



Investigation of changes in the odor and quality of basil coated with chitosan solution during storage

Nahid Aghilinategh^{1*} | Rashid Gholami²

1- Corresponding Author Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. n.aghili@razi.ac.ir

2- Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. r.gholami@razi.ac.ir

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	The aim of this study was to package basil leaves with regular polyethylene film and polyethylene equipped with nanoparticles (2% nanoclay) under normal and modified atmosphere (5% O2 and 5% CO2) conditions along with chitosan coating. Physical and visual properties included weight loss, b*, a*, L and ΔE, chemical properties as total soluble solid (TSS), pH, total acidity (TA) and total phenolic content (TPC) were measured during the storage period (10 days), and the odor of the samples was also examined using an electronic nose system. The study of the trend of all samples showed a weight loss of all treatments during the storage period. At the end of the storage period, the highest weight loss was observed in LCC samples, which weighed 54.56 grams, while the lowest weight loss was recorded in NMC samples, which weighed 74.89 grams. The results showed a downward trend in the color indices L*, a* and b*. The results showed an increase in the pH and TSS values during the storage period for all treatments. On the other hand, the results showed a decrease in TA during the storage period for all treatments. The results showed a decreasing trend in the TPC of basil during the storage period for all treatments. The confusion matrix obtained from the response surface method (RSM) showed the accuracy of classifying the samples by film type, coating and type of gas inside the package was 100%, while in the adaptive neuro-fuzzy inference (ANFIS) method, only samples with different packaging gases were classified with 100% accuracy.
Article history:	
Received: March. 11, 2025	
Revised: Apr. 25, 2025	
Accepted: May. 4, 2025	
Published online: Spring 2025	
Keywords: <i>Basil,</i> <i>Physicochemical Properties,</i> <i>Olfactory Machine,</i> <i>ANFIS,</i> <i>RSM</i>	
Cite this article: Aghili Nategh, N., Gholami, R., (2025) Investigation of changes in the odor and quality of basil coated with chitosan solution during storage, <i>Iranian Journal of Biosystem Engineering</i> , 56 (1),35-50. https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.391868.665592	
© The Author(s).	Publisher: The University of Tehran Press.
DOI: https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.391868.665592	

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Given the high sensitivity of basil leaves in the post-harvest stages and their severe quality decline in a short period of time, it is important to use packaging that maintains quality throughout the post-harvest period until it reaches the consumer. In recent years, methods have been proposed to maintain the quality of agricultural products, including the use of Nano film, modified atmosphere, coating, storage temperature control, etc. Packaging of fresh products in polyethylene bags has now become a common method. Packaging changes the composition of the air to provide an optimal environment for maintaining quality. The use of films equipped with nanoparticle due to the structure of these particles in the desired film and the modification of the permeability of the packaging film will have a direct impact on the respiration of agricultural products during storage. At present, scientists have realized the importance of identifying and determining odor in many fields. Odor measurement is an advanced and particularly effective method in obtaining parameters affecting food quality. In this study, basil leaves packaged with regular polyethylene film and polyethylene equipped with Nano particles were evaluated under normal and modified atmosphere conditions. Physical and chemical properties were measured during the storage period, and the odor of the samples was also examined as a quality indicator of basil using an electronic nose (e-nose) system.

Method

This research was conducted on Holy Basil variety. The samples were divided into two groups, one group without coating (Control) and the other group was coated with 1% chitosan by immersion method. Two types of light polyethylene films (LDPE) and polyethylene equipped with Nano clay particles (Nano) were used to package the samples. Also, two atmospheric conditions were considered for the gas inside the packages. Half of the samples were filled with ambient atmosphere (control) and the other half with modified atmosphere (MAP) containing 5% oxygen and 5% carbon dioxide. The dimensions of the packages were 10×10 square centimeters and 20 grams of basil sample were placed in each package. During the 10-day storage period, the samples from each package were evaluated once every other day. All physical and chemical tests were performed in 3 repetitions and e-nose tests in 8 repetitions. The tests performed included:

- 1-Measurement of acidity, pH and TSS
- 2-Investigation of total phenol content
- 3-Investigation of weight loss and color indices
- 4-Investigation of aromatic properties during the storage period

Finally, data analysis was performed using response surface methodology (RSM) and neural-fuzzy network (ANFIS).

Results

The results of the analysis of variance of the data showed that the storage period, the atmosphere inside the package, the film and the coating had a significant effect at the 95 and 99 percent level on the changes in the weight of the samples. The results of the analysis of variance of the TPC showed a significant effect (at the 99 percent level) of the storage period, the film and the coating on the changes in this factor, while the effect of the atmosphere inside the package was not significant. The storage period, coating, the atmosphere inside the package and the film had a significant effect at the 1 and 5 percent level on some sensors. At the end of the storage period, the highest change (increase) in pH was in LCCh samples, at 17.48%, and the lowest change was in NMC samples, at 11.84%. While the highest TSS changes were in LCC samples, and the lowest changes were in NMCh samples, at 6.78 and 2.26%, respectively. The confusion matrix obtained from ANFIS for the samples with different packaging gases was classified with an accuracy of 100 percent. The accuracy of detecting storage day, film type, and coating was reported to be 98%, 94%, and 91%, respectively.

Conclusion

The results showed that under the same conditions, samples packaged with Nano film had less weight loss than samples packaged with PE film. The RSM with higher accuracy in all 4 classification criteria (based on storage period, coating, film and gas inside the package) was reported to be a more suitable method than the neuro-fuzzy method. Also, the use of e-nose machine is a suitable tool for identifying samples. The proper performance of the e-nose in identifying samples can indicate the promising application of this technology in separating samples.

Author Contributions

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

This research was carried out in Razi University, Kermanshah-IRAN. Therefore, the authors are thankful to Razi University for their supporting.

Ethical considerations

The study was approved by the research Committee of the University of Razi .The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest

بررسی تغییرات بو و کیفیت ریحان پوشش دهی شده با محلول کایتوسان در طول دوره نگهداری

ناهید عقلی ناطق^۱ و رشید غلامی^۲^۱ نویسنده مسئول، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران n.aghili@razi.ac.ir^۲ گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی سنقر، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران r.gholamii@razi.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف از انجام این مطالعه بسته بندی برگ ریحان با فیلم پلی اتیلن معمولی و پلی اتیلن مجهز به ذرات نانو (۲٪ نانو رس) تحت شرایط اتمسفر معمولی و اصلاح شده (۵٪ اکسیژن و ۵٪ دی اکسید کربن) همراه با پوشش دهی کایتوسان بود. خواص فیزیکی و ظاهری شامل کاهش وزن، a^* ، b^* و L^* ، $E\Delta$ ، خواص شیمیایی همچون pH، مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته قابل تیتراسیون (TA) و محتوای فنول کل (TPC) در طول دوره نگهداری (۱۰ روز) اندازه گیری شد، همچنین با استفاده از یک سامانه بین الکترونیک نیز بو نمونه ها مورد بررسی قرار گرفت. بررسی روند تمامی نمونه ها نشان دهنده کاهش وزن تمامی تیمارها در طول دوره نگهداری بود. در پایان دوره نگهداری بیشترین کاهش وزن در نمونه های LCC مشاهده شد که وزنی معادل ۵۴/۵۶ گرم داشتند، در حالی که کمترین افت وزن در نمونه های NMC با وزنی معادل ۷۴/۸۹ گرم ثبت گردید. نتایج نشان دهنده روند نزولی شاخص های رنگی L^* ، a^* و b^* بود. نتایج نشان دهنده افزایش در مقدار pH و TSS در طول دوره نگهداری برای تمامی تیمارها بود. بررسی نتایج نشان دهنده روند کاهش محتوای فنول ریحان در طول دوره نگهداری برای تمامی تیمارها بود. ماتریس اغتشاش حاصل از روش سطح پاسخ نشان داد دقت تشخیص نمونه ها با نوع فیلم، پوشش و نوع گاز داخل بسته بندی مختلف ۱۰۰ درصد می باشد در حالیکه در روش انفیس فقط نمونه ها با گاز بسته بندی مختلف با دقت ۱۰۰ درصد طبقه بندی شدند.
واژه های کلیدی: ریحان، خواص فیزیکی و شیمیایی، ماشین بوایی، انفیس، روش سطح پاسخ	

استناد: عقلی ناطق؛ ناهید، غلامی؛ رشید، (۱۴۰۴) بررسی تغییرات بو و کیفیت ریحان پوشش دهی شده با محلول کایتوسان در طول دوره نگهداری، مجله مهندسی بیوسیستم ایران/ ایران، ۵۶ (۱)، ۵۰-۳۵. <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.391868.665592>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijbse.2025.391868.665592>



مقدمه

ریحان (*Ocimum basilicum*) یک گیاه مغذی برجسته در ایتالیا و کشورهای آسیای جنوب شرقی است. ریحان مربوط به مناطق گرمسیری آسیا به ویژه هندوستان و ایران است، اما اکنون به طور گسترده در سراسر جهان در دسترس است. ریحان که یک گیاه معطر است، به طور گسترده در مواد غذایی استفاده می‌شود عطر و طعم متمایز و همچنین خواص ضد میکروبی، ضد التهابی، آنتی اکسیدانی، ضد ویروسی یا دارویی آن چشمگیر است (Boateng, 2013). برگ‌های تازه یا خشک ریحان را می‌توان به عنوان ادویه استفاده کرد. ریحان شامل اسانس‌های گسترده‌ای غنی از ترکیبات فنولی ((Phippen & Simon, 2000) و سایر محصولات طبیعی از جمله پلی‌فنول‌ها مانند فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها ((Phippen & Simon, 1998) است که به فعالیت آنتی اکسیدان قوی ریحان کمک می‌کنند. کیفیت برگ‌های ریحان به طور مداوم در طول مدت حمل و نقل و ذخیره سازی بسته به شرایط محیطی بدتر می‌شود. چندین فرآیند بیوشیمیایی در طول دوره ذخیره سازی یا پیری برگ رخ می‌دهد مانند تخریب پروتئین‌ها، کلروفیل، اسید نوکلئیک (Buchanan-Wollaston, 1997) با دخالت چندین آنزیم و تغییر رنگ برگ‌ها به دلیل تخریب کلروفیل، بارزترین علامت است. قهوه‌ای شدن برگ‌ها در طول نگهداری ممکن است به دلیل فعالیت آنزیم پراکسیداز (POD) یا کاتکول اکسیداز (Wongsheree et al, 2009) باشد. با توجه به حساسیت بالای برگ ریحان در مراحل پس از برداشت و افت کیفیت شدید آن در مدت زمان کوتاه، استفاده از بسته بندی‌هایی که باعث حفظ کیفیت در طول دوره پس از برداشت تا رسیدن به دست مصرف کننده شوند، حائز اهمیت می‌باشد. در این میان روش‌هایی به منظور حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر ارائه شده است که از جمله آنها می‌توان به استفاده از نانو فیلم‌ها، اتمسفر اصلاح شده، پوشش دهی، کنترل دمای نگهداری و غیره اشاره نمود (Gholami et al., 2017; Sharma et al., 2018; Hassan et al., 2021). بسته بندی محصولات تازه در کیسه‌های پلی اتیلن در حال حاضر به یک روش رایج تبدیل شده است. بسته بندی ترکیب هوا را تغییر می‌دهد تا فضایی بهینه برای حفظ کیفیت از طریق ایجاد یک فضای اصلاح شده که سبب کاهش سرعت تنفس، بهبود حفظ رطوبت و افزایش عمر نگهداری از طریق مهار زوال فیزیولوژیکی محصول می‌گردد (Mangaraj et al, 2009). استفاده از فیلم‌های مجهز به ذرات نانو از جمله نانو رس، نانو سیلیس و نانو نقره به دلیل ساختار قرار گیری این ذرات در فیلم مورد نظر و اصلاح نفوذ پذیری فیلم بسته بندی تاثیر مستقیمی بر تنفس محصولات کشاورزی در دوره انبارداری خواهند داشت (Gholami et al, 2017). محصولات کشاورزی در مراحل پس از برداشت دارای تنفس می‌باشند، اکسیژن مصرف و دی اکسید کربن آزاد می‌کنند، بالا بودن نرخ تنفس موجب تسریع فرآیند افزایش سن و کنترل بیش از حد میزان تنفس نیز سبب فساد محصول می‌شود به همین جهت ایجاد شرایط برای کنترل این تنفس به میزانی که سبب افزایش طول عمر ماندگاری شود مهم و حیاتی است. در زمان حاضر، دانشمندان به اهمیت شناسایی و تعیین بو در بسیاری از زمینه‌ها دست یافته‌اند. سنجش بو روشی پیشرفته و به ویژه موثر در کسب پارامترهای تاثیرگذار بر کیفیت مواد غذایی است. زیرا بوی ساطع شده از مواد غذایی نشان دهنده تغییر ترکیبات تشکیل دهنده آن‌ها می‌باشد. بینی الکترونیکی که به عنوان دستگاهی برای تقلید از بویایی انسان طراحی شده است، می‌تواند بوی نمونه‌های مختلف را به طور دقیق تشخیص دهد (Qiu et al, 2017). در سال‌های اخیر تحقیقاتی در زمینه بررسی خواص ریحان در مرحله پس از برداشت همچنین کاربرد بینی الکترونیک در کشاورزی صورت گرفته است که برخی از آنها عبارت‌اند از: در تحقیقی افزایش عمر ماندگاری و تازه خوری برگ ریحان توسط پوشش دهی با پوشش‌های خوراکی کایتوسان، کایتوسان همراه با نانوذره و روغن آویشن حاوی کایتوسان توسط Hasan et al. (2021) بررسی شده است. نتایج آنها نشان دهنده حفظ کیفیت ریحان پوشش دهی شده نسبت به نمونه شاهد، همچنین تاثیر بیشتر پوشش آویشن همراه با کایتوسان بر حفظ کیفیت ریحان در طول دوره نگهداری بوده است. در پژوهشی که توسط Patino et al. (2018) صورت گرفت، مشخص شد که استفاده از اتمسفر اصلاح شده همراه به همراه پوشش دهی با متیل سیکلوپروپن-۱ تاثیر مثبتی در افزایش عمر ماندگاری و کیفیت برگ ریحان در طول دوره نگهداری داشته است. تحقیقی که توسط گلچین و همکاران (۱۳۹۸) با عنوان فناوری بینی الکترونیک برای درجه بندی غیر مخرب گیاه دارویی ریحان صورت گرفته است. نتایج تحقیق نشان دهنده آن بوده که بینی الکترونیکی به عنوان ابزاری ارزان، دقیق، آسان در راستای شناسایی گونه‌های گیاه ریحان موثر است. در تحقیقی که توسط Gholami et al. (2023) صورت گرفته مشخص شد که بینی الکترونیک با دقت بالایی توانایی تفکیک و طبقه بندی قارچ سفید دکمه‌ای تحت شرایط مختلف بسته بندی را داشته است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته و حساسیت بالای ریحان در دوره پس از برداشت، در این پژوهش برگ ریحان در شرایط پوشش دهی شده با محلول کایتوسان و بدون پوشش دهی، بسته بندی شده با فیلم پلی اتیلن معمولی و پلی اتیلن مجهز به ذرات نانو تحت شرایط اتمسفر معمولی و اصلاح شده

مورد ارزیابی قرار گرفت. خواص فیزیکی و شیمیایی در طول دوره نگهداری اندازه گیری شد، همچنین با استفاده از یک سامانه بینی الکترونیک نیز بو نمونه‌ها به عنوان شاخص کیفی ریحان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌ها و بسته بندی

این پژوهش بر روی ریحان وارسته مقدس صورت پذیرفته است. برگ ریحان تازه، به صورت دستی و با دقت از مزرعه سبزیجات برداشت گردید. برگ‌ها با دقت پاک شده در محفظه ای قرار داده شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شده، یک گروه بدون پوشش دهی (Control) و گروه دیگر با استفاده از کایتوسان ۱٪ و به روش غوطه وری پوشش دهی شدند. فیلم‌های بسته بندی از پژوهشگاه پلیمر ایران تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. از دو نوع فیلم پلی اتیلن سبک (LDPE) و پلی اتیلن مجهز به ذرات نانو رس (حاوی ۲ درصد ذرات نانو رس) به منظور بسته بندی نمونه‌ها استفاده گردید. همچنین دو حالت اتمسفری برای فضای داخل بسته‌ها در نظر گرفته شد. نیمی از نمونه‌ها با اتمسفر محیط (control) و نیمی دیگر با اتمسفر اصلاح شده (MAP) حاوی ۵٪ اکسیژن و ۵٪ دی اکسید کربن پر شدند (Patino et al., 2018). نمونه‌ها تحت شرایط مختلف و به منظور شناسایی بهتر کد گذاری شدند که در جدول ۱ نشان داده شده است. ابعاد بسته‌ها ۱۰×۱۰ سانتیمتر مربع و در هر بسته به میزان ۲۰ گرم نمونه ریحان قرار داده شد. در نهایت تمامی نمونه‌ها در یخچال با دمای 4 ± 1 درجه سلسیوس به مدت ۱۰ روز نگهداری شدند. در طول دوره نگهداری به صورت دوره ای و هر یک روز در میان از هر بسته نمونه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. تمامی آزمون‌های فیزیکی و شیمیایی در ۳ تکرار و آزمون‌های سامانه بویای در ۸ تکرار صورت پذیرفت.

جدول ۱- تعیین تیمارها و کدهای مربوط به آنها

کد نمونه	شرایط پوشش دهی	اتم‌سفر داخل بسته	نوع فیلم
LCC	بدون پوشش (control)	اتم‌سفر محیط (control)	پلی اتیلن سبک (LDPE)
LCCh	با پوشش (chitosan)	اتم‌سفر محیط (control)	پلی اتیلن سبک (LDPE)
LMC	بدون پوشش (control)	اتم‌سفر اصلاح شده (MAP)	پلی اتیلن سبک (LDPE)
LMCh	با پوشش (chitosan)	اتم‌سفر اصلاح شده (MAP)	پلی اتیلن سبک (LDPE)
NCC	بدون پوشش (control)	اتم‌سفر محیط (control)	نانو (Nano)
NCCh	با پوشش (chitosan)	اتم‌سفر محیط (control)	نانو (Nano)
NMC	بدون پوشش (control)	اتم‌سفر اصلاح شده (MAP)	نانو (Nano)
NMCh	با پوشش (chitosan)	اتم‌سفر اصلاح شده (MAP)	نانو (Nano)

آزمون‌های فیزیکو شیمیایی ریحان

اندازه‌گیری اسیدیت، pH و TSS

در این تحقیق خواص شیمیایی در هر دوره و در سه تکرار اندازه گیری شد. pH با استفاده از دستگاه pH متر مدل PHS3-W3B ساخت کشور ایتالیا با رزولوشن ۰/۰۱ اندازه گیری شد. ابتدا دستگاه توسط بافرهای ۴ و ۷ تنظیم و سپس pH نمونه‌ها در دمای 25°C قرائت گردید. همچنین TSS با استفاده از دستگاه رفاکتومتر آتاگو مدل PLA-2 ساخت کشور ژاپن با رزولوشن ۰/۰۱، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری TSS ابتدا دستگاه با استفاده از آب مقطر کالیبره شده و سپس نمونه یکنواخت از کاغذ صافی عبور داده شده و چند قطره از آن جهت قرائت روی دستگاه قرار گرفت و قرائت انجام پذیرفت.

میزان اسیدیت قابل تیتراسیون با استفاده از روش AOAC (1984). مقدار اسیدیت کل از رابطه (۱)

محاسبه گردید:

رابطه (۱)

(وزن نمونه برداشته شده) $(100 \times 0.064 \times \text{حجم مصرفی هیدروکسید سدیم} / 1) =$ درصد اسیدیت بر حسب اسید سیتریک

همچنین نسبت TSS/TA به عنوان شاخص طعم یا شاخص بلوغ نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

بررسی میزان فنول کل

برای استخراج ترکیبات فنولی، برگ‌های ریحان (۱ گرم) خرد شده و به مدت ۱ ساعت با ۵ میلی‌لیتر متانول ۸۰٪ مخلوط شدند. نمونه مخلوط شده فیلتر شد و با شستشو با متانول داغ ۸۰٪ به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شد. عصاره متانولی تهیه شده برای تخمین ترکیبات فنولی استفاده شد. برای تخمین فنول کل، عصاره متانولی (۵، ۰ میلی‌لیتر) تبخیر و خشک شد و باقیمانده در ۶،۵ میلی‌لیتر آب مقطر حل گردید. سپس، ۵/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین به آن اضافه شد و کاملاً تکان داده شد. بعد از ۵ دقیقه، ۱ میلی‌لیتر محلول اشباع Na_2CO_3 اضافه شد و مخلوط واکنش به مدت ۱ ساعت در دمای اتاق انکوبه شد. جذب رنگ آبی در ۷۶۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر (Spectronic-20 Genesys, IL, USA) خوانده شد غلظت فنول کل از منحنی استاندارد تهیه شده با استفاده از اسید گالیک (۱۰-۵۰ لیتر) تعیین شد. نتایج به صورت میلی گرم گالیک بر گرم بیان شد (Vega- Gálvez et al. 2009).

بررسی افت وزن و شاخص های رنگ

در این پژوهش کاهش وزن نمونه های ریحان در طول دوره نگهداری همانند سایر خواص به صورت یک روز در میان و به مدت ۱۰ روز و هر بار در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. از هر تیمار ۱۰۰ گرم نمونه در روز اول آماده شد و در روزهای آزمایش وزن آنها مجدداً اندازه گیری شد و نمودار افت وزن ترسیم گردید (Sharma et al, 2018).

اندازه گیری شاخص های رنگی اولیه همچون L^* ، a^* ، b^* و همچنین اندازه گیری شاخص های ثانویه همچون تغییرات رنگ (ΔE) با استفاده از شاخص های اولیه، تعیین کننده کیفیت ظاهری محصول کشاورزی در طول دوره نگهداری می باشد. شاخص L^* به عنوان شاخص روشنایی، شاخص a^* به عنوان شاخص سبز-قرمز و شاخص b^* به عنوان شاخص آبی-زرد شناخته می شوند. به همین منظور شاخص های اولیه با استفاده از دستگاه رنگ سنج (Shenzhen Handsome Technology Co., Ltd.) model hp-200 اندازه گیری و شاخص تغییر رنگ از رابطه (۲) محاسبه گردید (Gholami et al, 2020):

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_0^*)^2 + (a_1^* - a_0^*)^2 + (b_1^* - b_0^*)^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه، ΔE تغییر رنگ نمونه، شاخص های دارای زیرنویس صفر نشان دهنده مقادیر آن شاخص در روز ابتدایی آزمایشها و زیر نویس ۱ مقدار شاخص مورد نظر در روز آزمایش را نشان می دهند.

بررسی خواص آروماتیک در طول دوره نگهداری

خواص آروماتیک توسط سامانه بینی الکترونیک که در پژوهش قبلی نویسندگان (Gholami et al, 2023) با جزییات توضیح داده شده است، اندازه گیری شد. سامانه بینی الکترونیکی استفاده شده، از یک میکروپمپ، سیستم جمع‌آوری داده، منبع تغذیه ۵ و ۱۲ ولتی، فیلتر هوای ورودی (کربن فعال) رابط گرافیکی (Labview, 2014) محفظه نمونه و محفظه حسگرها تشکیل شده بود. به منظور انجام آزمایشات این پژوهش از ۱۰ حسگر نیمه هادی اکسید فلز (MOS) استفاده گردید. جهت انجام تست‌های بویایی ۵ گرم از هر نمونه را داخل ظروف مخصوص در دار ریخته و ظروف به صورت مستقیم به دستگاه بینی الکترونیک متصل شدند. پس از گذشت ۱۵ دقیقه انجام تست بویایی توسط دستگاه آغاز می‌گردید.

تحلیل داده‌ها

داده های پیش پردازش شده به روش های سطح پاسخ (RSM) و شبکه عصبی-فازی (ANFIS) با استفاده از نرم افزار Design Expert و Matlab 2015a تحلیل گردید و همچنین به کمک نرم افزار Design Expert به تجزیه واریانس پرداخته شد. در روش سطح پاسخ (RSM) از روش های آماری و ریاضی برای بهینه نمودن و گسترش فرایند ها استفاده می کند که قادر است با کمترین داده‌ها و با ایجاد یک طرح آزمایشی، چندین متغیر را تعیین کند. زمانی که عوامل زیادی روی متغیرها اثر گذار باشند، این روش بهترین ابزارها را برای بهینه نمودن فرایند در داده ها پرداخته شد. اختیار ما قرار می‌دهد. روش سطح پاسخ برای مدل کردن و تحلیل متغیرهای پاسخ که دارای چندین متغیر مستقل هستند، بسیار عالی عملی‌کند (Montgomery, 2005; Sohrabi et al, 2022). انفیس از سیستم‌های فازی (که بر اساس قوانین منطقی عمل می‌کنند) و روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی چندلایه (که بر اساس داده‌های عددی کار می‌کنند) تشکیل شده است. از آنجایی که این سیستم، شبکه های عصبی و مفاهیم منطق فازی را یکی می کند، می‌تواند از امکانات هر دو آنها در یک قاب بهره برد. از این رو، تحلیل عصبی - فازی به عنوان یک برآورد جهانی مطرح شده است. در هر دو روش مذکور، نهاده از لایه ورودی (توسط تابع عضویت ورودی) گذر کرده و سپس خروجی مدل در لایه خروجی (توسط تابع عضویت خروجی) به‌دست می‌آید. از

آن جایی که در چنین مدل منطق فازی پیشرفته‌ای از شبکه عصبی استفاده شده است، با استفاده از یک الگوریتم یادگیری می‌توان پارامترها را تا آن جا که به جواب بهینه دست یافت، تغییر داد. در حقیقت در این روش منطق فازی با استفاده از قابلیت‌های شبکه عصبی پارامترهای خود را تنظیم می‌نماید (Ghose et al, 2013).

ارزیابی دقت الگوهای تشخیص

بعد از انجام تمامی آزمایش‌ها و طراحی مدل‌های مختلف طبقه‌بندی و پیش بینی، براساس پارامترهای آماری مانند ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا، ارزیابی دقت و عملکرد الگوهای تشخیص بر اساس شاخص‌های زیر انجام گرفت. حالت مثبت حقیقی (TP)، منفی حقیقی (TN)، منفی کاذب (FN) و مثبت کاذب (FP). از این پارامترها سه شاخص حساسیت، ویژگی و دقت بدست آمد (Gholami et al, 2023).

$$\text{Accuracy} = (TP+TN) / (TP+FN+FP+TN)$$

رابطه ۳)

$$\text{Sensitivity (TPR)} = TP / (TP+FN)$$

رابطه ۴)

$$\text{Specificity (TNR)} = TN / (TN+FP)$$

رابطه ۵)

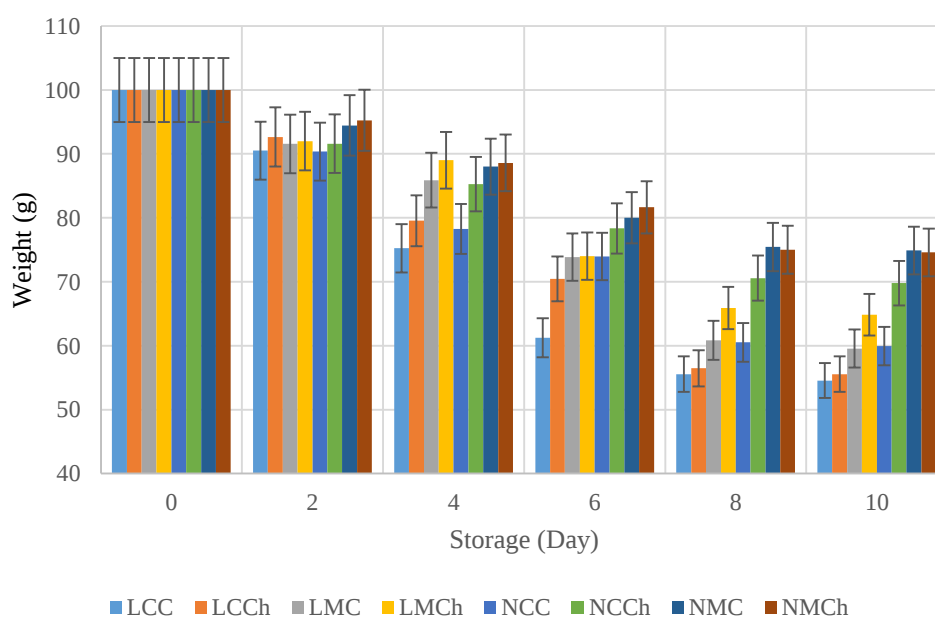
بحث و نتیجه گیری

خواص فیزیکی و ظاهری

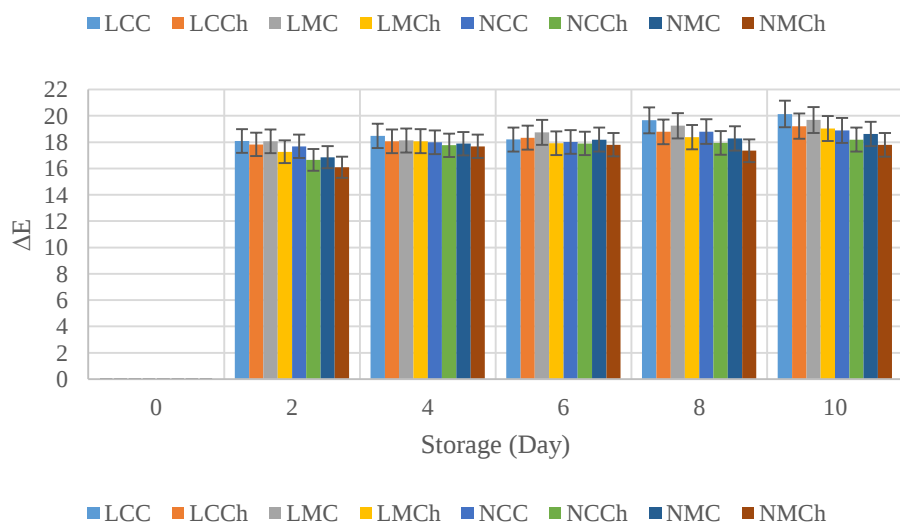
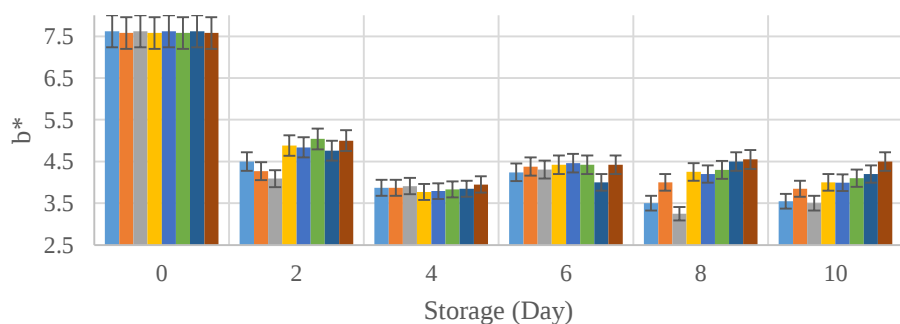
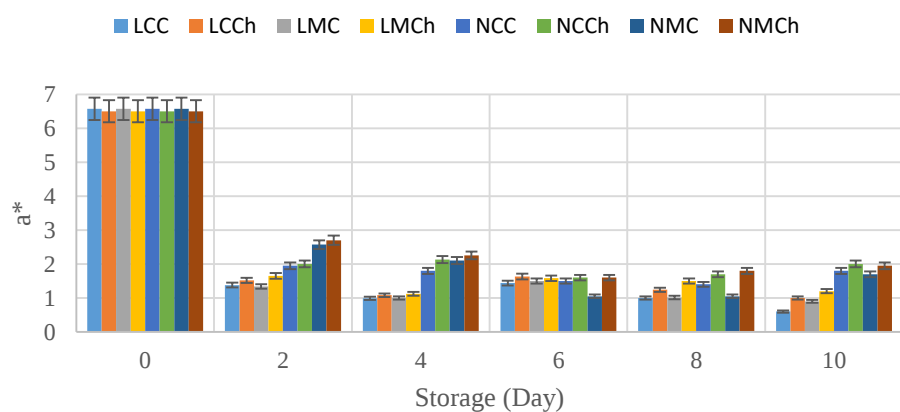
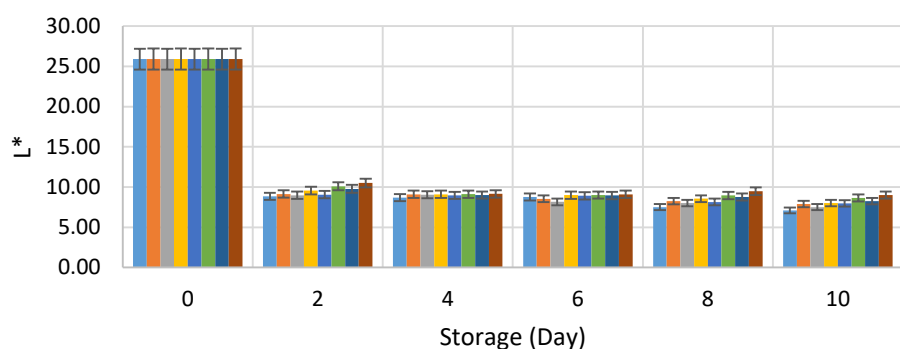
کاهش وزن در طول دوره نگهداری یکی از عواملی است که سبب کاهش ارزش اقتصادی و بازار پسندی محصولات کشاورزی و همچنین افزایش ضایعات می‌شود. بررسی روند تمامی نمونه‌ها نشان دهنده کاهش وزن تمامی تیمارها در طول دوره نگهداری بود (شکل ۱). در پایان دوره نگهداری بیشترین کاهش وزن در نمونه‌های LCC مشاهده شد که وزنی معادل ۵۴/۵۶ گرم داشتند، در حالی که کمترین افت وزن در نمونه‌های NMC با وزنی معادل ۷۴/۸۹ گرم ثبت گردید. در تحقیقات متعددی تاثیر مثبت استفاده از اتمسفر اصلاح شده بر حفظ رطوبت و وزن محصولات کشاورزی گزارش شده است (Gholami et al, 2020). با بررسی نتایج در هر دوره نگهداری مشخص است که در شرایط یکسان نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم نانو افت وزن کمتری نسبت به نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم LDPE داشته اند. دلیل این موضوع می‌تواند ساختار فیلم‌های مجهز به ذرات نانو و نفوذپذیری پایین آنها نسبت به بخار آب باشد به نحوی که تجمع رطوبت درون بسته‌های نانو رخ می‌دهد و تبدالی با محیط بیرون بسته، اتفاق نیافتاده یا به صورت بسیار ناچیز خواهد بود. حفظ رطوبت درون بسته سبب حفظ رطوبت محصول و در نهایت کنترل افت وزن محصول که ناشی از افت رطوبت است می‌شود. همچنین با بررسی و مقایسه نمونه‌ها مشخص شد که در شرایط یکسان نمونه‌های پوشش دهی شده در طول دوره نگهداری افت وزن کمتری نسبت به نمونه‌های بدون پوشش داشته‌اند. نتیجه مشابهی از تاثیر پوشش دهی با کایتوسان و کایتوسان همراه با نانو ذرات بر افت وزن برگ ریحان توسط Hassan et al., 2021 گزارش شده است که تائید کننده نتایج حاصل از پژوهش حاضر می‌باشد. دلیل کنترل کاهش وزن در نمونه‌های پوشش دهی شده نیز می‌تواند بخاطر آن باشد که پوشش کایتوسان لایه ای پیرامون محصول ایجاد کرده و مانع از تبادل رطوبت با محیط بیرون و کنترل تنفس محصول یا به عبارتی تاخیر در افزایش سن محصول شده است. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) داده‌ها نشان داد که دوره نگهداری، اتمسفر درون بسته، فیلم و پوشش دهی تاثیر معنی دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد بر تغییرات وزن نمونه‌ها داشته‌اند در حالی که اثرات متقابل تاثیر معنی داری نداشته‌اند. نتایج مشابهی از تاثیر نوع بسته بندی بر کاهش وزن ریحان (Sharma et al, 2018) و سایر محصولات کشاورزی نیز در طول دوره نگهداری توسط سایر محققین گزارش شده است (Frax and Teo., 2019; Gholami and Aghilinategh., 2024).

یکی دیگر از مهمترین فاکتورهای فیزیکی محصولات غذایی که تاثیر اولیه و مستقیم در تعیین کیفیت این محصولات و بازار پسندی آن دارد رنگ می‌باشد. شاخص‌های رنگی L^* ، a^* و b^* به ترتیب شاخص روشنایی، شاخص قرمز-سبز و شاخص زرد-آبی به عنوان شاخص‌های اولیه و شاخص تغییر رنگ (ΔE) مورد ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۲). نتایج نشان دهنده روند نزولی در هر سه شاخص اولیه بود. شاخص‌های اولیه مشخص کننده خواص ظاهری محصولات کشاورزی می‌باشند به نحوی که، L^* نشان دهنده شدت روشنایی است به نحوی که، $L^*=0$ به منزله سیاه و $L^*=100$ نشان دهنده پراکندگی روشنایی یا نور کامل است، a^* موقعیت رنگ بین سبز و قرمز را نشان می‌دهد، به نحوی که مقادیر منفی a^* نشان دهنده رنگ‌های سبز و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ‌های قرمز هستند و در نهایت

b^* موقعیت رنگ محصول بین آبی و زرد را نشان می دهد، و مقادیر منفی b^* نشان دهنده رنگ های آبی و مقادیر مثبت آن به منزله رنگ های زرد خواهد بود. روند کاهشی هر دو فاکتور a^* و b^* نشان از آن دارد که رنگ نمونه های ریحان در تمامی تیمار ها از محدوده قرمز/زرد به سمت سبز/آبی گرایش داشته است. باید توجه داشت که رنگ سبز ریحان بیشتر مورد قبول مصرف کننده خواهد بود ولی تغییرات رنگ از رنگ محصول تازه نشان از فرآیند پیری و طی شدن مراحل زوال محصول دارد. سبز تر شدن محصولی همچون ریحان در مراحل قبل از رسیدن کامل فرآیندی مثبت است ولی بعد از مراحل رسیدگی کامل سبز تر شدن همراه با کاهش روشنایی خواهد بود که به اصطلاح سبب تیرگی محصول و کاهش کیفیت آن می شود. نتایج مشابهی از تغییر رنگ محصولات کشاورزی در مراحل پس از رسیدگی که منجر به کاهش کیفیت و بازار پسندی محصول می شود در محصولات مختلفی همچون گوجه فرنگی و توت فرنگی توسط سایر محققین گزارش شده است (Tilahun et al., 2021; Gholami et al, 2025). در ابتدای دوره نگهداری مقادیر L^* ، a^* و b^* در نمونه های بدون پوشش به ترتیب برابر ۲۵/۹۰، ۶/۵۷ و ۷/۶۲ و در نمونه های پوشش دهی شده به ترتیب ۲۵/۹۲، ۶/۵۰ و ۷/۵۸ ثبت گردید. با طی شدن روند کاهشی در تمامی تیمار ها در پایان دوره نگهداری بیشترین مقادیر L^* در نمونه های NMCh و کمترین مقدار در نمونه LCC، بیشترین مقدار a^* در نمونه NCCh و کمترین مقدار در نمونه LCC و برای b^* نیز بیشترین مقدار در نمونه های NMCh و کمترین مقدار در نمونه های LMC ثبت گردید. بررسی تغییرات هر سه شاخص رنگ در پایان دوره نگهداری نشان داد که کمترین تغییرات ثبت شده در هر سه شاخص نسبت به روز اول در نمونه های NMCh بوده است، این نتیجه نشان دهنده آن است که استفاده همزمان از پوشش دهی، فیلم نانو و اتمسفر اصلاح شده در کنترل کیفیت ظاهری ریحان در طول دوره نگهداری تاثیر مثبتی داشته است. تغییر شاخص های رنگ در محصولات کشاورزی در طول دوره نگهداری می تواند به دلیل فعالیت های آنزیمی محصول در مراحل پس از برداشت و به عبارتی طی شدن فرآیند پیری باشد. نتایج مشابهی از سایر پژوهش ها مبنی بر تغییرات شاخص های رنگ محصولات کشاورزی در طول دوره نگهداری نیز توسط سایر محققین گزارش گردیده است (Fan et al., 2019; Tilahun et al., 2021; Zhao et al., 2023). بررسی تغییر رنگ نیز در طول دوره نگهداری نشان از یک روند افزایشی در تمامی نمونه ها داشته است به نحوی که در پایان دوره نگهداری نمونه LCC با ثبت مقدار ۲۰/۱۴ بیشترین و نمونه NMCh با ثبت مقدار ۱۷/۷۹ کمترین میزان تغییر رنگ را داشته اند. بررسی نتایج تجزیه واریانس داده ها نشان دهنده آن بود که تاثیر دوره نگهداری، فیلم بسته بندی و اتمسفر داخل بسته بر تغییرات هر چهار فاکتور رنگ در سطح ۵ و ۱ درصد معنی دار بوده است در حالی که پوشش دهی فقط بر شاخص a^* و در سطح ۵ درصد تاثیر معنی دار داشته است (جدول ۲).



شکل ۱- افت وزن در طول دوره نگهداری

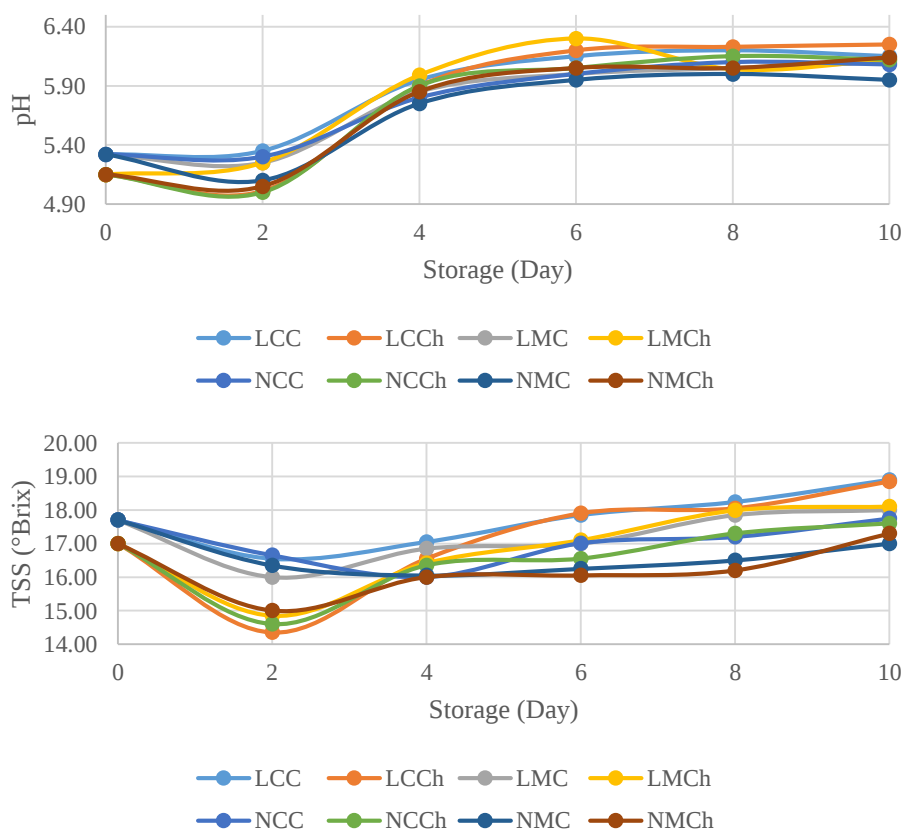


شکل ۲- شاخص‌های رنگ در طول دوره نگهداری

خواص شیمیایی

تغییرات pH، TSS و TA

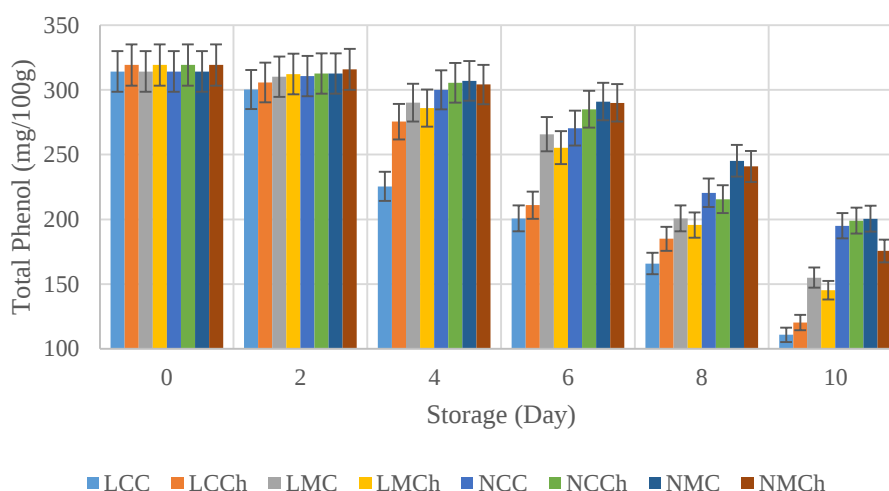
خواص شیمیایی محصولات کشاورزی و غذایی به عنوان فاکتورهایی تاثیر گذار بر تعیین کیفیت این محصولات شناخته می شوند. بررسی pH، TSS و TA در طول دوره نگهداری و تحت تاثیر شرایط مختلف بسته بندی نشان دهنده تاثیر تیمارهای مختلف بر کیفیت محصولات غذایی و کشاورزی است. تغییرات در طول دوره نگهداری (شکل ۳) نشان دهنده افزایش در مقدار pH و TSS در طول دوره نگهداری برای تمامی تیمارها بود. به طوری که مشخص شد در فاصله روز صفر آزمایش تا روز دوم انبارداری در هر دو فاکتور تغییرات بسیار کم و در اکثر نمونه ها کاهش بوده است و بعد از روز دوم آزمایش افزایش شدیدی در پارامتر ها ایجاد شده است. دلیل این موضوع می تواند تازگی نمونه ها در روز صفر و عدم شروع فرآیند پیری تا روز دوم باشد همچنین در ابتدای دوره آزمایش و با تجمع رطوبت در داخل بسته ها جذب رطوبت توسط نمونه ها صورت می پذیرد که همین موضوع باعث کاهش مواد جامد محلول نیز خواهد شد ولی بعد از روز دوم نگهداری و شروع فرآیند پیری روند pH و TSS افزایشی بوده است. افزایش pH موجب تغییر ماهیت محصول از حالت اسیدی به قلیایی می شود و محیط قلیایی شرایط را برای فعالیت های آنزیمی و فساد محصول بیشتر فراهم می کند به همین دلیل کنترل pH می تواند تاثیر مثبتی در حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری داشته باشد. در پایان دوره نگهداری بیشترین تغییر (افزایش) pH در نمونه های LCCh و به میزان ۱۷/۴۸٪ و کمترین تغییر در نمونه های NMC و به میزان ۱۱/۸۴٪ بود. در حالیکه بیشترین تغییرات TSS در نمونه های LCC و کمترین تغییرات در نمونه های NMCh و به ترتیب به میزان ۶/۷۸ و ۲/۲۶٪ بوده است. از طرفی نتایج نشان دهنده کاهش TA در طول دوره نگهداری برای تمامی تیمارها بود که این موضوع تائید کننده نتایج حاصل از بررسی pH نیز می باشد. نتایج نشان داد که در پایان دوره نگهداری بیشترین تغییر TA در نمونه های LCCh و کمترین تغییر در نمونه های NMC و به ترتیب به میزان ۳۰/۵۵ و ۱۱/۱۱٪ بوده است. بررسی نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۳) نشان داد که دوره نگهداری و فیلم بسته بندی تاثیر معنی دار (در سطح ۹۹ درصد) بر تغییر هر سه فاکتور شیمیایی داشته اند در حالی که نوع اتمسفر داخل بسته فقط بر TSS اثر معنی داری داشته و بر pH و TA اثر معنی دار نبوده است. نتایج مشابهی از تغییرات فاکتورهای شیمیایی گفته شده در سایر محصولات غذایی و کشاورزی تحت تاثیر دوره نگهداری و شرایط مختلف بسته بندی توسط سایر محققین نیز گزارش شده است، که تائید کننده نتایج پژوهش حاضر می باشد (Gholami et al, 2023; Jafari et al, 2021; Lan et al, 2019).



شکل ۳- تغییرات pH و TSS در طول دوره نگهداری

تغییرات محتوای فنول (TPC)

ترکیبات فنولی متابولیت های ثانویه گیاهان می باشند، که دارای حداقل یک حلقه معطر بوده و با یک یا چند هیدروکسیل مشخص می شوند. فنول ها و فلاونوئید ها محتویات اصلی فنولی برگ ریحان می باشند و فنول های آزاد کل، بستر اکثر واکنش های قهوه ای شدن و سیاه شدن هستند. بررسی نتایج (شکل ۴) نشان دهنده روند کاهشی محتوای فنول ریحان در طول دوره نگهداری برای تمامی تیمارها بود. بیشترین کاهش در نمونه های LCC و به میزان ۶۴/۷۴٪ و کمترین کاهش در نمونه های NMC و به میزان ۳۶/۱۹٪ مشاهده شد. نتایج بررسی سایر محصولات کشاورزی و غذایی نیز نشان دهنده کاهش محتوای فنول در طول دوره نگهداری داشته است که تأیید کننده نتایج تحقیق حاضر می باشد (Tilahun et al, 2021). کاهش محتوای فنول، فلاونوئید ها و اسید اسکوربیک ممکن است سبب کاهش فعالیت آنتی اکسیدانی در محصولات کشاورزی شود چرا که هر سه آنها به عنوان آنتی اکسیدان های غیر آنزیمی شناخته می شوند (Sharma et al, 2018). با در نظر گرفتن موارد گفته شد نگهداری محصولات کشاورزی همچون ریحان در شرایطی که بتوان محتوای فنول آن را در طول دوره نگهداری حفظ کرد مورد توجه خواهد بود. با بررسی نتایج در هر دوره آزمایش مشخص شد که در شرایط یکسان محتوای فنول نمونه های بسته بندی شده با فیلم نانو بالاتر از نمونه های داخل فیلم LDPE بوده و همچنین نمونه های حاوی اتمسفر اصلاح شده نیز در شرایط یکسان محتوای فنول بالاتری را ثبت کردند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده های محتوای فنول نشان دهنده تاثیر معنی دار (در سطح ۹۹ درصد) دوره نگهداری، فیلم و پوشش دهی بر تغییرات این فاکتور داشت در حالی که تاثیر اتمسفر داخل بسته معنی دار نبوده است (جدول ۳).



شکل ۴ - تغییرات محتوای فنول کل در طول دوره نگهداری

جدول ۲ - تجزیه واریانس خواص ظاهری و فیزیکی با مدل کوادراتیک

تغییر رنگ (ΔE)	شاخص زرد/آبی (b^*)	شاخص قرمز/سبز (a^*)	شاخص روشنایی (L^*)	کاهش وزن (weight loss)	
۴۰۶/۸۹**	۹۴/۶۳**	۲۱۹/۱۶**	۴۸۴/۵۰**	۷۰/۵۵**	مدل (Model)
۳۰۸۵/۸۸**	۶۴۲/۳۰**	۱۴۹۷/۳۹**	۳۷۲۱/۲۰**	۶۵۳/۳۲**	روز (Day) = A
۵/۸۸*	۴/۰۶*	۹/۵۰*	۵/۶۸*	۱۹/۶۴**	فیلم (Film) = B
۱۵/۷۵**	۱۷/۰۷**	۱۹/۳۸**	۱۵/۱۹**	۲۹/۲۸**	اتمسفر (Atmosphere) = C
۳/۲۴ ns	۳/۰۵ ns	۶/۶۵*	۲/۹۸ ns	۷/۳۳*	پوشش (Coating) = D
۲/۰۳ ns	۱/۵۸ ns	۱/۵۳ ns	۲/۱۹ ns	۲۴/۳۷**	AB
۰/۵۶ ns	۱/۷۷ ns	۰/۲۴ ns	۰/۵۴ ns	۳/۵۷*	AC
۲/۶۶ ns	۱/۷۱ ns	۲/۳۱ ns	۲/۹۶ ns	۱/۴۰ ns	AD
۸/۵۸**	۴/۲۰*	۱۲/۴۳**	۸/۵۱**	۰/۱۲ ns	BC
۱۳/۱۵*	۱۰/۵۹*	۱۸/۶۵**	۱۲/۸۰*	۰/۳۴ ns	BD
۱۴/۳۸*	۱۱/۲۹*	۱۷/۹۳**	۱۴/۲۹*	۳/۸۶ ns	CD
۱۶۰۹/۴۳**	۴۲۶/۱۱**	۱۰۱۲/۱۳**	۱۸۷۰/۴۴**	۰/۷۴*	A ²

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی داری

جدول ۳- تجزیه واریانس خواص شیمیایی با مدل کوادراتیک

پH	مواد جامد محلول (°brix)	اسید های قابل تیتر	فنول کل (mg/100g)
TSS	TA	TPC	
مدل (Model)	۶۴/۶۷**	۱۲۲/۱۵**	۴۳/۳۴**
روز A = (Day)	۵۷۹/۹۴**	۷۰/۵۵**	۳۳۲/۷۴**
فیلم B = (Film)	۷/۳۳*	۲۲۵/۴۸**	۴۴/۵۷**
اتمسفر C = (Atmosphere)	۱/۰۸ ns	۸/۱۱*	۰/۵۱ ns
پوشش D = (Coating)	۲/۸۷ ns	۱۵/۶۵**	۲/۲۴ ns
AB	۰/۸۹ ns	۷۰/۲۰**	۲۵/۵۲**
AC	۱/۵۲ ns	۲۲/۳۷**	۰/۰۹ ns
AD	۱۰/۴۷*	۱۹/۹۱**	۷/۶۴*
BC	۱/۷۴ ns	۴/۲۲ ns	۳/۱۵ ns
BD	۱/۰۲ ns	۲۸/۹۶**	۰/۰۱ ns
CD	۰/۲۹ ns	۵/۰۹*	۰/۰۰۱ ns
A ²	۱۲۰/۲۲**	۵۶۰/۵۶**	۲/۶۷ ns
			۱۹۶/۴۰**

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی داری

خواص آروماتیک

پاسخ حسگرها

مطابق جدول ۴ اثر فاکتورهای روز، پوشش، اتمسفر (گاز درون بسته ها) و فیلم در سطح ۱ و ۵ درصد بر برخی حسگرها معنی دار بودند. این نشان دهنده تاثیر مختلف این ۴ فاکتور بر عملکرد حسگرها در پاسخ به ترکیبات معطر برگ های ریحان می باشد.

جدول ۴- تجزیه واریانس پاسخ حسگرها با استفاده از مدل خطی

TGS2620	TGS2611	MQ6	TGS2610	MQ135	TGS2602	TGS813	TGS822	MQ9	MQ3
مدل (Model)	۱۰/۶۹**	۱۲/۴۵**	۶/۴۲**	۷/۶۶**	۱۰/۵۰**	۱۲/۴۲**	۱۱/۲۸**	۸/۶۱**	۹/۲۸**
روز A = (Day)	۱۳/۵۶**	۲/۱۱ ns	۴/۶۰*	۲/۶۳ ns	۹۱,۲ ns	۱۶/۲۶**	۰/۰۵ ns	۱۲/۲۶**	۲۰/۱۳**
فیلم B = (Film)	۱۷/۱۳**	۶/۹۵**	۲/۶۲ ns	۳/۲۵*	۷/۲۵**	۱۸/۵۰**	۵/۲۷*	۰/۹۶ ns	۳۶/۹۵**
اتمسفر C = (Atmosphere)	۰/۰۶**	۰/۱۱ ns	۰/۱۷**	۱/۱۱ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۱**	۱ ns	۲/۶۹**	۱/۴۳ ns
پوشش D = (Coating)	۶۴/۶۴ ns	۴۲/۲۰**	۲۰/۳۹**	۲۵/۲۴**	۳۳/۶۳**	۷۰/۸۲ ns	۳۷/۲۵**	۳۳/۰۶**	۹۸/۱۶**
									۲۷/۷۹ ns

** معنی دار در سطح ۱ درصد، * معنی دار در سطح ۵ درصد، ns عدم معنی داری

نتایج انفیس

در روش ANFIS تابع فعال سازی هیبرید برای لایه‌ی پنهان استفاده شد. تعداد نرون‌های لایه‌ی پنهان از روش آزمون و خطا تعیین شد. تعداد نرون‌های لایه‌ی ورودی برای تعداد پارامترهای استخراج شده از دستگاه بین‌الکترونیک ۱۰ و تعداد نرون‌های لایه‌ی خروجی برای تشخیص روز انبارداری ۶، برای تشخیص نوع فیلم، نوع گاز داخل بسته بندی و پوشش ۲ در نظر گرفته شد. مطابق ماتریس اغتشاش انفیس (جدول ۵)، نمونه ها با گاز بسته بندی مختلف با دقت ۱۰۰ درصد طبقه بندی شدند. این نشان دهنده تاثیر زیاد نوع گاز داخل بسته بندی بر ترکیبات معطر نمونه ها نسبت به نوع فیلم، پوشش و روز انبارداری است. دقت تشخیص روز انبارداری، نوع فیلم و پوشش به ترتیب ۹۸٪، ۹۴٪ و ۹۱٪ گزارش گردید. زنگنه و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی تشخیص درصد مختلف پالم در روغن ذرت با کمک بین‌الکترونیک و انفیس و روش سطح پاسخ پرداختند نتایج نشان داد روش سطح پاسخ روش مناسبتری جهت تشخیص پالم در روغن ذرت است.

نتایج روش سطح پاسخ

مطابق جدول ۶، ماتریس اغتشاش حاصل از روش سطح پاسخ نشان داد دقت تشخیص و طبقه بندی نمونه ها با نوع فیلم، پوشش، نوع گاز داخل بسته بندی مختلف ۱۰۰ درصد می باشد همچنین نمونه ها با روز انبارداری مختلف فقط در روز ششم دقت ۱۰۰ درصدی نداشتند. روش سطح پاسخ بر اساس شاخص های بررسی دقت ماتریس اغتشاش روش مناسبتری نسبت به انفیس در تشخیص و طبقه بندی نمونه ها می باشد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق زنگنه و همکاران (۱۴۰۲) مطابقت دارد.



جدول ۵- ماتریس اغتشاش انفیس

ویژگی	حساسیت	دقت	۱۰	۸	۶	۴	۲	۰	روز- Day
۱	۰/۸۸	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۷	۰
۰/۹۷	۰/۷۵	۰/۶۸	۰	۱	۰	۰	۶	۰	۲
۱	۰/۸۸	۱	۰	۰	۰	۷	۰	۰	۴
۰/۹۲	۱	۰/۷۳	۰	۰	۸	۰	۲	۱	۶
۱	۰/۸۸	۱	۰	۷	۰	۰	۰	۰	۸
۰/۹۷	۱	۰/۸۹	۸	۰	۰	۱	۰	۰	۱۰
با پوشش بدون پوشش									
۰/۹۶	۱	۰/۹۶					۱	۲۴	بدون پوشش uncoated
۱	۰/۹۶	۱					۲۳	۰	با پوشش coated
نانو معمولی									
۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۶					۲	۲۳	معمولی common
۰/۹۲	۰/۹۶	۰/۹۲					۲۲	۱	نانو Nano
هوای اصلاح شده هوای معمولی									
۱	۱	۱					۰	۲۴	هوای معمولی common
۱	۱	۱					۲۴	۰	هوای اصلاح شده MAP

جدول ۶- ماتریس اغتشاش روش سطح پاسخ

حساسیت	ویژگی	دقت	۱۰	۸	۶	۴	۲	۰	روز- Day
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۸	۰
۰/۸۸	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۷	۰	۲
۱	۱	۱	۰	۰	۰	۸	۰	۰	۴
۱	۰/۹۸	۰/۸۹	۰	۰	۸	۰	۱	۰	۶
۱	۱	۱	۰	۸	۰	۰	۰	۰	۸
۱	۱	۱	۸	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰
با پوشش بدون پوشش									
۱	۱	۱					۰	۲۴	بدون پوشش uncoated
۱	۱	۱					۲۴	۰	با پوشش coated
نانو معمولی									
۱	۱	۱					۰	۲۴	معمولی common
۱	۱	۱					۲۴	۰	نانو Nano
هوای اصلاح شده هوای معمولی									
۱	۱	۱					۰	۲۴	هوای معمولی common
۱	۱	۱					۲۴	۰	هوای اصلاح شده MAP

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که در شرایط یکسان نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم نانو افت وزن کمتری نسبت به نمونه‌های بسته بندی شده با فیلم LDPE داشته اند. بررسی تغییر رنگ نیز در طول دوره نگهداری نشان از یک روند افزایشی در تمامی نمونه ها داشته است به نحوی که در پایان دوره نگهداری نمونه LCC با ثبت مقدار ۲۰/۱۴ بیشترین و نمونه ی NMCh با ثبت مقدار ۱۷/۷۹ کمترین میزان تغییر رنگ را داشته اند. تاثیر دوره نگهداری، فیلم بسته بندی و اتمسفر داخل بسته بر تغییرات هر چهار فاکتور رنگ L^* ، a^* ، b^* و ΔE در سطح ۵ و ۱ درصد معنی دار بوده است این در حالی است که پوشش دهی فقط بر شاخص a^* و در سطح ۵ درصد تاثیر معنی داشته است. بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان داد که دوره نگهداری و فیلم بسته بندی تاثیر معنی دار (در سطح ۹۹ درصد) بر تغییر هر سه فاکتور شیمیایی

pH، TA و TSS داشته‌اند در حالی که نوع اتمسفر داخل بسته فقط بر TSS اثر معنی‌داری داشته و بر pH و TA اثر معنی‌دار نبوده است. بیشترین کاهش در فنول در نمونه‌های LCC و به میزان ۶۴/۷۴٪ و کمترین کاهش در نمونه‌های NMC و به میزان ۳۶/۱۹٪ مشاهده شد. دقت تشخیص دوره انبارداری، نوع فیلم و پوشش دهی در انفیس به ترتیب ۹۸٪، ۹۴٪ و ۹۱٪ گزارش گردید. روش سطح پاسخ با دقت بالاتر در هر ۴ معیار طبقه‌بندی (بر اساس دوره نگهداری، پوشش‌دهی، فیلم و گاز درون بسته) روش مناسب‌تری در طبقه‌بندی گزارش گردید.

منابع

زنگنه‌وندی، زهرا، جوادی کیا، حسین، عقیلی ناطق، ناهید و ندرلو، لیلا. (۱۴۰۲). تشخیص درصدهای مختلف پالم در روغن ذرت به کمک بینی الکترونیکی (تشخیص تقلب). نشریه ماشینهای کشاورزی، (۲) ۱۳، ۱۶۳-۱۷۴.

گلچین، عاطفه، ذکی دیزجی، حسن، محمودی سورستانی، محمد، خراسانی فردوانی، محمد اسماعیل (۱۳۹۸). فناوری بینی الکترونیک برای درجه‌بندی غیرمخرب گیاه دارویی ریحان. فناوری‌های آزمون غیر مخرب، ۲(۴)، ۵۴-۶۰.

REFERENCES

- AOAC (1984) Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 14th Edition, AOAC, Arlington.
- Alvarez, R. (2009) Predicting average regional yield and production of wheat in the argentine pampas by an artificial neural network approach. *European Journal Agronomy*, 30(2), 70-77.
- Balasubramanian, S., Panigrahi, S., Logue, C., Marchello, M., Doetkott, C., Gu, H., Sherwood, J. & Nolan, L. (2009). Spoilage identification of beef using an electronic nosesystem. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineering*, 47(5), 1625-1633.
- Boateng, L.D. (2013). Effect of drying methods on nutrient quality of basil (*Ocimum viride*) leaves cultivated in Ghana. *International Food Research Journal*, 20(4), 1569-1573.
- Buchanan-Wollaston, V. (1997). The molecular biology of leaf senescence. *Journal Experimental Botany*, 48, 181-199.
- Fan, K., Zhang, M., & Jiang, F. (2019). Ultrasound treatment to modified atmospheric packaged fresh-cut cucumber: Influence on microbial inhibition and storage quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, 54, 162-170.
- FRX, T., & Teo, S.S. (2019). Interactive effects of storage temperatures and packaging methods on sweet basil. *MOJ Food Process Technol*, 7(1), 16-20.
- Gholami, R., Aghilinategh, N., & Rabbani, H. (2023). Evaluation the effects of temperature and packaging conditions on the quality of button mushroom during storage using e-nose system. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 1355-1366.
- Gholami, R., Aghilinategh, N., & Rabbani, H. (2025). Investigating the Physicochemical Properties of Strawberries and Classification by an E-Nose During Storage. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2025(1), 2322442.
- Gholami, R., Ahmadi, E., & Ahmadi, S. (2020). Investigating the effect of chitosan, nanopackaging, and modified atmosphere packaging on physical, chemical, and mechanical properties of button mushroom during storage. *Food Science & Nutrition*, 8(1), 224-236.
- Ghose, D.K., Panda, S.S., & Swain, P.C. (2013). Prediction and optimization of runoff via ANFIS and GA. *Alexandria Engineering Journal*, 52(2), 209-220.
- Golchin, A., Zaki Dizji, H., Mahmoudi Surestani, M., Khorasani Fardvani, M. E. (2019). Electronic nose technology for non-destructive grading of basil medicinal plant. *Journal of nondestructive testing technology*, 2(4), 54-60 (In Persian).
- Hassan, F. A. S., Ali, E. F., Mostafa, N. Y., & Mazrou, R. (2021). Shelf-life extension of sweet basil leaves by edible coating with thyme volatile oil encapsulated chitosan nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 177, 517-525.
- Jafari, S. M., Ghanbari, V., Dehnad, D., & Ganje, M. (2021). Improving the storage stability of tomato paste by the addition of encapsulated olive leaf phenolics and experimental growth modeling of *A. flavus*. *International Journal of Food Microbiology*, 338, 109018.
- Karami, H., Lorestani, A.N., & Tahvilian, R. (2021). Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy conption, and percentage of thyme oil extracted in a hybrid solar-electric dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 44(1), e13588.
- Kiani, S., Minaei, S., and Ghasemi-varnamkhasti, M. (2016). Application of electronicnose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: a review. *Journal of Applied Research on*



- Medicinal and Aromatic Plants*, 3, 1–9.
- Kashwan, K.R. and Bhuyan, M. (2005). Robust electronic- nose system with temperature and humidity drift compensation for tea and spice flavor discrimination. *Asian Conf. Sensors Int. Conf. New Tech. Pharm. Biomed. Res. – Proc.*, Vol. , pp. 154-158.
- Langkvist, M. & Loutfi, A. (2011). Unsupervised feature learning for electronic nose data applied to Bacteria Identification in Blood. Deep Feature. Learn unsupervised Learn. pp. 1-7.
- Lan, W., Zhang, R., Ahmed, S., Qin, W., & Liu, Y. (2019). Effects of various antimicrobial polyvinyl alcohol/tea polyphenol composite films on the shelf life of packaged strawberries. *LWT*, 113, 108297.
- Makarichian, A., Chayjan, R. A., Ahmadi, E., & Zafari, D. (2022). Early detection and classification of fungal infection in garlic (*A. sativum*) using electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 192, 106575
- Mangaraj, S., Goswami, T.K., & Mahajan, P.V. (2009) Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. *Food Engineering Reviews*, 1, 133–158. <https://doi.org/10.1007/s12393-009-9007-3>
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C.K., & Natarajan, V. (2021). Emerging nondestructive methods for quality and safety monitoring of spices. *Trends Food Science Technology*, 108, 133–147.
- Montgomery, D.C. (2005). Design and Analysis of Experiments, 6th ed.
- Patel, H. K. (2014). The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology. Springer India. India
- Patino, L. S., Castellanos, D. A., & Herrera, A. O. (2018). Influence of 1-MCP and modified atmosphere packaging in the quality and preservation of fresh basil. *Postharvest Biology and Technology*, 136, 57-65.
- Phippen, W.B., & Simon, J.E. (1998). Anthocyanins in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal Agricultural Food Chemistry*, 46, 1734–1738.
- Phippen, W.B., & Simon, J.E. (2000). Anthocyanin inheritance and instability in purple basil (*Ocimum basilicum* L.). *J Hered*, 91, 289–296.
- Qiu, S., & Wang, J. (2017). The prediction of food additives in the fruit juice based on electronic nose with chemometrics. *Food Chemistry*, 230, 208–214.
- Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., & Guardia, M.d. (2017). Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 97, 257-271.
- Sharma, R., Bhatia, S., & Kaur, P. (2018) Influence of packaging and storage conditions on biochemical quality and enzymatic activity in relation to shelf life enhancement of fresh basil leaf. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3199-3211.
- Sohrabi, N., Mohammadi, R., Ghassemzadeh, H.R., & Seyedloo Heris, S.S. (2021). Equilibrium, kinetic and thermodynamic study of diazinon adsorption from water by clay/GO/Fe₃O₄: Modeling and optimization based on response surface methodology and artificial neural network. *Journal of Molecular Liquids*, 328, 34-44.
- Taheri, K., Tiebe, C., Bougrini, M., Saidi, T., El Hassani, N. E. A., El Bari, N., & Bouchikhi, B. (2015). Characterization and discrimination of saffron by multisensory systems, SPME-GC-MS and UV-Vis spectrophotometry. *Analytical methods*, 7(24), 10328-10338.
- Tilahun, S., Lee, Y. M., Choi, H. R., Baek, M. W., Lee, J.-S., Park, D. S., Kang, H.-M., & Jeong, C. S. (2021). Modified atmosphere packaging combined with CO₂ and 1-methylcyclopropene prolong the storability and maintain antioxidant properties of cherry tomato. *Scientia Horticulturae*, 288, 110401.
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarinia, V., Bonyadian, M., & Mohtasebi, S.S. (2018) Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *International Dairy Journal*, 77, 38-46.
- Vega-Gálvez, A., R. Lemus-Mondaca, C. Tello-Ireland, M. Miranda, & F. Yagnam. (2009). Kinetic study of convective drying of blueberry variety O'Neil (*Vaccinium corymbosum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69, 171 – 178.
- Wongsheree, T., Ketsa, S., & Doorn, W.G.V. (2009) The relationship between chilling injury and membrane damage in lemon basil (*Ocimum 9 Citriodorum*) leaves. *Postharvest Biology Technology*, 51, 91–96.
- Zanganeh Vandi, Z., Javadi Kia, H., Aghili Nateg, N., & Naderloo, L. (2013). Detection of different percentages of palm in corn oil using an electric nose (counterfeit detection). *Journal of Agricultural Machinery*, (2) 13, 163-174 (In Persian).
- Zhao, Y., Li, L., Gao, S., Wang, S., Li, X., & Xiong, X. (2023). Postharvest storage properties and quality kinetic models of cherry tomatoes treated by high-voltage electrostatic fields. *LWT*, 176, 114497.