آب میوه باشد. در حقیقت یکی از ویژگی‌های بسیار مهم برای ارزیابی کیفیت محصول کاهش وزن است که به میزان تعرق و تنفس میوه مربوط می‌شود. میوه توت‌فرنگی به‌دلیل داشتن پوست نازک مستعد از دست دادن آب است. این امر بر بازارپسندی محصول اثر منفی می‌گذارد و باعث نرم شدن بافت، تغییر رنگ و طعم میوه، تسریع روند پیری، رشد عوامل بیماری‌زا و سرمازدگی می‌شود (De Bruno et al., 2023). لی و همکاران (Li et al., 2023) گزارش کردند که GSH از کاهش وزن بیشتر در بامیه جلوگیری می‌کند که نتایج ما با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. جلوگیری از کاهش وزن میوه توسط GSH می‌تواند به‌دلیل کاهش و حذف رادیکال‌های آزاد و کاهش تنفس باشد.

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلوپتایون در سطح احتمال ۵ درصدی اثر معنی‌داری بر میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا داشت (جدول ۱). بالاترین



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر زمان انبارمانی (A) و تیمار پس از برداشت ال-گلو تاتیون (B) بر درصد کاهش وزن میوه توت فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 3. Comparison of the mean effect of storage time (A) and L-glutathione post-harvest treatment (B) on the weight loss percentage of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

را افزایش دهد. نتایج ما با گزارش لی و همکاران (Li et al., 2023) مطابقت دارد.

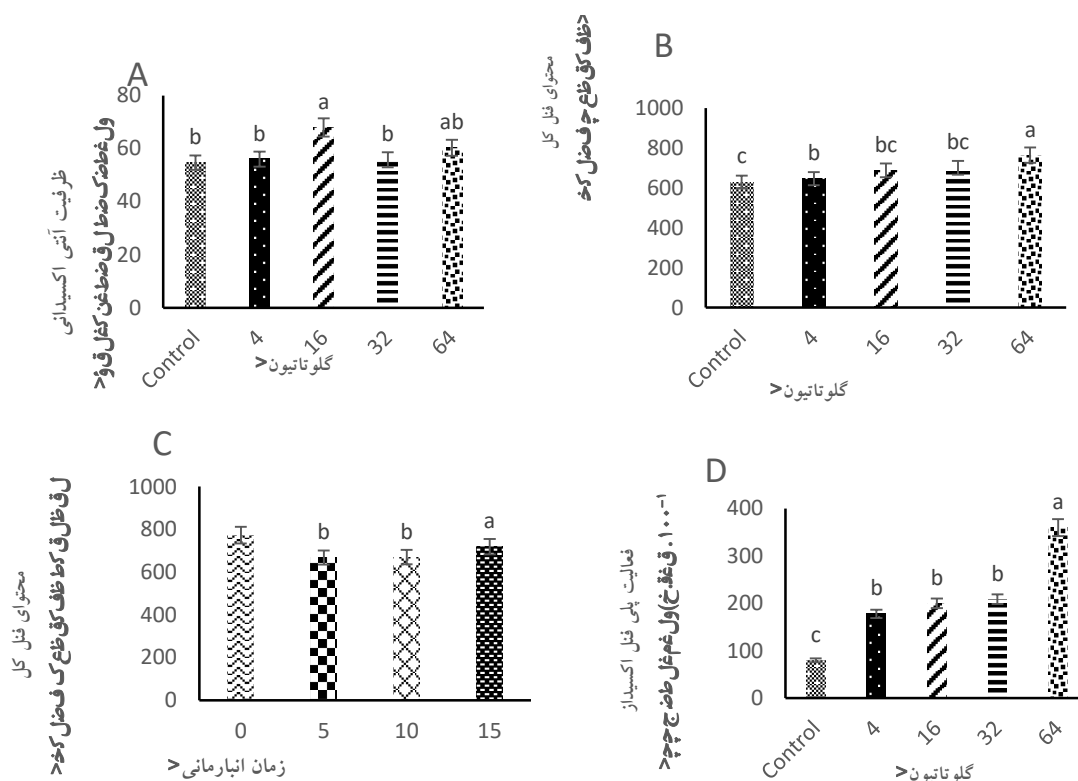
آنزیم پلی فنل اکسیداز

بر اساس نتایج جدول واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلو تاتیون در سطح احتمال ۱ درصد اثر معنی داری بر میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز گذاشته است (جدول ۱). البته مدت زمان انبارمانی و برهمکنش میان تیمار و مدت زمان انبارمانی اثر معنی داری بر میزان فعالیت این آنزیم نداشته است. بالاترین میزان فعالیت آنزیم پلی فنل اکسیداز در تیمار ۶۴ میلی مولار مشاهده گردید (شکل ۴ D). مکانیسم های مختلفی جهت مقابله با گونه های فعال اکسیژن در موجودات زنده یافت شده است که یکی از مهمترین آنها سیستم آنزیمی آنتی اکسیدانی است. گیاهان برای مقابله با تنش اکسیداتیو از طریق تولید آنزیم های دفاعی آنتی اکسیدانی پاسخ داده و از تخریب بیشتر سلول ها جلوگیری می کنند (Van & Clijsters, 1990; Prasad, 1997). آسیب هایی که به بافت محصولات کشاورزی وارد می شود مانند پوست کردن، خرد شدن و ... باعث آزاد شدن PPO از بافت می شود. هنگامی که مواد شیمیایی فنلی در معرض این آنزیم قرار می گیرند، قهوه ای شدن آنزیمی اتفاق می افتد. در نهایت، در نتیجه این واکنش، رنگدانه های قهوه ای آلی و نامحلول به نام ملانین تشکیل می شود (AL-abbasy et al., 2021). پلی فنل اکسیداز به مانند آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز در مسیر فنیل پروپانویید (مسیر تولید متابولیت های ثانویه که در تولید انواع ترکیبات فنولی با ساختار دفاعی نقش ویژه ای ایفا می کنند، درگیر هستند

محتوای فنل کل

بر اساس نتایج جدول واریانس، تیمار پس از برداشت ال-گلو تاتیون و مدت انبارمانی به ترتیب در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد اثر معنی داری بر محتوای فنل کل میوه توت فرنگی رقم سابرینا داشتند (جدول ۱). البته برهمکنش میان تیمار و مدت انبارمانی اثر معنی داری بر محتوای فنل کل میوه ها نداشت. بالاترین میزان محتوای فنل کل با تیمار ۶۴ میلی مولار (شکل ۴ B) و روز ۱۵ (شکل ۴ C) همراه بود. توت فرنگی از جمله میوه هایی است که مجهز به انواع سیستم های ضد اکسایشی غیر آنزیمی مانند ویتامین ث، ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین ها و سایر متابولیت های ثانویه می باشد (Aminifard et al., 2013). ترکیبات فنلی توانایی از بین بردن رادیکال های آزاد را دارند و با سرکوب شروع یا انتشار واکنش های زنجیره ای اکسید کننده، فرایند اکسیداسیون لیپید را به تأخیر بیندازند. علاوه بر این، ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه ها با محتوای فنلی ارتباط مستقیمی دارد (Xu et al., 2021). ترکیبات فنلی از جمله متابولیت های ثانویه گیاه می باشند که نقش عمده ای در تنظیم رشد و گسترش گیاه دارند و به عنوان آنتی اکسیدان قوی در بافت های گیاهی تحت تنش های مختلف به وجود می آید (Ali & Ismail, 2014). با توجه به نتایج این پژوهش می توان به این نتیجه رسید که میان محتوای فنل کل و ظرفیت آنتی اکسیدانی رابطه مستقیم وجود دارد و افزایش محتوای فنل کل باعث افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی می گردد. لی و همکاران (Li et al., 2023) گزارش کرده اند که کاربرد پس از برداشت گلو تاتیون در بامیه باعث افزایش سطح فنل کل شده که می تواند عمر پس از برداشت بامیه در سردخانه

(Ryalls et al., 1996). بنابراین آنزیم PPO نقش ویژه‌ای را در دفاع برابر پوسیدگی‌های قارچی ایفا می‌نماید (Yang et al., 2011).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (A)، محتوای فنل کل (B) و مقایسه میانگین اثر مدت زمان انبارمانی بر محتوای فنل کل (C) و مقایسه میانگین اثر تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون بر میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (D) میوه توت‌فرنگی سابرینا در طول ۱۵ روز انبارمانی

Fig. 4. Comparison of the mean effect of post-harvest L-glutathione treatment on antioxidant capacity (A), total phenol content (B) and comparison of the mean effect of storage time on total phenol content (C) and comparison of the mean effect of post-harvest treatment L-glutathione on the amount of polyphenol oxidase (D) enzyme activity of Sabrina strawberry fruit during 15 days of storage

این پژوهش نشان داد که ما می‌توانیم از تیمار ال-گلوتاتیون به‌عنوان یک تیمار و روش مفید جهت حفظ خصوصیات کیفی و همچنین افزایش ماندگاری میوه توت‌فرنگی و سایر میوه‌ها و سبزیجات طی انبارمانی در سردخانه استفاده نمائیم. البته نیاز به بررسی بیشتر می‌باشد.

میزان مشارکت نویسندگان

کریم منداحکی: مفهوم‌سازی، مدیریت داده‌ها، تأمین مالی، تحقیق و بررسی، منابع، اعتبارسنجی، تجسم، نوشتن-پیش نویس اصلی، **حمید حسن پور:** تحلیل رسمی، روش‌شناسی، مدیریت پروژه، نرم‌افزار، نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی شاخص‌های کیفی و کمی توت‌فرنگی تیمار شده با گلوتاتیون در طی نگهداری سرد پرداخت. نتایج این پژوهش نشان داد که تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون تأثیر مثبتی در حفظ صفات کیفی میوه توت‌فرنگی رقم سابرینا در طی دوره ۱۵ روزه انبارمانی داشت، به‌طوری‌که باعث افزایش میزان اسیدیته قابل تیتراسیون، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی، محتوای فنل کل و فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز شده و همچنین با حفظ یکپارچگی غشای سلولی از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد به‌وسیله ترکیبات فنلی و آنتی‌اکسیدانی و تحریک مسیر فعال فنیل پروپانویید از کاهش وزن میوه‌ها جلوگیری کرد. همچنین اثر متقابل بین تیمار پس از برداشت ال-گلوتاتیون و مدت زمان انبارمانی باعث افزایش محتوای مواد جامد محلول گردید.

منابع تأمین مالی

از تمامی کسانی که در این پروژه همراه ما بودند علی‌الخصوص مسئولین آزمایشگاه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تقدیر و تشکر می‌نمائیم.

بخشی از این پروژه تحت حمایت مالی دانشگاه ارومیه قرار گرفت.

سیاسگزاری

References

1. Aghdam, M.S., Moradi, M., Razavi, F., & Rabiei, V. (2019). Exogenous phenylalanine application promotes chilling tolerance in tomato fruits during cold storage by ensuring supply of NADPH for activation of ROS scavenging systems. *Scientia Horticulturae*, 246, 818–25. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.074>
2. Akhtar, A., Abbasi, N.A., & Hussain, A. (2010). Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loguati fruit during storage. *Pakistan Journal of Botany*, 42, 181–188. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2015.54260>
3. Akhond, M., Heidarizadeh, F., & Kolahi, M. (2022). Comparative study of qualitative and chemical characteristics of Camarosa and Parus strawberry cultivars during 15 days of storage. *Developmental Biology*, 14(2), 43–52. <https://www.magiran.com/p2456873>
4. AL-abbasy, O. Y., Ali, W. I. & Al-lehebe, N. I. (2021). Inhibition of enzymatic browning in fruit and vegetable, review. *Samarra Journal of Pure and Applied Science*, 3(1), 56–73.
5. Ali, H.E.M., & Ismail, G.S.M. (2014). Tomato fruit quality as influenced by salinity and nitric oxide. *Turkish Journal of Botany*, 38(1), 122–129. <https://doi.org/10.3906/bot-1210-44>
6. Aminifard, M., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., & Jaafar, H. (2013). Effect of compost on antioxidant components and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Central European Agriculture*, 14(2), 525–534. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.2.1232>
7. Baldwin, A., Dhorajiwala, R., Roberts, C., Dimitrova, S., Tu, S., Jones, S., Ludluw, R.A., Cammarisano, L., Davoli, D., Andrews, R., Kent, N.A., Spadafora, N.D., Muller, C.T., & Rogers, H.J. (2023). Storage of halved strawberry fruits affects aroma, phytochemical content and gene expression, and is affected by pre-harvest factors. *Plant Science*, 14, 1165056. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1165056>
8. Bishop, G., Styles, D., & Lens, P.N.L. (2021). Environmental performance of bioplastic packaging on fresh food produce: a consequential life cycle assessment. *Journal Clean Prod.* 317, 128377. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128377>
9. Bradford, M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248–254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
10. Brizzolara, S., Manganaris, G.A., Fotopoulos, V., Watkins, C.B., & Tonutti, P. (2020). Primary metabolism in fresh fruits during storage. *Front Plant Science*, 11, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00080>
11. Chang, L., Xu, L., Yang, Z., Liu, L., & Qiu, D. (2023). Antibacterial and antioxidative biogenic films for room-temperature strawberry preservation. *Food Chemistry*. 405, 134983. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134893>
12. Dar, T.A., Uddin, M., Khan, M.M.A., Hakeem, K.R., & Jaleel, H. (2015). Jasmonates counter plant stress: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 115, 49–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.02.010>
13. Davarpanah, J., Kiasat, A.R., Noorizadeh, S., & Ghahremani M. (2013). Nano magnetic double-charged diazoniabicyclo [2.2.2] octane dichloride silica hybrid: Synthesis, characterization, and application as an efficient and reusable organic-inorganic hybrid silica with ionic liquid framework for one-pot synthesis of pyran annulated heterocyclic compounds in water. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 376, 78–89. <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2013.04.020>
14. De Bruno, A., Gattuso, A., Ritorto, D., Piscopo, A., & Poiana, M. (2023). Effect of edible coating enriched with natural antioxidant extract and Bergamot essential oil on the shelf life of strawberries. *Foods*, 12(3), 488. <https://doi.org/10.3390/foods12030488>
15. Diaz-Vivancos, P., de Simone, A., Kiddle, G., & Foyer, CH. (2015). Glutathione-linking cell proliferation to oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, 89, 1154–1164. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2015.09.023>
16. Drobek, M., Frac, M., & Cybulska, J. (2019). Plant biostimulants: Importance of the quality and yield of horticultural crops and the improvement of plant tolerance to abiotic stress. A review. *Agronomy*, 9, 335. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
17. Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113, 557–562. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.025>

18. Erkan, M., & Selcuk, N. (2015). The effects of 1-MCP treatment on fruit quality of medlar fruit (*Mespilus germanica* L. cv. Istanbul) during long term storage in the palliflex storage system. *Postharvest Biology and Technology*, 100, 81–90. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.09.018>
19. Ge, C., Luo, Y., Mo, F., Xiao, Y.H., Li, N.Y., & Tang, H.R. (2019). Effects of glutathione on the ripening quality of strawberry fruits. *AIP Conference Proceedings*, 2079, 020013. <https://doi.org/10.1063/1.5092391>
20. Getenit, H., Seyoum, T., & Woldetsdik, K. (2008). The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 87, 467–498. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.12.031>
21. Gohari, G., Molaei, S., Kheiry, A., Ghafouri, M., Razavi, F., Lorenzo, J.M., & Juárez-Maldonado, A. (2021). Exogenous application of proline and L-cysteine alleviates internal browning and maintains eating quality of cold stored flat 'maleki' peach fruits. *Horticulturae*, 7(11), 469. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110469>
22. Hazbavi, L., Khoshtaghaza, M.H., Mostaan, A., & Banakar, A. (2013). Effect of postharvest hot-water and heat treatment on quality of date palm (cv. *Stamarkan*). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14, 53–159. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.003>
23. Holler, M., Alberdi-Cedeno, J., Aunon-Lopez, A., Pointner, T., Martínez-Yusta, A., Konig, J., & Pignitter, M. (2023). Polylactic acid as a promising sustainable plastic packaging for edible oils. *Food Packaging and Shelf Life*, 36(101051). <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101051>
24. Hu, H., Wang, L., Wang, Q., Jiao, L., Hua, W., Zhou, Q., & Huang, X. (2014). Photosynthesis, chlorophyll fluorescence characteristics, and chlorophyll content of soybean seedlings under combined stress of bisphenol A and cadmium. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 33, 2455–2462. <https://doi.org/10.1002/etc.2720>
25. Jalili Marandi, R. (2013). *Postharvest Physiology (handling and storage of fruits, vegetables, ornamental plants and medicinal plants)*. 4 nd Ed., Jihad University Press, West Azerbaijan Branch, 624 P. (In Persian)
26. Jalili Marandi, R. (2016). *Small fruits*. Urmia Academic Jahad Publications. (In Persian)
27. Kahramanoglu, I. (2019). Effects of lemongrass oil application and modified atmosphere packaging on the postharvest life and quality of strawberry fruits. *Science Horticultural*, 256, 108527. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.054>
28. Keshavarz Afshar, F. (2017). Postharvest effects of phenylalanine, sodium hydrosulfide, and hydrogen sulfide on the biochemical and antioxidant properties of Meles Saveh pomegranate fruit during cold storage. Master thesis of Zanjan University Faculty of Agriculture. 90 pages.
29. Kuzniak, E., & SkLodowska, M. (2004). Differential implication of glutathione, glutathione-metabolizing enzymes and ascorbate in tomato resistance to pseudomonas syringae. *Journal Phytopathology*, 152(10), 529–536. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2004.00884.x>
30. Treviño Garza, M.Z., García, S., Del Socorro Flores González, M., & Arévalo Niño, K. (2015). Edible active coatings based on pectin, pullulan, and chitosan increase quality and shelf life of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Food Sciences*, 80(8), 1823–1830. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12938>
31. Li, X., Bao, Z., Chen, Y., Lan, Q., Song, C., Shi, L., Chen, W., Gao, S., Yang, Z., & Zheng, Q. (2023). Exogenous glutathione modulates redox homeostasis in okra (*Abelmoschus esculentus*) during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 195, 11245. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112145>
32. Li, Z.G., Xu, Z.C., & Su, Y.S. (2010). Research progress in plant glutathione. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 22, 118–121.
33. Meng, X., Li, B., Liu, J., & Tina, S. (2007). Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and postharvest coating during storage. *Food Chemistry*, 106, 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.012>
34. Nakajima, J.I., Tanaka, I., Seo, S., Yamazaki, M., & Saito, K. (2004). LC/PDA/ESI-MS profiling and radical scavenging activity of anthocyanins in various berries. *Biomed Research International*, 241–247. <https://doi.org/10.1155/S1110724304404045>
35. Pathare, P.B., Opara, L.U., & Al-Said, A.F. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed food: A review. *Food Bioprocess Technology*, 6(1), 36–60. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
36. Pelayo-Zaldivar, C., Ebeler, S.E., & Kader, A. (2005). Cultiver and harvest date effect on flavor and other quality attributes of California strawberries. *Journal of Food Quality*, 28, 78–97. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2005.00005.x>
37. Pizzocaro, F., Torreggiani, D., & Gilardi, G. (1993). Inhibition of apple polyphenoloxidase (PPO) by ascorbic acid, citric acid and sodium chloride. *Journal of Food Processing and Preservation*, 17, 21–30. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.1993.tb00223.x>
38. Pott, D.M., Osorio, S., & Vallarino, J.G. (2019). From central to specialized metabolism: An overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit. *Frontiers in Plant Science*, 10, 835. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00835>

39. Ramzan, M., Aslam, M.N., Akram, S., Shah, A.A., Danish, S., Islam, W., Mustafa, A.E.M.A., Al-Ghamdi, A.A., & Alajmi, A.H. (2020). Exogenous glutathione revealed protection to bacterial spot disease: Modulation of photosystem II and H₂O₂ scavenging antioxidant enzyme system in *Capsicum annum* L. *Journal of King Saud University – Science*, 33, 101223. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.10.020>
40. Ranjbar Malidarreh, T., Askari Sarcheshmeh, M.A., Babalar, M., Shokri Heydari, H., & Ahmadi, A. (2019). Changes in some physiological and biochemical characteristics of plum (*Prunus salicina* cv. Flavor supreme pluot) affected by salicylic acid and iron pretreatment during storage with two different temperatures. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 55(3), 525-539. (In Persian). <https://doi.org/10.22059/ijhs.2019.278214.1620>
41. Ren, H., Yang, G., Feng, E. X., He, S., & Huang, Q. (2023). First report of mucorinaequisporus dade (Mucorales, Mucoromycota) causing postharvest rot of strawberry fruit in Kunming, China. *Plant Disease*, 107(1), 2241. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-22-2262-PDN>
42. Ryalls, J., Neuenschwander, U., Willits, M., Molina, A., Steiner, H.Y., & Hunt, M. (1996). Systemic acquired resistance. *The Plant Cell*, 8, 1809–1819. <https://doi.org/10.1105/tpc.8.10.1809>
43. Sowmyashree, A., Sharma, R., Rudra, S.G., & Grover, M. (2021). Layer-by-Layer coating of hydrocolloids and mixed plant extract reduces fruit decay and improves postharvest life of nectarine fruits during cold storage. *Acta Physiologiae Plantarum*, 43(8), 112. <https://doi.org/10.1007/s11738-021-03256-8>
44. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I., & Murphy, A. (2017). Physiology and plant development. *Porto Alegre: Artmed*. 858. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg079>
45. Vallarino, J.G., de Abreu e Lima, F., Soria, C., Tong, H., Pott, D.M., Willmitzer, L., Fernie, A.R., Nikoloski, Z., & Osorio, S. (2018). Genetic diversity of strawberry germplasm using metabolomic biomarkers. *Scientific Reports*, 8, 14386. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-32212-9>
46. Van Assche, F., & Clijsters, H. (1990). Effects of metals on enzyme activity in plants. *Plant Cell Environ*, 13, 195–206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01304.x>
47. Xu, D.Y., Zuo, J.Y., Fang, Y.L., Yan, Z.C., Shi, J.Y., Gao, L.P., Wang, Q., & Jiang, A.L. (2021). Effect of folic acid on the postharvest physiology of broccoli during storage. *Food Chemistry*, 339, 127981. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127981>
48. Yan, J., Luo, Z., Ban, Z., Lu, H., Li, D., Yang, D., & Li, L. (2019). The effect of the layer bylayer (LBL) edible coating on strawberry quality and metabolites during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.002>
49. Yang, Z., Cao, S., Cai, Y., & Zheng, Y. (2011). Combination of salicylic acid and ultrasound to control postharvest blue mold caused by *Penicillium expansum* in peach fruit. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 12, 310-314. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.04.010>
50. Yao, M., Ge, W., Zhou, Q., Zhou, X., Luo, M., Zhao, Y., Wei, B., & Ji, S. (2021). Exogenous glutathione alleviates chilling injury in postharvest bell pepper by modulating the ascorbate-glutathione (AsA-GSH) cycle. *Food Chemistry*, 352, 129458. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129458>

Contents

Research Articles

- Improving the Nutritional Properties and Reducing the Oil Absorption of Donut Using Saponinized Quinoa Flour** 1
M. Morad Nia, A. Arianfar , A. Mohammadi Sani , Z. Sheikholeslami
- Effect of Chitosan Coating with Different Degrees of Deacetylation on the Shelf Life of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)** 13
H. Ghorbanzadeh, J. Mohammadzadeh Milani, A. Motamedzadegan
- Preparation of Nanoniosomes at different Cholesterol Concentrations Using the Thin-film Hydration Method for Nanoencapsulation of Pure Polyphenolic Compounds** 29
Z. Ganjeh-Soltanabadi, R. Shaddel, Y. Zahedi
- Shelf Life Extension of Grouper Fish Fillet (*Epinephelus coioides*) Using Biodegradable Chitosan/Chia Mucilage Coating Containing *Rubia tinctorum* L. Plant Extract** 47
M. Nouri
- Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, Textural, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise** 61
M. Akbari, M.J. Varidi, M. Varidi, H. Yarabbi
- The Use of Edible Coatings Pre and Post-harvesting on the Quality Characteristics of Golden Delicious Apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)** 79
F. Eini Tari, A. EhteshamNia, H. Mumivand, M. Raji
- Investigating the Physicochemical and Antimicrobial Properties of Gelatin-carboxymethyl Cellulose Edible Film Containing *Dorema aucheri* Extract** 103
E. Ahmadi, S. Panahi, A. Karimzadeh, H. Hassanzadeh, M. Hosseini
- The Effect of L-glutathione Postharvest Treatment on the Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry Fruit during Cold Storage** 119
K. Manda-Hakki, H. Hassanpour

Iranian Food Science and Technology Research Journal

Vol. 21

No. 1

2025

Published by:	Ferdowsi University of Mashhad, (College of Agriculture), Iran
Executive Manager:	N. Shahnoushi, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Editor-in-Chief:	M. Yavarmanesh, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Editorial Board:	
Mortazavi, Seyed A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
Shahidi, F.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Habibi najafi, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Razavi, Seyed M. A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Kashaninejad, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran
Khomeiri, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Agricultural Sciences & Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran
Farhoosh, R.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Fazli Bazzaz, S.	Professor, Department of Pharmaceutical Chemistry, School of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran
Koocheki, A.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Mohebbi, M.	Professor, Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
Ghanbarzadeh, B.	Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran
Alemzadeh, I.	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
Rajabzadeh, GH.	Associate Professor, Department of Food Nanotechnology, Research Institute of Food Science and Technology, Mashhad, Iran
Heydarpour, M.	Associate Professor, Brigham and Women's Hospital, Boston, Massachusetts. United States America
Ghoddusi, H. B.	Associate Professor, School of Human Sciences, London Metropolitan University, England
Khosravidarani, K.	Professor, Department of Food Industry, School of Nutrition Sciences & Food Technology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
Abbaszadegan, M.	Professor, Director Water & Environmental Technology Center, Arizona State University, United States of America
Mohammadifar, M. A.	Associate Professor, Research Group for Food Production Engineering, Technical University of Denmark, Denmark
Vosoughi, M.	Professor, Department of Food Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
Almasi, H.	Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Urmia University, Urmia , Iran
Fathi, M.	Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan University of Technology Isfahan, Iran
Abbasi, S.	Professor, Department of Food Science and Technology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Borges, N.	Professor, Faculty of Nutrition and Food Sciences, University of Porto; Portugal
Moazzami, Ali A.	Doctor of Philosophy, Department of Molecular Sciences, Swedish University, Sweden
Dr. Nkemnaso Obi C.	Department of Microbiology, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Abia State, Nigeria
Dr, Olalekan Adeyeye S.A.	Department of Food Technology, Hindustan Institute of Technology and Science, Chennai, Tamil Nadu, India
Publisher	Ferdowsi University of Mashhad
Address:	College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
P.O.BOX:	91775- 1163
Fax:	(98)051-38787430
E-Mail:	ifstrj@um.ac.ir
Web Site:	https://ifstrj.um.ac.ir

Contents

Research Articles

- Improving the Nutritional Properties and Reducing the Oil Absorption of Donut Using Saponinized Quinoa Flour..... 1**
M. Morad Nia, A. Arianfar , A. Mohammadi Sani , Z. Sheikholeslami
- Effect of Chitosan Coating with Different Degrees of Deacetylation on the Shelf Life of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)..... 13**
H. Ghorbanzadeh, J. Mohammadzadeh Milani, A. Motamedzadegan
- Preparation of Nanoniosomes at different Cholesterol Concentrations Using the Thin-film Hydration Method for Nanoencapsulation of Pure Polyphenolic Compounds 29**
Z. Ganjeh-Soltanabadi, R. Shaddel, Y. Zahedi
- Shelf Life Extension of Grouper Fish Fillet (*Epinephelus coioides*) Using Biodegradable Chitosan/Chia Mucilage Coating Containing *Rubia tinctorum* L. Plant Extract.....47**
M. Nouri
- Effect of Aloe Vera Gel on the Physicochemical, Rheological, and Sensory Properties of Low-Fat Mayonnaise 61**
M. Akbari, M.J. Varidi, M. Varidi, H. Yarabbi
- The Use of Edible Coatings Pre and Post-harvesting on the Quality Characteristics of Golden Delicious Apple (*Malus domestica* cv. Golden Delicious)..... 79**
F. Eini Tari, A. EhteshamNia, H. Mumivand, M. Raji
- Investigating the Physicochemical and Antimicrobial Properties of Gelatin-carboxymethyl Cellulose Edible Film Containing *Dorema aucheri* Extract 103**
E. Ahmadi, S. Panahi, A. Karimzadeh, H. Hassanzadeh, M. Hosseini
- The Effect of L-glutathione Postharvest Treatment on the Physicochemical Characteristics of Sabrina Strawberry Fruit during Cold Storage..... 119**
K. Manda-Hakki, H. Hassanpour