

# The Effect of Packaging and Coating on the Engineering and Aromatic Properties of Apricots

Rashid Gholami <sup>\*1</sup>, Nahid Aghili Nategh <sup>1</sup>

Received: August 25, 2024

Accepted: October 20, 2024

1- Department of Agricultural Machinery Engineering, Sonqor Agriculture Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran

\* Corresponding Author: r.gholami@razi.ac.ir

## Abstract

In this research, apricot fruit has been evaluated during the storage. Packaging with polyethylene film (PE) and polyethylene equipped with Nano-silica particles, as well as modified atmosphere packaging (MAP) and coating (Chitosan coating) were used as treatments to preserve apricots for 20 days. Physical tests (weight loss and moisture), appearance evaluation ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , BI and  $\Delta E$ ), chemical tests (pH, TSS and TA), mechanical test ( $F_{max}$  and Emod) and finally olfactory test (E-nose) was performed. The obtained results showed that the treatments of the storage period, packaging film, atmosphere modification and coating as well as some mutual effects had a significant effect (at the level of 1 and 5%) on the changes in engineering properties of apricots. It was found that the use of coating in an agricultural product such as apricot affected its properties more strongly, so that the most recorded changes for most properties were in the samples coated and packed with normal film and normal atmosphere (code 112) was observed, while preservation of apricot quality (less changes in engineering properties) was improved in uncoated and packaged samples under modified atmosphere. Also, by examining the data obtained from the olfactory test, the lowest and highest classification accuracy with the help of C-SVM is related to the classification based on the type of packaging film and cover. The best structure of the neural network in classification based on coverage is 2-9-10.

**Keywords:** Apricot, Odor Characteristic, Packaging, Physical Properties

---

## How to cite:

Gholami, R. Aghili Nategh, N. (2024). *The Effect of Packaging and Coating on the Engineering and Aromatic Properties of Apricots*. Journal of Agricultural Mechanization, 9 (2):67-80. [10.22034/jam.2024.63135.1289](https://doi.org/10.22034/jam.2024.63135.1289).

## بررسی تأثیر شرایط بسته‌بندی و پوشش دهی بر خواص فیزیکی و بوی زردآلو

رشید غلامی<sup>۱\*</sup>، ناهید عقیلی ناطق<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۹

۱- گروه مکانیک ماشین های کشاورزی - دانشکده کشاورزی سنقر - دانشگاه رازی - کرمانشاه - ایران

E-mail: r.gholami@razi.ac.ir

\* مسئول مکاتبه

### چکیده

در این پژوهش خواص فیزیکی و شیمیایی میوه زردآلو در طول دوره نگهداری مورد ارزیابی قرار گرفت. بسته بندی با فیلم پلی اتیلن معمولی (PE) و فیلم پلی اتیلن مجهز به ذرات نانو سیلیس، همچنین اصلاح اتمسفر درون بسته بندی (MAP) و پوشش دهی (پوشش کایتوسان) به عنوان تیمار هایی جهت نگهداری زردآلو به مدت ۲۰ روز مورد استفاده قرار گرفتند. در طول دوره نگهداری هر چهار روز یک بار آزمایش های فیزیکی (افت وزن و رطوبت)، ظاهری ( $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $BI$  و  $\Delta E$ )، شیمیایی (pH، TSS و TA)، مکانیکی (Fmax و Emod) و در نهایت آزمایش بویایی سنجی (E-nose) انجام شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن بود که تیمارهای دوره نگهداری، فیلم بسته بندی، اصلاح اتمسفر و پوشش دهی و همچنین اثرات متقابل آنها تأثیر معنی دار (در سطح ۱ و ۵ درصد) بر تغییرات خواص مهندسی زردآلو داشته است. نتایج نشان داد که استفاده از پوشش دهی در محصولی همچون زردآلو خواص آن را با شدت بیشتری تحت تأثیر قرار داده، به نحوی که بیشترین تغییرات ثبت شده برای اکثر خواص در نمونه های پوشش دهی شده و بسته بندی شده با فیلم معمولی و اتمسفر معمولی مشاهده گردید، در حالی که حفظ کیفیت زردآلو در نمونه های بدون پوشش و بسته بندی شده تحت اتمسفر اصلاح شده بود. همچنین با بررسی داده های به دست آمده از آزمون بویایی کمترین و بیشترین دقت طبقه بندی به کمک C-SVM مربوط به طبقه بندی بر اساس نوع فیلم بسته بندی و پوشش است. بهترین ساختار شبکه عصبی در طبقه بندی بر اساس پوشش عبارت از ۲-۹-۱۰ است.

واژه های کلیدی: بسته بندی، خواص فیزیکی، زردآلو، مشخصه بو

## ۱- مقدمه

زردآلو با نام علمی (*Prunus armeniaca L.*) یک میوه هسته دار و حائز اهمیت در سید غذایی خانوار می باشد. زردآلو دارای بافتی حساس بوده و پوست آن غنی از پکتین می باشد (Pathare & Opara, 2023). میوه‌های خوشمزه و سرشار از مواد معدنی همچون پتاسیم و بتاکاروتن بوده و نقش مهمی در تغذیه انسان دارد و به صورت تازه، خشک یا فرآوری شده همچون مربا، زله، آب میوه، منجمد شده مورد استفاده قرار می گیرد (Tajoddin et al., 2014). زردآلو و محصولات فرآوری شده‌ی به دست آمده از آن نقش بسیار مهمی در بازار محصولات باغی و کشاورزی دارند (Peano et al., 2014). بر اساس گزارش‌های FAO در سال ۲۰۲۲ در ایران میزان سطح زیر کشت زردآلو ۵۴،۱۶۷ هکتار و مقدار محصول تولید شده ۳۰۵،۹۳۲ تن بوده است (FAO, 2022). محصولات کشاورزی در طول مراحل کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت تحت تأثیر شرایط و عوامل محیطی دچار آسیب و خسارت می شوند. از جمله مهمترین عواملی که باعث آسیب به محصول و افزایش ضایعات یا به عبارت کلی کاهش ارزش اقتصادی محصولات کشاورزی می شوند، عواملی هستند که در مراحل پس از برداشت ایجاد می شوند. از جمله این عوامل می توان به حمل و نقل، درجه بندی، شرایط بسته بندی و انبارداری اشاره نمود. با افزایش آگاهی عمومی پیرامون سلامت و بهداشت محصولات غذایی و کشاورزی، مشتریان تمایل به استفاده از محصولات با کیفیت بالا و نگهداری در شرایط سالم دارند. بنابراین بررسی شرایط نوین بسته بندی به منظور دستیابی به محصولی سالم و با کیفیت برای عرضه به بازار حائز اهمیت خواهد بود (Gull et al., 2021). زردآلو یک میوه بسیار فساد پذیر و حساس می باشد. ماندگاری این میوه توسط پوسیدگی، کاهش وزن، رسیدگی بیشتر، نرم شدن بافت و فعالیت های آنزیمی محدود می شود. از این رو و به منظور افزایش ماندگاری این محصول در مراحل پس از برداشت روش های مختلفی همچون نگهداری در شرایط دمایی کنترل شده، بسته بندی، بسته بندی تحت شرایط اصلاح اتمسفر و پوشش دهی پیشنهاد شده است. اما صرفا استفاده از این روش ها به تنهایی برای حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری کافی نخواهد بود.

پلیمرهای زیست تخریب پذیر و پلیمرهای نانویی به عنوان فیلم های مناسب برای بسته بندی محصولات غذایی و کشاورزی و کنترل کیفیت محصول در طول دوره نگهداری و همچنین افزایش عمر تازه خوری محصول پیشنهاد شده اند (Zapata et al., 2016). استفاده از فیلم های مجهز به ذرات نانو با کنترل نرخ تنفس محصول باعث کاهش فعالیت آنزیمی و قهوه ای شدن، کاهش میزان افت وزن و کاهش سرعت فساد محصول خواهند شد. از طرفی تزریق درصد مشخصی از گازهای اکسیژن، دی اکسید کربن و نیتروژن درون بسته بندی نیز میزان تنفس محصول در طول دوره نگهداری را کنترل و فرآیند فساد محصول را به تاخیر می اندازد. پوشش های خوراکی لایه نازکی از مواد قابل خوردن هستند که به عنوان محافظ یا پوشش زینتی روی سطح میوه ها، سبزی ها و سایر محصولات کشاورزی قرار

داده می شوند که با حفظ ویتامین ها و مواد مغذی، کنترل تنفس، حفظ بافت و کنترل فساد موجب ارتقا سطح سلامت محصول می گردند. برخی از پوشش های خوراکی عبارت اند از: واکس ها و پارافین ها، رزین های جلا دهنده، پوشش های ژلاتینی، پوشش های زئین ذرت، پوشش های مبتنی بر گلو تن گندم، پوشش های مبتنی بر پروتئین سویا، پوشش خوراکی کایتوسان و پوشش ژل آلونه ورا. در سال های اخیر تحقیقاتی پیرامون استفاده از پوشش کایتوسان در محصولات کشاورزی صورت گرفته است که از جمله آن ها می توان به استفاده از پوشش کایتوسان و تأثیر آن بر خواص توت فرنگی (Barikloo & Ahmadi, 2017)، بررسی اثر پوشش کایتوسان و شرایط بسته بندی بر خواص قارچ دکمه ای (Gholami et al., 2020)، استفاده از پوشش کایتوسان بر پایه دانه سیب بر نگهداری توت فرنگی (Riaz et al., 2020)، استفاده از پوشش نانو کایتوسان بر خواص زردآلو (Gull et al., 2021) اشاره نمود. به منظور بررسی کیفیت محصولات کشاورزی در طول دوره نگهداری آزمایشاتی باید صورت بپذیرد. آزمایش ها بر روی محصولات کشاورزی در دو دسته مخرب (آزمایش های تجربی سنتی) و آزمایش های غیر مخرب طبقه بندی می شوند. یکی از روش های کاربردی غیر مخرب در بررسی کیفیت مواد غذایی، سامانه ماشین بویایی است. این سامانه حس بویایی انسان را شبیه سازی کرده و با آرایه ای از حسگرها، بوی فضای بالای نمونه ها را تشخیص می دهد (Modupalli et al., 2021) بینی الکترونیکی حاوی انواع مختلفی از سنسورهای گازی است. تماس مولکول های بو با این سنسورها منجر به ارسال سیگنال الکتریکی توسط سنسورها می شود (Kiani et al., 2016). بینی الکترونیک بعنوان ابزاری ارزان، سریع، دقیق و آسان در سال های اخیر کاربردهای فراوانی از جمله در کنترل فرآیندهای محیطی (Kashwan., 2005) تا کاربردهای پزشکی (Langkvist., 2011) داشته است. همچنین مطالعات زیادی در مورد کاربرد تکنیک بینی الکترونیک (ماشین بویایی) در زمینه های صنایع غذایی انجام شده است (Sanaeifar., 2017).

در سال های اخیر مطالعات زیادی در زمینه بررسی و بهبود شرایط نگهداری و انبارمانی محصولات غذایی و کشاورزی و همچنین بررسی تغییرات خواص این محصولات در طول دوره نگهداری صورت گرفته است. در پژوهشی که توسط Gholami et al., 2023 صورت گرفت تغییرات خواص قارچ سفید دکمه ای در طول دوره نگهداری به کمک تست های تجربی و بینی الکترونیک ارزیابی گردد و نتایج نشان دهنده تأثیر شرایط بسته بندی در حفظ کیفیت محصول در طول دوره نگهداری و همچنین دقت بالای سامانه بینی الکترونیک در طبقه بندی محصول در طول دوره نگهداری داشت. در پژوهشی که توسط Karami et al., 2021 صورت گرفته عمر مفید روغن خوراکی طی ۱۵۰ روز به کمک بینی الکترونیک طبقه بندی شده است. در پژوهشی دیگر Lin et al., برای طبقه بندی سیب گلاب بر اساس زمان نگهداری از پاسخ فرکانسی و روش های تحلیل تشخیصی LDA و QDA استفاده کردند و نتایج نشان داد دقت طبقه بندی برای مدل های تفکیک خطی و درجه دوم به ترتیب ۸۰/۵۶ و ۸۳/۳۳ درصد

جدول ۱- کدگذاری بسته‌ها

Table 1. Packages Code

کد بسته Code	فیلم بسته بندی Film	اتمسفر داخل بسته Common	پوشش دهی Coating
۱۱۱	پلی اتیلن PE	اتمسفر معمولی Common	بدون پوشش دهی Uncoated
۱۱۲	پلی اتیلن PE	اتمسفر معمولی Common	با پوشش دهی Coated
۱۲۱	پلی اتیلن PE	اتمسفر اصلاح شده MAP	بدون پوشش دهی Uncoated
۱۲۲	پلی اتیلن PE	اتمسفر اصلاح شده MAP	با پوشش دهی Coated
۲۱۱	فیلم نانو NANO	اتمسفر داخل بسته Common	بدون پوشش دهی Uncoated
۲۱۲	فیلم نانو NANO	اتمسفر معمولی Common	با پوشش دهی Coated
۲۲۱	فیلم نانو NANO	اتمسفر معمولی Common	بدون پوشش دهی Uncoated
۲۲۲	فیلم نانو NANO	اتمسفر اصلاح شده MAP	با پوشش دهی Coated

## ۲-۲- بررسی خواص فیزیکی و گازسنجی در طول

### دوره نگهداری

خواص فیزیکی و ظاهری محصولات کشاورزی به عنوان اولین عامل تأثیر گذار در بازار پسندی محصول شناخته می‌شوند، به نحوی که انتخاب محصولات کشاورزی توسط مشتری در مرحله اول بر اساس خصوصیات ظاهری محصول صورت می‌پذیرد. در این تحقیق شاخص‌های رنگی زردآلود از جمله  $L$  (شاخص درخشندگی)،  $a^*$  شاخص (قرمز/سبز) و  $b^*$  (زرد/آبی) با استفاده از دستگاه رنگ سنج مدل Hp 200- Shenzhen Handsome Technology Co., (Ltd. برای تمامی تیمارها و هر چهار روز یکبار در طول دوره نگهداری و در سه تکرار اندازه گیری شد. با استفاده از شاخص‌های اندازه گیری شده شاخص قهوه‌ای شدن (BI) و تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) نیز با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (Gholami et al., 2020).

$$\Delta E = (L^* - L_0^*) + (a^* - a_0^*) + (b^* - b_0^*) \quad (1)$$

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

$$x = \frac{(a^*+1.75L^*)}{(5.4L^*+a^*-0.012b^*)} \quad (3)$$

بوده و روش پاسخ فرکانسی از توانمندی بالایی برای تشخیص بافت میوه سیب برخوردار است (Lashgari & MohammadiGol., 2016).

با توجه به اهمیت حفظ کیفیت محصولات کشاورزی در طول دوره نگهداری و افزایش عمر ماندگاری آنها مخصوصاً در مراحل تازه خوری، بررسی و ارائه راهکارهایی لازم و ضروریست. در این تحقیق از روش‌هایی همچون بسته‌بندی، اصلاح اتمسفر و پوشش‌دهی استفاده شد. خواص زردآلو از جمله خواص فیزیکی، مکانیکی، شیمیایی و بو تحت تأثیر روش‌های استفاده شده در طول دوره نگهداری اندازه‌گیری و بررسی گردید. در نهایت بهترین شرایط به منظور نگهداری زردآلو در مراحل پس از برداشت تا رسیدن به مرحله مصرف معرفی است. نوآوری این تحقیق استفاده از چندین روش به طور همزمان به منظور نگهداری زردآلو و همچنین استفاده از یک سامانه غیر مخرب بینی الکترونیک جهت ارزیابی کیفی زردآلو در طول دوره نگهداری می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تهیه نمونه‌ها و بسته‌بندی

نمونه‌های زردآلو رقم ضیاءالملکی در مرحله رسیدگی کامل از باغات روستای سنگستان در شهرستان همدان به صورت دستی و با دقت برداشت و تحت شرایط کنترل شده (در دمای ۴ درجه سلیسیوس و رطوبت ۶۵ درصد) به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌ها به دو گروه تقسیم شد، یک گروه به عنوان شاهد و یک گروه با استفاده از محلول حاوی کایتوسان ۱ درصد و به روش غوطه‌وری پوشش‌دهی شدند. به منظور تهیه محلول ۱ درصد کایتوسان پودر کایتوسان (درجه داستیلاسیون  $\leq 7.5\%$ ) از شرکت سیگما آلدريج آلمان تهیه گردید. محلول ۱ درصد کایتوسان با حل کردن ۵ گرم از پودر کایتوسان در آب مقطر در pH=4 آماده گردید. نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بدون پوشش با استفاده از فیلم پلی اتیلن و پلی اتیلن حاوی ذرات نانو سیلیس بسته‌بندی گردیدند. در نهایت تمامی بسته‌ها به دو گروه تقسیم شده یک گروه حاوی اتمسفر معمولی و یک گروه با اتمسفر اصلاح شده ( $MAP^1$ ) (۴ درصد اکسیژن و ۱۰ درصد دی اکسید کربن) پر شدند. به منظور شناسایی راحت تر شرایط بسته‌بندی، کد گذاری به نحوی که در جدول ۱ نشان داده شده است صورت گرفت.

## ۵-۲- بررسی مشخصه بو در طول دوره نگهداری

بو توسط سامانه بینی الکترونیک که در پژوهش قبلی نویسندهگان (Gholami et al., 2023) با جزئیات توضیح داده شده است اندازه گیری گردید.

داده‌های پیش پردازش شده به روش‌های ماشین بردار پشتیبان ( $C-SVM^3$ ) و شبکه عصبی ( $ANN^4$ ) با استفاده از نرم‌افزارهای Matlab 2015a, Unscrambler V. 9.7 تحلیل گردیدند. این روش از پرکاربردترین روش‌های غیر خطی برای داده کاوی هوشمند است. یک سامانه‌ی پردازشی داده‌ها محسوب می‌شود و وظیفه‌ی پردازش داده‌ها را به عهده دارد که این کار توسط پردازنده‌های کوچک و بسیار زیاد (نرون‌های مصنوعی) انجام می‌شود. و آن‌ها به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی عمل می‌کنند تا مسئله را حل کنند و در این شبکه به کمک برنامه نویسی، ساختاری لایه‌ای طراحی می‌شود. این روش در برابر تغییرات احتمالی پایداری بیشتری دارد و اگر تعداد داده‌های کافی در اختیار ما باشد توانایی این روش نیز افزایش می‌یابد (Alvarez, 2009). الگوریتم پرسپترون چندلایه پس انتشار برای طبقه‌بندی و تشخیص زمان انبارداری با استفاده از داده‌های حاصل از بینی الکترونیک به عنوان ورودی شبکه، استفاده شد. به منظور طبقه‌بندی، شبکه‌ای شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی استفاده گردید. لایه پنهان، شامل چندین نرون است که نشان دهنده سیستم غیرخطی شبکه است. تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک برای لایه پنهان استفاده گردید. تعداد نرون‌ها در لایه پنهان معمولاً از طریق سعی و خطا تعیین میگردد. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر تعداد ویژگی‌های استخراج شده از بینی الکترونیک ۱۰ عدد است و تعداد نرون‌های لایه خروجی برای طبقه‌بندی زمان انبارداری ۶، برای نوع فیلم ۲، برای نوع گاز داخل بسته‌بندی ۲ و برای پوشش ۲ بود. توپولوژی بهینه برای شبکه عصبی مذکور با در نظر گرفتن دو معیار مقدار ضریب تعیین ( $R^2$ ) بالا و RMSE پایین) بدست آمد. برای آموزش شبکه، تغییر در تعداد نرون‌های لایه پنهان و مقدار میانگین مربعات خطا انجام شد. در این پژوهش، میانگین مربعات خطای  $10^{-8}$  حداقل گرادیان  $10^{-1}$  و حداکثر ۱۰۰ اپوک استفاده شد. اگر هر یک از شرایط ذکر شده رخ دهد، فرایند آموزش شبکه برای جلوگیری از بیش آموزی، متوقف خواهد شد. همچنین در شبکه طراحی شده، نرخ یادگیری ۰/۰۲ استفاده شد. لازم به ذکر است که از ۷۵٪ داده‌ها برای آموزش شبکه و از ۲۵٪ باقیمانده برای ارزیابی نهایی استفاده گردید.

ماشین بردار پشتیبان (SVM) یک الگوریتم نظارت‌شده یادگیری ماشین است که هم برای مسائل طبقه‌بندی و هم مسائل رگرسیون قابل استفاده است؛ با این حال از آن بیشتر در مسائل

در طول دوره نگهداری میزان تغییرات گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن درون تمامی بسته‌ها نیز با استفاده از دستگاه آنالیز گاز (Oxybaby 6i, WTT-GASTECHNIK) هر چهار روز یک بار و در سه تکرار اندازه گیری و ثبت گردید.

## ۳-۲- بررسی خواص شیمیایی (pH، مواد جامد محلول و اسیدهای قابل تیتراسیون) در طول دوره نگهداری

بررسی خصوصیات شیمیایی همچون pH، مواد جامد محلول ( $TSS^1$ ) و اسیدهای قابل تیتراسیون ( $TA^2$ ) در مواد غذایی و کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. در طول دوره نگهداری و به منظور اندازه‌گیری خواص شیمیایی ابتدا میوه زردآلو با استفاده از دستگاه خرد کن، خرد و هم‌وزن شد و سپس با استفاده از فشار دست و کاغذ صافی ۴۰ میکرون عصاره نمونه‌ها تهیه گردید. pH با استفاده از دستگاه pH متر مدل PHS3-W3B ساخت کشور ایتالیا با رزولوشن ۰/۰۱ و TSS با استفاده از دستگاه رفاکتومتر آتاگو مدل PLA-2 ساخت کشور ژاپن با رزولوشن ۰/۰۱، در دمای ۲۵ درجه سلسیوس و در سه تکرار اندازه گیری شدند.

اسیدیته (TA) نیز با روش عیارسنجی اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۵ گرم از عصاره نمونه را به ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر تازه جوشیده و سرد شده اضافه و هم‌گن نموده، سپس شناساگر فنل فتالئین به میزان چند قطره افزوده و محلول آزمون توسط هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا ایجاد رنگ صورتی کم رنگ پایدار (به مدت ۳۰ ثانیه) تیتر شد. میزان حجم مصرفی هیدروکسید سدیم یادداشت گردید و درصد اسیدیته بر حسب اسید سیتریک برابر با حاصلضرب حجم هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در ۰/۶۴ تقسیم بر وزن نمونه برداشته شده محاسبه شد. همچنین شاخص طعم نیز با استفاده از نسبت TSS بر روی TA محاسبه و بررسی گردید.

## ۴-۲- بررسی مکانیکی در طول دوره نگهداری

در این پژوهش از تست پانچری به منظور ارزیابی بیرونی ترین بافت زرد آلو استفاده شد. برای این منظور از دستگاه تست محصولات کشاورزی ساخت کشور آلمان با مشخصات (Bbt1-Fro.5th. D14, Zwick-Roell) و مجهز به لودسل (X Force Hp nominal Force: 500 N Capacity) و یک پروب به قطر ۵ میلی‌متر با سرعت بارگذاری ۱۰ میلی‌متر بر دقیقه استفاده گردید (Gholami et al., 2020). به منظور ارزیابی بافت بیرونی محصول پروب تا عمق مشخصی (۵ درصد از قطر هر نمونه) وارد نمونه شد و مدول الاستیسیته و نیروی حداکثر ثبت گردید.

<sup>1</sup> Total soluble solid

<sup>۲</sup> Titratable acidity

<sup>3</sup> Support Vector Machine

<sup>4</sup> Artificial Neural Network

نگهداری مشخص شد که بیشترین کاهش رطوبت و بیشترین افت وزن در نمونه های با کد ۱۱۲ به مقدار ۲۱/۳۱ و ۲۶/۴۵٪، و کمترین کاهش رطوبت و کمترین افت وزن در نمونه های با کد ۲۲۱ و به میزان ۷/۹۸ و ۱۳/۸۵٪ بوده است. در گزارش هایی که توسط سایر محققان صورت گرفته بیان شده است که اتمسفر اصلاح شده می تواند تأثیر مثبتی در کنترل افت وزن و رطوبت محصول داشته باشد و در طول دوره نگهداری به حفظ این ویژگی ها منجر شود (Peano et al., 2014). نتایج به دست آمده در این پژوهش نیز در راستای نتایج گزارش شده توسط سایر محققین بود (Gull et al., 2021; Tajoddin et al., 2014). از طرفی بررسی تغییرات در تمامی تیمارها نشان داد که بیشترین تغییرات در هر دو متغیر در نمونه های نگهداری شده در فیلم PE معمولی رخ داده است، دلیل این موضوع می تواند بخاطر نفوذ پذیری بیشتر فیلم معمولی نسبت به بخار آب در مقابل فیلم مجهز به ذرات نانو باشد. این موضوع سبب می شود که رطوبت از دست رفته محصول سریعتر از داخل بسته خارج شود و در نهایت افت وزن و رطوبت بیشتری در نمونه های بسته بندی شده در فیلم های معمولی رخ خواهد داد (Gholami et al., 2017). نتایج تجزیه واریانس داده ها نیز نشان از تأثیر معنی دار دوره نگهداری، نوع فیلم، اتمسفر و پوشش دهی و همچنین برخی اثرات متقابل آنها بر رطوبت و افت وزن نمونه های زردآلو در سطح ۵ و ۱ درصد داشت (جدول ۲). با توجه به معنی دار بودن اثر تیمارها بر تغییرات رطوبت و افت وزن نمونه ها همچنین معنی دار بودن مدل ارائه شده، مشخص شد که مدل Quadratic با ضریب همسبستگی بالایی (۰/۸۹۷۹) برای رطوبت و (۰/۹۷۰۵) برای افت وزن) توانسته هر دو فاکتور را پیش بینی نماید که معادله ارائه شده توسط این مدل برای درصد رطوبت به صورت زیر بود (رابطه ۷):

$$\begin{aligned} \text{Moisture \%} = & 81.04 - 6.66 A + 1.15 B + 1.49 C \\ & + 2.82 D + 2.16 AB + 0.5053 AC \\ & + 0.7761 AD - 0.6996 BC \\ & + 0.3687 BD - .2563 CD \\ & - 2.83 A^2 \quad (7) \end{aligned}$$

که تمامی متغیرهای موجود در این رابطه طبق جدول ۲ تعریف شده اند. نتایج معادله ارائه شده نشان دهنده آن بود که دوره نگهداری تأثیر منفی بر محتوای رطوبت زردآلود داشته در حالی که نوع فیلم، اصلاح اتمسفر و پوشش دهی اثر گذاری مثبتی بر محتوای رطوبت نمونه ها داشته اند.

شاخص رنگ در محصولات کشاورزی به عنوان اولین و یکی از اصلی ترین عوامل در بازار پسندی این محصولات و انتخاب مشتری می باشد. در این پژوهش شاخص های  $a^*$ ،  $b^*$  و همچنین شاخص تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) و شاخص قهوه ای شدن (BI) اندازه گیری و محاسبه شدند. تغییرات شاخص  $b^*$  و تغییر رنگ در طول دوره نگهداری و به عنوان نمونه در شکل ۲ نشان داده شده است.

طبقه بندی استفاده می شود. بردارهای پشتیبان در واقع مختصات یک مشاهده منفرد هستند. ماشین بردار پشتیبان مرزی است که به بهترین شکل دسته های داده ها را از یکدیگر جدا می کند (Tohidi et al., 2018).

همچنین به کمک نرم افزار Design Expert و مدل Quadratic به تجزیه واریانس داده ها و ارائه مدل برای پیش بینی خواص پرداخته شد.

بعد از انجام تمامی آزمایش ها و طراحی مدل های مختلف طبقه بندی و پیش بینی، بر اساس متغیرهای آماری مانند ضریب تعیین و ریشه میانگین مربعات خطا، ارزیابی دقت و عملکرد الگوهای تشخیص بر اساس شاخص های زیر نیز انجام می گیرد. حالت مثبت حقیقی (TP) منفی حقیقی (TN) منفی کاذب (FN) و مثبت کاذب (FP) از این متغیرها سه شاخص حساسیت، ویژگی و دقت بدست می آید که در روابط ۴، ۵ و ۶ بیان شده اند (Gholami et al., 2023):

دقت (Accuracy) =

$$(TP + TN) / (TP + FN + FP + TN) \quad (4)$$

$$TP / (TP + FN) = \text{حساسیت (Sensitivity)} \quad (5)$$

$$TN / (TN + FP) = \text{ویژگی (Specificity)} \quad (6)$$

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- خواص فیزیکی و گاز سنجی در طول دوره

##### نگهداری

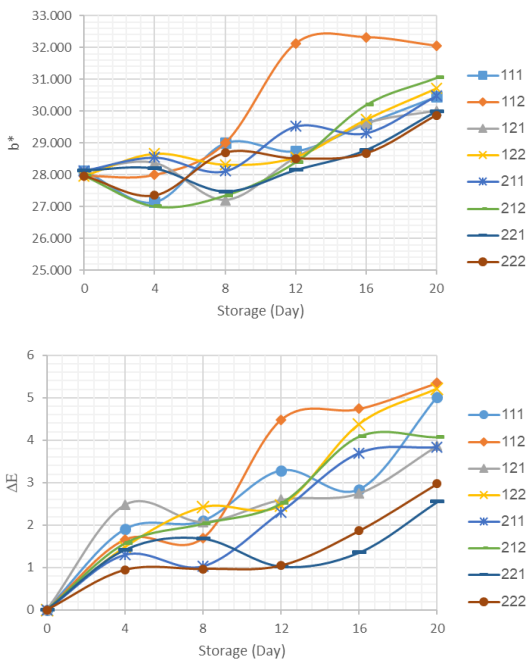
بررسی خواص فیزیکی و ظاهری محصولات کشاورزی و غذایی به عنوان اولین فاکتور تأثیر گذار در بازار پسندی این محصولات بسیار مهم و ضروری است. در این پژوهش خواص فیزیکی همچون رطوبت، افت وزن و خواص ظاهری همچون شاخص های رنگ زردآلو در طول دوره نگهداری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است.

شاخص های افت وزن و درصد رطوبت به عنوان فاکتورهای خاص در ارزیابی موفقیت بسته بندی و انبارداری در نظر گرفته می شوند (Peano et al., 2014). در شروع آزمایشات و پس از پوشش دهی نیمی از نمونه ها به دلیل تماس مستقیم زردآلو با محلول به روش غوطه وری و همچنین به دلیل ماهیت پوست بیرونی زردآلو که تقریباً خاصیت اسفنجی دارد، مقداری رطوبت توسط نمونه ها جذب شد و افزایش رطوبت در نمونه های پوشش دهی شده مشاهده گردید (شکل ۱). در ابتدای دوره رطوبت نمونه های بدون پوشش ۸۱/۴۵٪ و رطوبت نمونه های پوشش دهی شده ۸۷/۱۶٪ بود. نتایج بررسی داده ها در طول دوره نگهداری نشان دهنده آن بود که به طور کلی برای تمامی تیمارها روند کاهشی در رطوبت و روند افزایشی در افت وزن رخ داده است، اما درصد تغییرات آن بستگی شرایط نگهداری داشته است. در پایان دوره

برابر ۰/۷۵۲۹، ۰/۷۴۴۱، ۰/۸۹۵۹، ۰/۶۱۱۳ و ۰/۹۴۰۶ بوده است. با توجه به معنی دار بودن اثر تیمارها بر تغییرات رنگ و معنی دار بودن مدل ارائه شده توسط نرم افزار، در زیر معادله‌ی ارائه شده برای تغییرات رنگ ( $\Delta E$ ) زردآلود در طول دوره نگهداری به عنوان نمونه ارائه گردیده است (رابطه ۸):

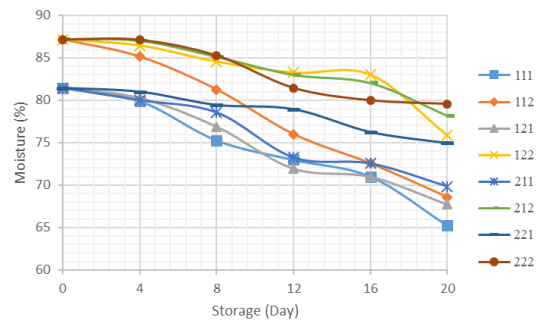
$$\Delta E = 1.96 + 1.95 A - 0.3615 B - 0.3843 C + 0.1548 D - 0.3784 AB - 0.3294 AC + 0.0597 AD - 0.0294 AC + 0.1317 BD + 0.0206 CD + 0.0388 A^2 \quad (8)$$

که تمامی متغیرهای موجود در این رابطه طبق جدول ۲ تعریف شده اند. نتایج بررسی معادله نشان می‌دهد که دوره نگهداری و پوشش دهی تأثیر مثبت (افزایشی) بر تغییرات رنگ می‌گذارد در حالی که نوع فیلم بسته‌بندی و اتمسفر اصلاح شده تأثیر کاهشی یا به عبارت بهتر کنترل تغییرات رنگ نمونه‌ها خواهند داشت.



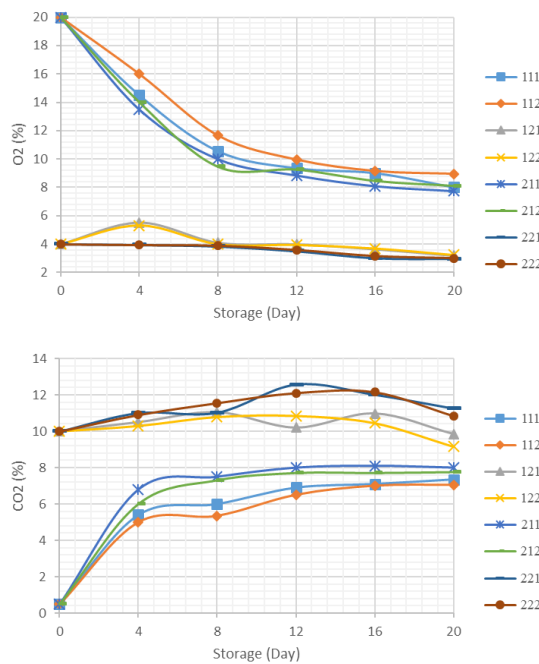
شکل ۲- تغییرات شاخص‌های رنگ در طول دوره نگهداری  
Fig 2. Color Indices changes During Storage

تغییرات اکسیژن و دی‌اکسید کربن داخل بسته‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان دهنده کاهش اکسیژن و افزایش دی‌اکسید کربن در بسته‌های حاوی اتمسفر محیط و تغییرات کمتر در نمونه‌های MAP بود. در طول دوره نگهداری به دلیل تنفسی که محصولات کشاورزی دارند روند مصرف (کاهش) اکسیژن و تولید (افزایش) دی‌اکسید کربن درون بسته‌ها قابل مشاهده می‌باشد (Serano et al., 1993). در ابتدای دوره نگهداری بسته‌های MAP حاوی ۴ درصد اکسیژن و ۱۰ درصد دی‌اکسید کربن و بسته‌های معمولی حاوی ۲۰ درصد اکسیژن و ۰/۵٪ دی‌اکسید کربن بودند. در بسته‌های حاوی اتمسفر محیط تغییرات دی‌اکسید کربن تا روز چهارم



شکل ۱- تغییرات رطوبت در طول دوره نگهداری  
Fig 1. Moisture Changes During Storage

در ابتدای دوره نگهداری و پس از پوشش‌دهی به نمونه‌ها مقادیر  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  برای نمونه‌های پوشش‌دهی شده به ترتیب ۳۱/۳۵، ۸ و ۲۷/۹۶ و برای نمونه‌های بدون پوشش به ترتیب ۲۸/۷۴، ۷/۳۷ و ۲۸/۱۳ بود. نتایج بررسی تمامی شاخص‌های رنگ در طول دوره نگهداری نشان دهنده روند کاهشی در شاخص درخشندگی، روند افزایشی در شاخص قرمزی و زردی و همچنین افزایش تغییر رنگ (شکل ۲) و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن در تمامی تیمارها بود. نتایج به دست آمده در راستای پژوهش‌های پیشین بود (Tajoddin et al., 2014; Gull et al., 2021; Touati et al., 2014). افزایش شاخص قرمزی و زردی در محصولاتی که رنگ اصلی آنها در این طیف می‌باشد بعد از مرحله‌ی رسیدگی کامل به عنوان یک تأثیر منفی (چرا که نشان دهنده افزایش سن و پیری محصول هستند) و قبل از مرحله رسیدگی کامل یک تأثیر مثبت (چرا که نشان دهنده طی شدن مراحل رسیدگی محصول هستند) در نظر گرفته می‌شود (Taye et al., 2019; Tilahun et al., 2021). نتایج نشان داد که استفاده از پوشش کایتوسان سبب تغییر شدید تر تمامی شاخص‌های رنگ شده است. دلیل این موضوع می‌تواند بخاطر جذب مستقیم محلول پوشش‌دهی توسط پوست بیرونی زردآلو باشد. تماس مستقیم محلول در محصولاتی که پوست مشخصی ندارند مثل زردآلو، توت فرنگی، قارچ سفید و موارد مشابه سبب تشدید فعالیت آنزیمی و در نهایت تغییرات سریع تر و شدید تر رنگ می‌شود (Gholami et al., 2020, Barikloo & Ahmadi., 2019). در پایان دوره نگهداری مشخص شد بیشترین تغییرات یا همان کاهش شاخص درخشندگی در نمونه‌های ۱۲۲ با ۱۲/۰۲٪ بیشترین افزایش  $a^*$  در نمونه‌های ۱۱۱ با ۴۴/۶۴٪ بیشترین افزایش  $b^*$ ، شاخص قهوه‌ای شدن و تغییر رنگ ( $\Delta E$ ) در نمونه‌های ۱۱۲ به ترتیب با ۱۴/۶۱٪، ۹/۳۸٪ و ۵/۳۵٪ بوده است. که نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که دوره نگهداری بر تغییرات تمامی شاخص‌ها تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ درصد داشته است و فیلم بسته‌بندی و اتمسفر بر تمامی شاخص‌ها به جز شاخص قهوه‌ای شدن و پوشش‌دهی نیز بر تمامی شاخص‌ها به جز  $b^*$  تأثیر معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد داشته اند. نتایج به دست آمده از مدل Quadratic نشان دهنده ضریب همبستگی بالا در ارائه مدل مناسب برای شاخص‌های رنگ بود که این ضریب همبستگی برای شاخص‌های  $L^*$ ،  $a^*$ ،  $b^*$ ،  $BI$  و  $\Delta E$  به ترتیب



شکل ۳- تغییرات گازهای O<sub>2</sub> و CO<sub>2</sub> درون بسته‌بندی در طول دوره نگهداری

Fig 3. Changes in O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> gases during storage

## ۳-۲- خواص شیمیایی (pH، مواد جامد محلول و اسیدهای قابل تیتراسیون) در طول دوره نگهداری

خواص شیمیایی محصولات کشاورزی از جمله فاکتورهای تأثیر گذار بر کیفیت و سلامت آن‌ها می‌باشند. نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری pH، TSS در شکل ۴ نشان داده شده است. در ابتدای دوره نگهداری مقادیر pH، ۵/۳۲ برای نمونه بدون پوشش و ۵/۰۵ برای نمونه پوشش‌دهی شده و TSS و TA به ترتیب ۱۷/۷۰ و ۰/۳۶ بود. به تدریج در طول دوره نگهداری میزان pH روندی افزایشی و TA روندی کاهش در تمامی نمونه‌ها داشتند که نتایج به دست آمده در راستای سایر پژوهش‌ها بود (Peano et al., 2014). اما تغییرات TSS روند منظمی را نشان نداد. تغییرات pH و TA به دلیل فعالیت‌های آنزیمی درون بافت میوه رخ می‌دهد به نحوی که افزایش این فعالیت‌ها و در نتیجه تخریب بافت میوه سبب تغییر ماهیت محصول به سمت قلبایی می‌گردد همین تغییر ماهیت محیط مناسب‌تری برای افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و در نهایت تسریع فساد محصول را فراهم می‌کند (Gholami et al., 2020) در پایان دوره نگهداری بیشترین تغییرات pH، TSS و TA در نمونه‌های پوشش‌دهی شده و بالاخص در نمونه ۱۱۲ به ترتیب با میزان ۳۹/۶۰، ۱۲/۷۱ و ۳۰/۵۶٪ و کمترین میزان در نمونه ۲۲۱ با میزان ۱۲/۷۸، ۳/۱۱ و ۱۳/۸۹٪ مشاهده شد. دلیل تغییرات بیشتر نمونه‌های پوشش‌دار بخاطر جذب محلول کایتوسان توسط بافت زردآلو است که منجر به تحریک و تشدید فعالیت‌های آنزیمی درون بافت نمونه می‌گردد. نتایج حاصل از

و تغییرات اکسیژن تا روز هشتم شدت زیادی داشت ولی بعد از روزهای گفته شده تقریباً تعادل نسبی داخل بسته‌ها برقرار شد که دلیل آن کاهش نرخ تنفس و افزایش عمر محصول در دوره نگهداری می‌باشد (Gholami et al., 2017). نتایج مشابهی از تعادل گازها درون بسته توسط Fan et al., 2019 گزارش شده است. در پایان دوره نگهداری بیشترین تغییرات هم در میزان اکسیژن و هم دی‌اکسید کربن در نمونه‌های ۱۱۱ و کمترین تغییرات در نمونه‌های ۲۲۲ مشاهده شد. در نمونه‌های پوشش‌دهی شده به دلیل قرار گرفتن یک لایه نازک از پوشش بر سطح بیرونی نمونه نرخ تنفس کنترل می‌شود و همین کنترل سبب کاهش تغییرات درون بسته خواهد شد در این پژوهش نیز نمونه‌های پوشش‌دهی شده تغییرات کمتری را در گازهای داخل بسته ثبت کردند ولی این تأثیر به لحاظ آماری معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۱). همچنین در بسته‌های با فیلم نانو به دلیل نفوذ پذیری بسیار پایین فیلم‌های نانویی امکان ورود و خروج گاز به داخل بسته محدود شده و همین امر از نوسانات مقدار گازهای درون بسته جلوگیری خواهد کرد. نتایج حاصل از آنالیز آماری داده‌های گازسنجی نشان از تأثیر معنی‌دار اتمسفر و نوع فیلم بر تغییرات گازهای درون بسته داشت (جدول ۱). بررسی مدل ارائه شده برای گازهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن نشان دهنده ضریب همبستگی ۰/۷۷۲۶ برای اکسیژن و ۰/۸۷۲۲ برای دی‌اکسید کربن بود. معادله پیش‌بینی تغییرات اکسیژن و دی‌اکسید کربن در طول دوره نگهداری که توسط مدل Quadratic ارائه شد به صورت زیر بود (رابطه ۹ و ۱۰):

$$O_2\% = 6.27 - 2.63A - 0.4531B - 4.29C + 0.0230D + 0.2065AD + 2.86AC + 0.4075AD + 0.3534BC - 0.8098BD + 0.0675CD + 2.57A^2 \quad (9)$$

$$CO_2 = 9.65 + 1.61A + 0.5178B + 2.73C - 0.0590D + 0.1730AB - 1.66AC - 0.1795AD - 0.0851BC + 0.2230BD - 0.1455CD - 2.56A^2 \quad (10)$$

متغیرهای موجود در روابط در جدول ۲ تعریف شده اند. معادلات به دست آمده میزان تأثیر تیمارهای فیلم بسته‌بندی، اتمسفر، پوشش-دهی و همچنین دوره نگهداری را بر تغییرات گازهای درون بسته نشان داده است. همانطور که در جدول تجزیه واریانس گزارش شده است



### ۳-۳- خواص مکانیکی در طول دوره نگهداری

نتایج نشان داد که در ابتدای دوره نگهداری مقادیر نیروی نفوذ و مدول الاستیسته به ترتیب ۱۵/۲۸ نیوتن و ۰/۰۳۱۴ گیگاپاسکال بود (شکل ۵). در طول دوره نگهداری و با افزایش عمر محصول به تدریج بافت محصول دچار تغییر می‌گردد. در پایان دوره نگهداری نتایج نشان دهنده کاهش هم در میزان نیروی نفوذ و هم در مدول الاستیسته بود نتایج به دست آمده در راستای سایر پژوهش‌های انجام شده بر روی زردآلو تحت تاثیر دوره نگهداری بود (Stanley et al., 2013). بیشترین کاهش نیروی نفوذ و مدول الاستیسته در نمونه‌های ۱۲۲ به ترتیب به میزان ۴۸/۳۸ و ۷۱/۰۱ درصد و کمترین کاهش در نمونه‌های ۲۲۱ به ترتیب به میزان ۲۰/۹۳ و ۳۲/۲۰ درصد بود.

به صورت کلی مشخص شد که در شرایط یکسان استفاده از پوشش کایتوسان موجب افت بیشتر شاخص‌های مکانیکی یا به اصطلاح نرم شدن بافت زردآلو شده است. در حالی که استفاده فیلم نانو و اصلاح اتمسفر داخل بسته‌ها منجر به حفظ شاخص‌های مکانیکی در طول دوره نگهداری شده است. استفاده از پوشش در تماس مستقیم با بافت محصولاتی که پوست خارجی ندارند به دلیل نفوذ به داخل بافت محصول همان‌گونه که در بخش خواص شیمیایی و فیزیکی نیز مشخص بود منجر به تغییرات شدیدتر در محصول در طول دوره نگهداری خواهد شد این نتیجه در راستای نتایج گزارش شده توسط Gholami et al., 2017 برای قارچ سفید دکمه‌ای بود.

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها نشان از تاثیر معنی دار (در سطح ۱ و ۵ درصد) دوره نگهداری و اتمسفر داخل بسته بر هر دو خواص مکانیکی داشت (جدول ۲) در حالی که تاثیر پوشش دهی بر مدول الاستیسته معنی دار نبود و همچنین نوع فیلم بسته‌بندی نیز تاثیر معنی داری را نشان نداد. رابطه ارائه شده توسط مدل Quadratic برای مدلسازی خواص مکانیکی به ضریب همبستگی ۰/۴۴۱۰ برای نیروی ماکزیمم و ۰/۰۷۱۴ برای مدول الاستیسته بود که به دلیل ضریب همبستگی پائین آن، مدل‌های دیگر 2FI و Cubic برای این پیشنهاد می‌گردد.

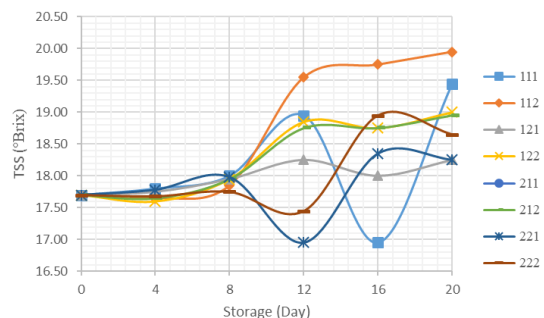
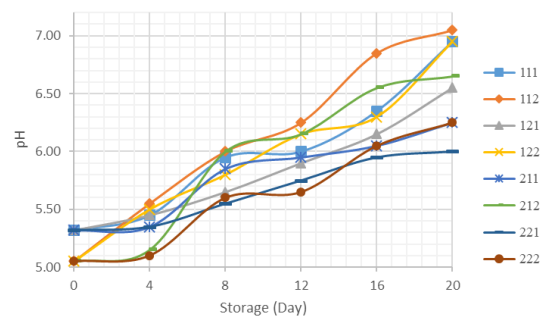
تجزیه واریانس داده‌ها نیز نشان دهنده تاثیر معنی دار (در سطح ۱ و ۵ درصد) دوره نگهداری، فیلم بسته‌بندی، اتمسفر داخل بسته و پوشش دهی و برخی اثرات متقابل بر تغییرات خواص شیمیایی داشته است. با توجه به بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر معنی دار تیمارها در سطح ۱ و ۵٪ بر تغییرات pH و TSS مشخص بود که می‌توان جهت ارائه یک مدل از آن‌ها استفاده نمود.

در نهایت رابطه ارائه شده توسط مدل Quadratic در پیش بینی خواص شیمیایی دارای ضریب همبستگی ۰/۹۰۲۱ و ۰/۸۷۲۰ به ترتیب برای pH و TSS بود. این معادلات به صورت زیر بود (رابطه ۱۱ و ۱۲):

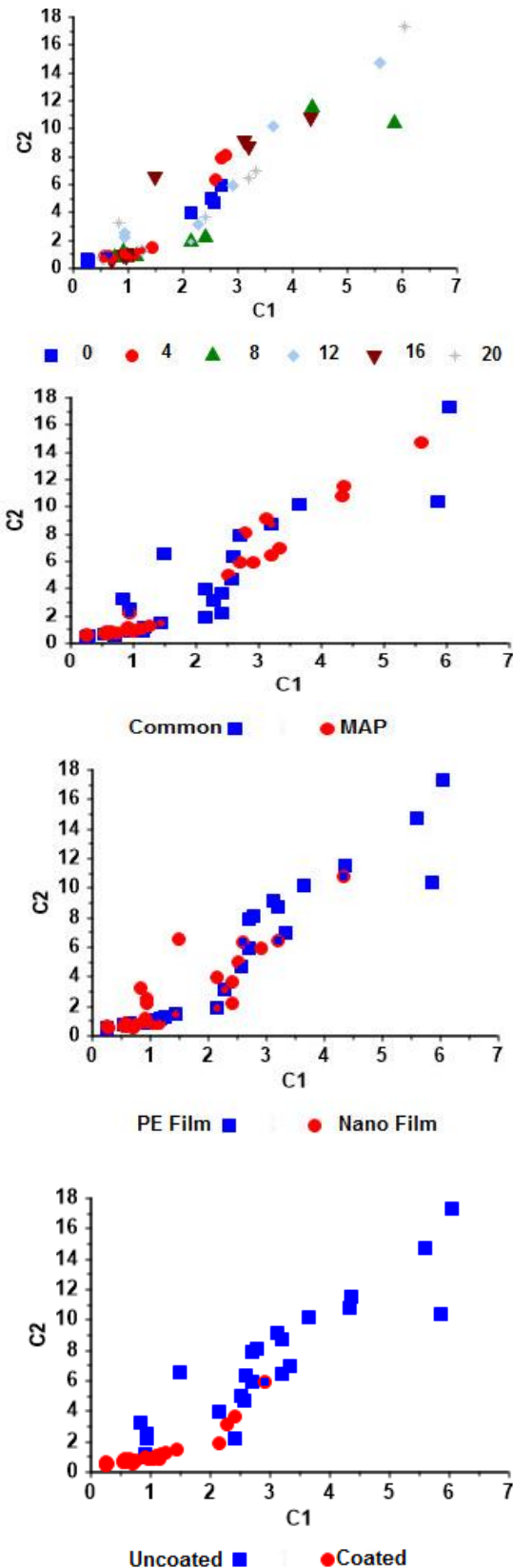
$$pH = 5.91 + 0.6607A - 0.0645B - 0.0940C + 0.0679D - 0.1564AB - 0.0125AC + 0.1163AD - 0.0470BC - 0.0048BD - 0.0366CD - 0.0546A^2 \quad (11)$$

$$TSS = 18.44 + 0.6496A - 0.2017B - 0.1089C + 0.1073D - 0.0938AB - 0.2203AC + 0.1815AD + 0.1292BC - 0.0898BD + 0.0753CD - 0.1841A^2 \quad (12)$$

متغیرهای موجود در روابط در جدول ۲ تعریف شده‌اند. نتایج روابط نشان دهنده آن بود که در فاکتورهای یک گانه، دوره نگهداری (A) بیشترین تاثیر در تغییرات pH و TSS را داشته است در حالی که کمترین تاثیر بر تغییر pH تحت تاثیر فیلم بسته‌بندی و در TSS تحت تاثیر پوشش دهی بوده است.



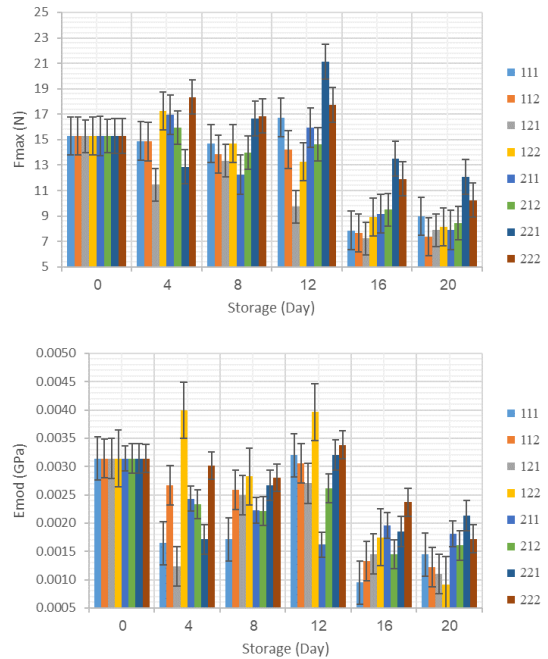
شکل ۴- تغییرات خواص شیمیایی در طول دوره نگهداری  
Fig 4. Changes in chemical properties during storage



شکل ۶- نتایج C-SVM با معیارهای مختلف ۱- دوره

انبارداری ۲- گاز بسته‌بندی ۳- فیلم ۴- پوشش

Fig 6. Results of C-SVM (1) storage period (2) packaging gas (3) film, (4) coating



شکل ۵- تغییر شاخص‌های مکانیکی در طول دوره نگهداری  
Fig 5. Change in mechanical indices during storage

### ۴-۳- مشخصه بو در طول دوره نگهداری

همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود کمترین و بیشترین دقت طبقه‌بندی به کمک C-SVM مربوط به طبقه‌بندی بر اساس نوع فیلم بسته‌بندی و پوشش است. به عبارت دیگر داشتن پوشش باعث تفاوت زیاد در ترکیبات معطر نمونه‌ها شده است. طبقه‌بندی بر اساس دوره انبارداری، نوع فیلم بسته‌بندی، گاز داخل بسته‌بندی و پوشش مناسب است.

در شکل ۶ طبقه‌بندی نمونه‌های زرد آلو بر اساس معیارهای مختلف مشاهده می‌شود. نتایج شکل‌ها با نتایج جدول ۵ همخوانی دارد. در هر ۴ شکل امکان تشخیص و تفکیک نمونه‌ها وجود دارد. اما در شکل مربوط به وجود و عدم وجود پوشش تفکیک نمونه‌ها بسیار واضح بود. این مطلب نشان دهنده وجود ترکیبات بو متفاوت در تمامی طبقه‌بندی‌ها بخصوص طبقه‌بندی مربوط به پوشش است. امکان تشخیص و تفکیک نمونه‌های زرد آلو به کمک SVM بطور مشابه برای محصولات قارچ سفید دکمه‌ای و زعفران توسط Taheri et al., 2015 و Gholami et al., 2017 نیز گزارش گردید.

کاملاً منطبق با نتایج ماشین بردار پشتیبان است. علت این تشخیص و تفکیک می‌تواند تأثیر بسزای پوشش و سپس نوع فیلم بسته‌بندی بر ترکیبات معطر نمونه‌ها باشد. در راستای تأیید نتایج به دست آمده در این پژوهش، نتایج مشابه در تحقیقات سایر محققین نیز از اثر بخش بودن SVM، ANN، LDA و PCA در طبقه بندی محصولات کشاورزی تحت شرایط مختلف نگهداری گزارش شده است (Makarichian et al., 2022 Gholami et al., 2023).

در تصاویر فوق C<sub>1</sub> و C<sub>2</sub> مربوط به داده های حسگر های MQ3 و MQ9 می باشد. در جدول ۶ نتایج بهترین ساختار شبکه عصبی برای معیارهای مختلف طبقه بندی گزارش شده است. در جدول ۵ ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه عصبی در ۴ معیار طبقه بندی مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۵ بهترین طبقه بندی به کمک شبکه عصبی بر اساس معیارهای دقت، طبقه بندی بر اساس پوشش و سپس بر اساس نوع فیلم می‌باشد به نحوی که در نمونه‌های بدون پوشش از ۲۴ نمونه ۱ نمونه نادرست تشخیص داده شد و از ۲۴ نمونه با پوشش ۴ نمونه نادرست تشخیص داده شد. نتایج شبکه عصبی

### جدول ۲- تجزیه واریانس ترکیب گازها، خواص ظاهری و فیزیکی

Table 2. Variance analysis of gas composition, appearance and physical properties

تغییر رنگ (ΔE)	شاخص قهوه‌ای شدن (BI)	شاخص زرد/آبی (b*)	شاخص قرمز/سبز (a*)	شاخص درخشندگی (L*)	دی‌اکسید کربن (CO <sub>2</sub> )	اکسیژن (O <sub>2</sub> )	رطوبت (Moisture)	کاهش وزن (weight loss)	
5.54**	12.70**	2.89**	2.08**	4.73**	23.43**	57.78**	82.08**	130.16**	مدل (Model)
47.46**	32.79**	22.82**	10.31**	14.83**	32.00**	86.05**	550.82**	1234.24**	روز (Day) A =
2.68**	0.4347 ns	0.9982**	1.34**	1.15**	5.50**	4.21**	27.08**	54.88**	فیلم (Film) B =
3.03**	0.6991 ns	0.8139**	0.7016**	0.6198*	152.78**	377.71**	45.27**	7.54**	اتمسفر (Atmosphere) C =
0.4976**	61.17**	0.0128 ns	1.52**	31.75**	0.0721 ns	0.0110 ns	164.82**	0.3524 ns	پوشش (Coating) D =
1.78**	2.27*	0.2544*	2.03**	0.0377 ns	0.3718 ns	0.5294 ns	57.83**	34.77**	AB
1.35**	5.59*	1.18**	0.0358 ns	0.8375*	34.06**	101.79**	3.17*	4.99**	AC
0.0442 ns	10.04**	0.6894**	0.7849**	0.2227 ns	0.4002 ns	2.06 ns	7.48**	1.59*	AD
0.0181 ns	8.32**	0.1619*	0.8914**	0.3216 ns	0.1521 ns	2.63 ns	10.29**	5.78**	BC
0.3557*	0.8616 ns	0.4987**	0.0869 ns	0.3472 ns	1.02 ns	13.45*	2.79 ns	0.3736 ns	BD
0.0087*	6.29*	0.0174 ns	0.3644*	1.31**	0.4340 ns	0.0933 ns	1.35 ns	0.3085 ns	CD
0.0068*	18.39**	6.94**	0.3334*	0.5152*	29.47*	29.68**	35.88**	3.18*	A2

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

### جدول ۳- تجزیه واریانس خواص شیمیایی و مکانیکی

Table 3. Variance analysis of chemical and mechanical properties

Emod	Fmax	TA	TSS	pH	
1.284E-06**	25.12**	0.0015**	0.6985**	0.6347**	مدل (Model)
5.389E-06**	92.25**	0.0120**	5.24**	5.42**	روز (Day) A =
4.790E-07 ns	4.83 ns	0.0008*	0.8340**	0.0854**	فیلم (Film) B =
1.035E-06*	10.34*	0.0004 ns	0.2432**	0.1812**	اتمسفر (Atmosphere) C =
1.251E-09 ns	17.40**	0.0007*	0.2388**	0.0957**	پوشش (Coating) D =
2.786E-07 ns	17.37**	0.0011*	0.1094**	0.3038**	AB
5.179E-08 ns	0.1404 ns	0.0000 ns	0.6030**	0.0019 ns	AC
1.894E-07 ns	2.96 ns	0.0001 ns	0.4089**	0.1680**	AD
2.828E-07 ns	37.25**	8.740E-07 ns	0.3511**	0.0465*	BC
4.710E-07 ns	1.30 ns	0.0001 ns	0.1652**	0.0005 ns	BD
8.609E-07*	1.03 ns	0.0000 ns	0.1164**	0.0275*	CD
3.539E-06**	85.79**	0.0007*	0.1520**	0.0134 ns	A2

جدول ۴- شاخص‌های دقت طبقه‌بندی نمونه‌های زردآلو

Table 4. Classification accuracy indices of apricot samples

شاخص‌های دقت طبقه‌بندی (Classification indices)	معیارهای طبقه‌بندی (Classification criteria)		
	دقت (Accuracy)	ویژگی (Specificity)	حساسیت (Sensitivity)
روز (Day)	0.87	0.92	0.69
فیلم (Film)	0.75	0.75	0.75
اتمسفر (Atmosphere)	0.77	0.77	0.77
پوشش (Coating)	0.94	0.94	0.94

جدول ۵- ماتریس اغتشاش حاصل از شبکه عصبی

Table 4. Confusion matrix resulting from the neural network

		دقت (Accuracy)						ویژگی (Specificity)	حساسیت (Sensitivity)	
		0	4	8	12	16	24			
روز (Day)	0	0	0	0	0	0	0	<b>0.76</b>	<b>1.00</b>	<b>0.13</b>
	4	3	0	0	0	0	0	<b>0.67</b>	<b>0.88</b>	<b>0.00</b>
	8	3	0	4	0	0	0	<b>0.76</b>	<b>0.86</b>	<b>0.50</b>
	12	1	2	0	5	0	1	<b>0.76</b>	<b>0.81</b>	<b>0.63</b>
	16	0	0	0	2	6	1	<b>0.81</b>	<b>0.84</b>	<b>0.75</b>
	20	1	5	4	1	2	6	<b>0.58</b>	<b>0.53</b>	<b>0.75</b>
پوشش (Coating)	بدون پوشش (Uncoated)	بدون پوشش (Uncoated)						<b>0.90</b>	<b>0.96</b>	<b>0.85</b>
	با پوشش (Coated)	با پوشش (Coated)						<b>0.90</b>	<b>0.85</b>	<b>0.96</b>
فیلم (Film)	معمولی (Common)	معمولی (Common)						<b>0.75</b>	<b>0.83</b>	<b>0.67</b>
	نانو (nano)	نانو (Nano)						<b>0.75</b>	<b>0.67</b>	<b>0.83</b>
گاز داخل بسته‌بندی (Headspace Gas)	هوای معمولی (Common)	هوای معمولی (Common)						<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>
	هوای اصلاح شده (MAP)	هوای اصلاح شده (MAP)						<b>0.63</b>	<b>0.63</b>	<b>0.63</b>

جدول ۶- ساختار مناسب شبکه عصبی بر اساس ۴ معیار طبقه بندی (روز، فیلم، اتمسفر و پوشش)

Table 6. suitable neural network structure based on 4 classification criteria

معیار طبقه بندی	ساختار شبکه عصبی
روز (Day)	10-9-6
فیلم (Film)	10-8-2
اتمسفر (Atmosphere)	10-10-2
پوشش (Coating)	10-9-2

- Gholami, R., Aghili Nategh, N., and 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. <https://doi.org/10.1007/s13197-023-05682-7>.
- Gholami, R., Ahmadi, E., and Ahmadi, S. (2020). *Investigating the effect of chitosan, nano packaging, and modified atmosphere packaging on physical, chemical, and mechanical properties of button mushroom during storage*, 8(1), 224-236. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1294>.
- Gholami, R., Ahmadi, E., and Farris, S. (2017). *Shelf life extension of white mushrooms (Agaricus bisporus) by low temperatures conditioning, modified atmosphere, and nanocomposite packaging material*. Food Packaging and Shelf Life, 14, 88-95. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129149>.
- Gull, A., Bhat, N., Wani, S. M., Masoodi, F. A., Amin, T., and Ganai, S. A. (2021). *Shelf life extension of apricot fruit by application of nano chitosan emulsion coatings containing pomegranate peel extract*. Food Chemistry, 349, 129149. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129149>.
- Karami, H., Lorestani, A. N., and Tahvilian, R. (2021). *Assessment of kinetics, effective moisture diffusivity, specific energy consumption, and percentage of thyme oil extracted in a hybrid solar-electric dryer*. Journal of Food Process Engineering, 44(1), e13588. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13588>.
- Kashwan, K. R., and Bhuyan, M. (2005). *Robust electronic-nose system with temperature and humidity drift compensation for tea and spice flavour discrimination*. 5-7 Sept. 2005 Asian Conference on Sensors and the International Conference on New Techniques in Pharmaceutical and Biomedical Research.
- Kiani, S., Minaei, S., and Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2016). *Application of electronic nose systems for assessing quality of medicinal and aromatic plant products: A review*. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.12.002>.
- Langkvist, M., and Loutfi, A. (2011). *Unsupervised feature learning for electronic nose data applied to Bacteria Identification in Blood*.
- Lashgari, M., and MohammadiGol, R. (2016). *Discrimination of Golab apple storage time using acoustic impulse response and LDA and QDA discriminant analysis techniques*. Iran Agricultural Research, 35(2), 65-70. <https://doi.org/10.22099/iar.2016.3799>.
- Makarichian, A., Chayjan, R. A., Ahmadi, E., and Zafari, D. (2022). *Early detection and classification of fungal infection in garlic (A. sativum) using electronic nose*. Computers and Electronics in Agriculture, 192, 106575. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106575>.
- Modupalli, N., Naik, M., Sunil, C. K., and Natarajan, V. (2021). *Emerging non-destructive methods for quality and safety monitoring of spices*. Trends in Food Science & Technology, 108, 133-147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.021>.

#### ۴- نتیجه گیری نهایی

در بررسی تمام نتایج به دست آمده از آزمایش های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی و تأثیر شرایط بسته بندی بر آنها، اثر گذاری شرایط بسته بندی بر کنترل کیفیت یا به عبارت بهتر حفظ کیفیت محصولات کشاورزی مشخص گردید. نتایج نشان دهنده آن بود که استفاده از پوشش های خوراکی که به صورت محلول بوده و مستقیماً با پوست میوه تماس دارند به دلیل محتوای رطوبتی بالا سبب تشدید فعالیت های آنزیمی میوه و تغییر رنگ شدید در محصول می گردد. از طرفی استفاده از اتمسفر اصلاح شده و فیلم نانو به صورت همزمان تأثیر مثبت در حفظ کیفیت (کنترل تغییرات) زردآلو در طول دوره نگهداری داشت. همچنین استفاده از مدل Quadratic در ارائه یک رابطه مناسب برای نمایش اثر گذاری تیمارهای مورد نظر بر خواص زردآلو در اکثر خواص دارای ضریب همبستگی بالایی بود. همچنین با بررسی داده های بینی الکترونیک و ارزیابی با روش های مختلف مشخص شد که بهترین طبقه بندی به کمک شبکه عصبی بر اساس معیارهای دقت، طبقه بندی بر اساس پوشش و سپس بر اساس نوع فیلم می باشد. در طبقه بندی به کمک شبکه عصبی در نمونه های بدون پوشش از ۲۴ نمونه ۱ نمونه نادرست تشخیص داده شد و از ۲۴ نمونه با پوشش ۴ نمونه نادرست تشخیص داده شد. نتایج شبکه عصبی کاملاً منطبق با نتایج ماشین بردار پشتیبان است و هر دو موید تأثیر بسیار زیاد پوشش بر حفظ ترکیبات بو نمونه ها می باشد.

#### سپاس گذاری

این پژوهش در دانشگاه رازی و آزمایش های مربوطه در آزمایشگاه پیشگامان کیفیت پارت انجام گرفته است. از این رو نویسندگان بر خود واجب می دانند از دانشگاه رازی و آزمایشگاه پیشگامان کیفیت پارت تشکر و قدردانی به عمل آورند.

#### منابع

- Alvarez, R. (2009). *Predicting average regional yield and production of wheat in the Argentine Pampas by an artificial neural network approach*. European Journal of Agronomy, 30(2), 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.005>.
- Anonymous (2022). Food and agricultural organization of the United Nations statistics division. Available from: <http://FAOst at3.fao.org/download/Q/QC/E>
- Barikloo, H., Ahmadi, E. (2019). *Shelf life extension of strawberry by temperatures conditioning, chitosan coating, modified atmosphere, and clay and silica nanocomposite packaging*, Scientia Horticulturae, 240 (20); 496-508. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.012>.
- 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. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.02.003>.

- commercial apricot jam*. Food Chemistry, 145, 23-27. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.037>.
- Zapata, P. J., Serrano, M., Martínez-Romero, D., Valero, D., Guill'en, F., Paladines, D., and Castillo, S. (2016). *The addition of rosehip oil to Aloe gels improves their properties as postharvest coatings for maintaining quality in plum*. Food Chemistry, 217, 585-592. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.035>.
- Pathare, P.B., and Opara, U.L. (2023). *Mechanical Damage in Fresh Horticultural Produce: Mechanical Damage in Fresh Stone Fruits: Measurement and Analysis*. Chapter 7, 131-147. [https://doi.org/10.1007/978-981-99-7096-4\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-99-7096-4_7).
- Peano, C., Giuggiuli, N.R., and Girgent, V. (2014). *Effects of innovative packaging materials on apricot fruits*. Fruits, 69 (3), 247-258. <http://dx.doi.org/10.1051/fruits/2014014>.
- Riaz, A., Adil, A.M., Amoussa, A.M.O., Bashari, M., A, M., and Hashim, M.M. (2020). *Application of chitosan-based apple peel polyphenols edible coating on the preservation of strawberry (Fragaria ananassa cv Hongyan) fruit*. Journal of food processing and preservation, 45 (1); 15018. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15018>.
- Sanaeifar, A., ZakiDizaji, H., Jafari, A., and Guardia, M. d. I. (2017). *Early detection of contamination and defect in foodstuffs by electronic nose: A review*. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 97, 257-271. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.09.014>.
- Stanley, J., Prakash, R., Marshall, R., and Schröder, R. (2013). *Effect of harvest maturity and cold storage on correlations between fruit properties during ripening of apricot (Prunus armeniaca)*. Postharvest Biology and Technology, 82, 39-50. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.020>.
- Taheri-Garavand, A., Ahmadi, H., Omid, M., Mohtasebi, S. S., Mollazade, K., Russell Smith, A. J., and Carlomagno, G. M. (2015). *An intelligent approach for cooling radiator fault diagnosis based on infrared thermal image processing technique*. Applied Thermal Engineering, 87, 434-443. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.038>.
- Tajoddin, B., Hashemi, M., and Mojtaba, Khayam. (2014). *Effect of Nano packaging based on Chitosan and chitosan wax coating on physical properties of apricot*. Journal of agricultural engineering research, 15 (3); 40-52 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/jaer.2014.100212>.
- Taye, A. M., Tilahun, S., Seo, M. H., Park, D. S., and Jeong, C. S. (2019). *Effects of 1-MCP on Quality and Storability of Cherry Tomato (Solanum lycopersicum L.)*. Horticulturae, 5(2). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110401>.
- Tilahun, S., Lee, Y. M., Choi, H. R., Baek, M. W., Lee, J.-S., Park, D. S., and Jeong, C. S. (2021). *Modified atmosphere packaging combined with CO<sub>2</sub> and 1-methylcyclopropene prolong the storability and maintain antioxidant properties of cherry tomato*. Scientia Horticulturae, 288, 110401. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110401>.
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarinia, V., Bonyadian, M., and 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. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.09.003>.
- Touati, N., Tarazona-Díaz, M. P., Aguayo, E., and Louaileche, H. (2014). *Effect of storage time and temperature on the physicochemical and sensory characteristics of*