

**Research Article****Investigation and modeling of lemon properties with different coatings under storage conditions with artificial neural network and regression models****Fatemeh Moradi Ganjeh<sup>1</sup>, Rasoul Memar Dastjerdi<sup>2\*</sup>, Mohammad Hadi MovahedNejad<sup>3</sup>, Mokhtar Heydari<sup>4</sup>**

1. Former student of Biosystems Engineering Department, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran
3. Assistant professor of water and soil Department, Agriculture Faculty, Shahrood University of Technology, Semnan, Iran.
4. Associate professor, Department of Horticultural Science, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran

(Received 08 March 2022, Received in revised form 25 April 2022, Accepted 12 June 2022)

**Abstract**

The application of edible coatings is one of the most effective ways to maintain the quality of fruits. In this study, the quality of sweet lemon fruit was evaluated in a completely randomized factorial design with edible coating of chitosan-clay nanocomposite in three levels, olive oil and carnauba wax in comparison with uncoated samples during refrigeration for 4 months. During the storage period of sweet lemon fruits, chemical characteristics (acidity, brix and ascorbic acid) as well as mechanical properties (maximum skin tensile force, fruit skin punch modulus) were measured. The results showed carnauba wax and chitosan-clay nanocomposite had better performance in maintaining lemon quality and mechanical properties than samples without coating. Moreover, among the coatings used, 5% chitosan-clay nanocomposite coating had higher preference than other coatings. In this research, Artificial Neural Networks (ANN), linear and nonlinear regression method were used to predict the quality of lemon. The results showed that the ANN has a better forecasting accuracy to predict the lemon properties compared to linear and nonlinear regression models and the LM learning algorithm with tansig transfer function had the best result. The best fit for the qualitative parameter was acidity with the coefficient of determination ( $R^2$ ) of 95%. The result of sensitivity analysis indicated that the highest sensitivity coefficient was obtained for the punch modulus against the time feature with 47.96%.

**Keywords:** Nanocomposite Coating, Storage, Mechanical Properties, Quality Properties, Sweet Lemon, Sensitivity Analysis.

**How to cite this article:**

Moradi Ganjeh, F., Meamar Dastjerdi, R., Movahednejad, M.H., & Heidari, M. (2022). Investigation and modeling of lemon properties with different coatings under storage conditions with artificial neural network and regression models. *Innov. Food Technol.*, 9(4), 289-307.

\* Corresponding Author: [rasoul.memar@asnruk.ac.ir](mailto:rasoul.memar@asnruk.ac.ir)

### مقاله پژوهشی

## بررسی و مدل‌سازی خواص لیموشیرین با پوشش‌های مختلف در شرایط انبارمانی با مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی

فاطمه مرادی گنجه<sup>۱</sup>، رسول معمار دستجردی<sup>۲\*</sup>، محمدهادی موحدنژاد<sup>۳</sup>، مختار حیدری<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران
۲. استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران
۳. استادیار گروه مهندسی کشاورزی، عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران
۴. دانشیار گروه باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران

(تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۲)

### چکیده

استفاده از پوشش‌های خوراکی یکی از مؤثرترین راه‌ها در حفظ کیفیت میوه‌ها است. در این پژوهش کیفیت میوه لیموشیرین در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با پوشش خوراکی نانوکامپوزیت کیتوسان-رس در سه سطح، روغن زیتون و واکس کارنوبا در مقایسه با نمونه بدون پوشش در طی عمر سردخانه‌ای در مدت ۴ ماه مورد ارزیابی قرار گرفت. در طی دوره انبارمانی میوه‌های لیموشیرین ویژگی‌های اسیدیته، بریکس و اسیداسکوربیک و ویژگی‌های مکانیکی شامل حداکثر نیروی کشش پوست و مدول پانچ پوست میوه اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که واکس کارنوبا و نانو کامپوزیت کیتوسان-رس در حفظ خواص کیفی و مکانیکی نسبت به حالت بدون پوشش عملکرد بهتری داشتند. همچنین در بین پوشش‌های به‌کاربرده شده پوشش نانو کامپوزیت کیتوسان-رس ۵٪ موفقیت بالاتری در حفظ خواص نسبت به سایر پوشش‌ها داشت. در این پژوهش، شبکه‌های عصبی مصنوعی، روش‌های رگرسیون خطی، غیرخطی نیز برای پیش‌بینی خواص لیموشیرین با پوشش‌های مختلف در شرایط انبارمانی مورداستفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که شبکه عصبی در مقایسه با رگرسیون خطی و غیرخطی، قدرت بهتری برای پیش‌بینی خواص لیموشیرین داشت و الگوریتم یادگیری لونبرگ مارکواردت (LM) Lonberg-Marquardt algorithm با تابع انتقال Tangent Sigmoid (tansig) بهترین نتیجه را داشت. بهترین برازش برای پارامتر کیفی، میزان اسیدیته با ضریب تبیین (R)، ۹۵٪ به دست آمد. همچنین نتایج آنالیز حساسیت نشان داد بالاترین ضریب حساسیت برای پارامتر مدول پانچ در ویژگی زمان با مقدار ۴۷/۹۶٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پوشش نانوکامپوزیت، انبارمانی، خواص مکانیکی، خواص کیفی، لیموشیرین، آنالیز حساسیت

## ۱. مقدمه

لیموشیرین با نام علمی (Citrus limetta L.) متعلق به تیره مرکبات سانان (Rutaceae) و از جنس مرکبات (Citrus) است [۱]. تولید لیموشیرین در تعداد محدودی از کشورها از جمله ایران صورت می‌گیرد. قصر شیرین، دزفول، جهرم و جیرفت از بهترین مناطق پرورش لیموشیرین در ایران می‌باشند. در ایران تولید لیموشیرین به دلیل شرایط آب و هوایی خاص مورد نیاز این گیاه، منحصر به مناطق جنوب کشور است [۲]. منشأ لیمو به خوبی شناخته شده نیست و احتمالاً از تلاقی بالنگ و لایم حاصل شده است. هر دو این گونه‌ها از مرکبات اولیه بوده‌اند و لیموها از نظر زمان پیدایش به این گونه نزدیک‌تر هستند [۱]. طبق گزارش سازمان خواروبار جهانی فائو<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) سطح زیر کشت مرکبات در جهان هشت میلیون و هشتصد هزار هکتار و میزان تولید آن صدوسی و یک میلیون تن بوده است که ایران با داشتن صدوشصت و پنج هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید سالانه دو میلیون و هشتصد هزار تن مرکبات، مقام هشتم دنیا از نظر میزان تولید را دارد [۳]. یکی از مشکلات تجاری میوه و سبزی‌ها عمر کوتاه پس از برداشت آنها است [۴]. دو مشکل عمده که ذخیره‌سازی طولانی مدت مرکبات را محدود می‌کند شامل پوسیدگی ناشی از عوامل بیماری‌زا به خصوص قارچ‌ها و وارد آمدن آسیب به پوست میوه است که سبب ظهور بدشکلی در پوست میوه می‌شود [۵]. انبارمانی طولانی مدت مرکبات بر کیفیت میوه تأثیر دارد و با کاهش میزان قند و اسید همراه است [۶]. آسکوربیک اسید به دلیل خاصیت آنتی‌اکسیدانی مهم‌ترین ماده مغذی در میوه مرکبات است که در طی انبارمانی تغییر می‌کند [۷]. یکی دیگر از مشکلات پس از برداشت مرکبات کاهش رطوبت است که سبب چروکیدگی و کاهش بازارپسندی محصول می‌شود. کاهش رطوبت و چروکیدگی پوست میوه در گونه‌های مختلف مرکبات تفاوت معنی‌داری دارد. این تفاوت به خاطر اختلاف در ضخامت پوست یا پوشش‌های محافظت‌کننده روی پوست میوه است که موانع طبیعی در برابر خروج آب ایجاد می‌کنند [۸]. میوه مرکبات معمولاً با واکس‌های تجاری رایج پوشش

دهی می‌شوند که این کار برای جلوگیری از کاهش آب، کاهش میزان چروکیدگی و همچنین شفافیت و درخشندگی میوه می‌باشد [۹]. با این وجود پوشش‌های واکسی می‌توانند به دلیل محدود کردن تبادلات گازی در پوست میوه‌ها و ایجاد شرایط بی‌هوازی و جمع شدن اتانول داخل آنها به میوه‌ها آسیب وارد کنند و در نهایت باعث ایجاد طعم بدی در میوه گردند [۱۰، ۱۱، ۱۲-۱۳]. اخیراً به دلیل افزایش نگرانی‌های بشر در مورد مسائل بهداشتی و حفاظت از محیط‌زیست علاقه‌مندی به توسعه پوشش‌های خوراکی زیست‌تخریب‌پذیر طبیعی و ایجاد پوشش‌هایی برای حفظ کیفیت میوه و سبزی‌ها و جایگزینی آنها با مواد مصنوعی تجاری رایج نظیر واکس‌ها و موم‌ها افزایش یافته است [۱۴، ۱۵، ۱۶-۱۸]. به‌طور کلی پوشش‌های خوراکی طبیعی از پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، چربی‌ها یا انواع مختلفی از کامپوزیت‌ها تشکیل شده است [۱۶-۱۷]. امروزه فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر در صنایع غذایی و کشاورزی کاربرد زیادی پیدا کرده است [۱۹]. فیلم‌های زیست‌تخریب‌پذیر معمولاً از منشأ گیاهی استخراج می‌شوند. برای نمونه در تحقیقی از شاتوت و برگ آن و در تحقیقی دیگر از نشاسته سیب‌زمینی و پکتین پوست سیب، برای تهیه فیلم کامپوزیتی استفاده گردید [۲۰-۲۱]. این پوشش‌ها علاوه بر بالا بردن دوام فیزیکی محصولات غذایی باعث بهبود ویژگی‌های ظاهری محصول نیز می‌شوند. به‌منظور بهبود خواص فیزیکی و کیفی این پوشش‌ها از ذرات نانو نیز در آنها استفاده می‌شود تا علاوه بر بهبود خواص پوشش بتوان پوشش سازگار با محیط نیز تولید نمود [۲۲]. برای نمونه در پژوهشی فیلمی از آب‌پنیر به همراه نانو ذرات اکسید مس به همراه اسانس نارگیل و پاپریکا تولید شده و به‌عنوان یک پوشش مناسب برای مواد غذایی پیشنهاد گردید [۲۳]. پوشش‌های خوراکی هم‌چنین می‌توانند محصول را در برابر از دست دادن رطوبت، رشد عوامل بیماری‌زا روی سطح محصول، تغییرات شیمیایی نوری و اکسیداسیون مواد غذایی حفظ کنند [۲۲]. پوشش‌های خوراکی عموماً لایه‌های نازکی از مواد غذایی است که به‌طور مستقیم روی سطح میوه به روش‌های غوطه‌وری، محلول‌پاشی یا برس‌زنی به‌کاربرده می‌شوند [۲۴-۲۵]. از دیگر ترکیباتی که جهت کاهش اتلاف رطوبت و حفظ و نگهداری میوه در طول دوره انبارمانی

1. FAO



پلیانیلین<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان نفوذپذیری بخار آب لایه‌های نانو کامپوزیتی کیتوسان-پلیانیلین به‌طور معنی‌داری کمتر از فیلم شاهد کیتوسان است [۳۶]. در پژوهشی دیگر از ترکیب پلی ساکارید cmc<sup>۳</sup> به‌عنوان یک لایه داخلی و کیتوسان به‌عنوان یک لایه خارجی به‌عنوان پوششی برای نگهداری و حفظ دو رقم نارنگی (ریشون<sup>۴</sup> و میچال<sup>۵</sup>) استفاده گردید که در آن غلظت‌های مختلف کیتوسان به‌کاربرده شد. میوه‌ها به مدت ۱۰ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۸۰-۸۵٪ نگهداری شدند. محققین دریافتند که ترکیب این دو ماده به‌عنوان پوشش خوراکی باعث ایجاد براقی و استحکام محصول شده و این دو عامل با میزان افزایش کیتوسان در پوشش رابطه مستقیم دارند؛ اما در نگهداری طعم و عطر نارنگی‌ها تأثیر چندانی نداشته است [۳۷]. استفاده از فیلم‌های کامپوزیتی و نانو کامپوزیت در بسته‌بندی و صنایع غذایی نیز رشد بسزایی داشته است [۳۸]. در پژوهشی فیلمی از ترکیب پکتین با نانو رس و اسانس برای جلوگیری از فساد کره استفاده شد [۳۹]. در پژوهشی دیگر محققین از یک لایه خوراکی متشکل از کربوکسی متیل سلولز و کیتوسان برای حفظ کیفیت و مدت انبارمانی مرکبات استفاده کردند که موجب حفظ عطر و طعم گردید [۴۰]. همچنین نتایج یک تحقیق روی میوه نارنگی نشان داد پوشش نانوکامپوزیتی کیتوسان-مونتوریلونیت<sup>۶</sup> در تازه نگه‌داشتن میوه و حفظ محتوای مغذی و کاهش میزان از دست دادن آب و سرعت تنفس در طی انبارمانی عملکرد مناسبی داشته است [۴۱]. در پژوهشی نیز از پوشش نانوکامپوزیت کیتوسان-رس برای کاهش رسیدگی و تولید اتیلن در موز استفاده گردید [۴۲].

لذا، هدف کلی از این پژوهش، پوشش دهی میوه لیموشیرین با مواد نانوکامپوزیت کیتوسان-رس و بررسی آن روی خواص فیزیکی-مکانیکی و خواص شیمیایی میوه در طی زمان انبارداری در سردخانه در مقایسه با سایر پوشش‌های رایج

استفاده می‌شود، روغن است. استفاده از روغن کاهش وزن و تعرق را در طول دوره انبارمانی کاهش می‌دهد [۲۶-۲۷]. روغن‌های گیاهی وضعیت سلول‌های غشا پوست را تثبیت کرده و پیری سلول را به تأخیر می‌اندازد [۲۸]. گنجی مقدم و نیکخواه<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) گزارش دادند استفاده از روغن آفتابگردان و ذرت باعث کاهش پوسیدگی و سفتی گوشت ارقام سیب رد و گلدن شد و در حفظ اسیدیته و میزان مواد جامد محلول مؤثر بود و بهترین نتیجه از تیمار ۲٪ روغن ذرت به دست آمد [۲۹]. در پژوهشی استفاده از روغن زیره سبز در توت‌فرنگی باعث حفظ استحکام میوه شده و بروز آلودگی قارچی را به تأخیر انداخت [۳۰]. واکس کارنوبا نیز یک واکس گیاهی سالم بوده که دارای نفوذپذیری نسبی، نسبت به گازها بوده و به شکل میکرومولوسیون و به‌طور کامل براق می‌باشد. از مشکلات اصلی آن کاهش جلا در طی انبارمانی و نفوذپذیری نسبتاً بالا نسبت به گاز و نداشتن تأثیر در به تأخیر انداختن رسیدن میوه است [۳۱]. کیتوسان فرم دی‌استیل‌شده‌ی کتین است که از پوسته‌ی خرچنگ و میگو به دست می‌آید. این پلی ساکارید کاتیونی طبیعی، غیر سمی، زیست‌تخریب‌پذیر و در سطح تجاری در دسترس است و می‌تواند برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد [۳۲]. از اثرات مفید پوشش‌های خوراکی کیتوسان می‌توان به کاهش نرخ تنفس و تعرق، کاهش فعالیت میکروبی و کاهش تغییرات رنگ اشاره نمود [۳۳]. پوشش‌هایی که بر پایه‌ی کیتوسانی می‌باشند پتانسیل تازه نگه‌داشتن میوه، کاهش تولید اتیلن، افزایش دی‌اکسید کربن داخلی و کاهش میزان اکسیژن را دارند [۳۴]. به‌دلیل توانایی کیتوسان در ایجاد پوشش و همچنین خاصیت ضد میکروبی آن امروزه به‌صورت گسترده از این ماده برای نگهداری میوه‌ها استفاده می‌شود [۳۵]. ویژگی آب‌دوستی و به‌دنبال آن خصوصیات مکانیکی ضعیف کیتوسان در حضور آب و محیط‌های مرطوب و ناکافی بودن مقاومت حرارتی، سختی، ممانعت در برابر گازها و هزینه تولید آن، کاربرد کیتوسان را مشکل ساخته است. خواص نامطلوب کیتوسان در ترکیب با سایر پلیمرها بهبود می‌یابد. برای نمونه در پژوهشی خواص فیلم کیتوسان-

2. chitosan-polyaniline  
3. caboxy methyl cellulose  
4. Rishon  
5. Michal  
6. montmorillonite

جات) تهیه شد و طبق دستورالعمل پیشنهادی شرکت واکس به صورت خالص و غلظت ۱۰۰ استفاده گردید و در تیمار دیگر از روغن زیتون فرابکر ساخت کشور ایتالیا استفاده شد که به صورت مالشی روی سطح میوه‌ها اعمال گردید. پوشش دهی میوه‌ها به روش غوطه‌وری و خشک‌شدن پوشش سطحی آنها در دمای محیط انجام گرفت. آزمایش‌ها به صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تکرار در محیط سردخانه انجام شد. متغیرهای مستقل در این آزمایش‌ها نوع پوشش دهی ۶ حالت (پوشش کامپوزیت در ۳ ترکیب، ۲ پوشش رایج و بدون پوشش) و در چهار زمان (بازه سه‌ماهه) و متغیرهای وابسته شامل میزان کل مواد جامد محلول (TSS)<sup>۱</sup>، اسیدیته (TA)<sup>۲</sup>، ویتامین سی (VC)<sup>۳</sup>، مدول پانچ<sup>۴</sup> (Ep) و حداکثر نیروی کشش پوست<sup>۵</sup> (FT) در طی زمان انبارداری می‌باشند. تجزیه و تحلیل پارامترهای به دست آمده در نرم‌افزار Excel 2013 صورت گرفت و همچنین برای آزمون‌های مقایسه میانگین و تجزیه واریانس، از نرم‌افزار آماری SAS استفاده شد.

## ۲.۲. اندازه‌گیری خواص کیفی

جهت تعیین میزان کل مواد جامد محلول آب‌میوه (TSS)، از دستگاه رفاکتمتر<sup>۶</sup> دیجیتالی (مدل MA882- ساخت کشور ژاپن) استفاده شد. اندازه‌گیری اسیدیته قابل تیتراژ (TA) براساس استاندارد AOAC (۲) انجام گردید [۴۴].

## ۳.۲. اندازه‌گیری خواص مکانیکی

برای تعیین خواص مکانیکی از دستگاه آزمون مواد ساخت شرکت سنتام (مدل STM-20) ساخت کشور ایران استفاده شد.

## ۴.۲. آزمون پانچ پوست

برای انجام این آزمون یک‌تکه پوست‌میوه را به ابعاد ۴×۴cm

(واکس کارنوبا و روغن زیتون) می‌باشد. همچنین مقایسه روش‌های رگرسیون خطی، غیر خطی و شبکه عصبی برای پیش‌بینی خواص لیموشیرین با پوشش‌های مختلف در شرایط انبارداری نیز انجام خواهد گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۱.۲. آماده‌سازی نمونه‌ها و پوشش‌ها

در این پژوهش تعداد ۲۱۶ عدد میوه لیموشیرین به صورت تصادفی از باغی واقع در شهرستان دزفول برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. تمامی میوه‌ها با استفاده از غوطه‌ور شدن در کلراکس ۴٪ به مدت ۳ min ضد عفونی شدند و سپس با قرار گرفتن در معرض هوای آزاد خشک شدند. سپس میوه‌ها به شش دسته مساوی تقسیم‌بندی شده که دسته اول با ترکیب نانو کیتوسان-رس ۵٪، دسته دوم با ترکیب نانو کامپوزیت کیتوسان-رس ۱۰٪، دسته سوم با ترکیب نانو کامپوزیت کیتوسان-رس ۱۵٪، دسته چهارم با واکس کارنوبا، دسته پنجم با استفاده از روغن زیتون فرابکر زیتون پوشش داده شد و دسته ششم شاهد (بدون پوشش) بود. پوشش کیتوسان-رس از ترکیب ۳٪ کیتوسان (نسبت به محلول) با سه نسبت وزنی رس به کیتوسان (۵، ۱۰ و ۱۵٪)، توپین ۸۰ (۵٪ وزنی کیتوسان) و گلیسرول (مرک با خلوص ۹۹/۵٪) (۱۰٪ وزنی کیتوسان) در محلول اسید لاکتیک (مرک با خلوص ۹۰٪) ۲٪ ساخته شد. کیتوسان مورد استفاده دارای وزن مولکولی پایین با درجه دی‌استیلیشن ۸۵٪، ساخت شرکت سیگما آلدریج کشور آمریکا و خاک رس مورد استفاده از نوع بنتونیت از شرکت خاک سفید الیگودرز تهیه گردید. همچنین از توپین ۸۰ ساخت کشور سیگما آلدریج آمریکا، با شماره تولید P8074 برای افزایش کشش سطحی ترکیب کیتوسان-رس استفاده شد. اندازه‌گیری فاصله لایه‌های رس برای تأیید نانو کامپوزیت بودن ترکیب کیتوسان-رس، با آزمون XRD توسط دستگاه دیفراکتومتر مدل D80-ADVANCE ساخت کشور آلمان Miniflex Defractometer انجام گرفت [۴۳]. پوشش واکس از شرکت حیات پوشش حیاط سبز (تولیدکننده پوشش محافظ میوه

1. Total soluble solid  
2. Titration acid  
3. Vitamin C  
4. Elastic Module of punch test  
5. Maximum tention force  
6. Refractometer

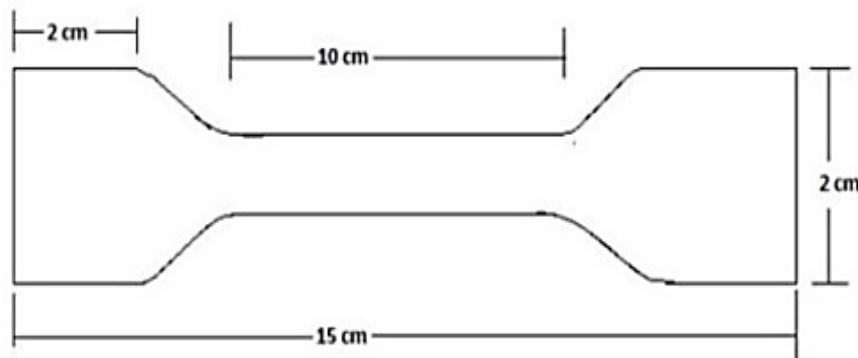
در رابطه (۱)،  $E$  ضریب کشسانی (MPa)،  $F$  مقاومت نفوذی یا سفتی (N)،  $D$  جابه‌جایی (mm)،  $r$  شعاع میله (mm) و  $\mu$  ضریب پواسون (بی‌بعد) می‌باشد.

### ۵.۲. آزمون کشش پوست

این آزمون روی محصولات صاف و تخت انجام می‌شود. لذا پوست نمونه‌ها مانند شکل (۱) برش داده شد. طول نمونه مورد آزمایش ۱۵۰ mm بود. برای انجام این آزمون، از دستگاه آزمون مواد استفاده گردید. این آزمایش با سرعت  $0.5 \text{ mmmin}^{-1}$  انجام پذیرفت، مقدار نیروی کششی بیشینه از منحنی نیرو-جابجایی دستگاه آزمون مواد تعیین گردید [۴۶].

با چاقو جدا کرده سپس آن را بین دو صفحه آلومینیومی به ابعاد  $4 \times 4 \text{ cm}$  قرار داده و دو صفحه توسط پیچ محکم شدند. در مرکز صفحات آلومینیومی، سوراخی به قطر ۳ cm تعبیه شده که بعد از قرار گرفتن پوست بین دو صفحه، استوانه فولادی لبه تیز به قطر  $2/5 \text{ cm}$  با سرعت  $2 \text{ mmmin}^{-1}$  به سمت سوراخ حرکت کرد و موجب سوراخ کردن پوست میوه گردید. برای محاسبه مدول الاستیسته پانچ از رابطه (۱) استفاده شد [۴۵].

$$E = \frac{F}{D} \frac{1 - \mu^2}{2r} \quad (1)$$



شکل (۱) نمونه مورد استفاده برای آزمون کشش  
Fig 1. Sample used in the tensile test

$$\text{Normalize}(x) = \frac{(x - \min(x))}{(\max(x) - \min(x))} * 2 - 1 \quad (2)$$

سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS ضرایب مدل استخراج گردید. برای هر پارامتر خروجی یک تابع تعیین (رابطه ۳) و میزان دقت تابع با ضریب تبیین مشخص گردید (رابطه ۴). ضرایب توابع مانند معادله فوق تعیین می‌شود. همچنین معناداری و عدم معناداری ضرایب نیز توسط نرم‌افزار به دست آمد.

$$Y_i = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_1^n (y - \bar{y})^2 - \sum_1^n (y - \hat{y})^2}{\sum_1^n (y - \bar{y})^2} \quad (4)$$

پارامترهای ورودی که شش فاکتور بوده به ترتیب شامل زمان انبارمانی، نوع پوشش، جرم، حجم، ضریب کرویت و

### ۶.۲. بررسی اثر پوشش‌های مختلف بر خصوصیات مکانیکی و بیوشیمیایی در شرایط سردخانه‌ای

در این آزمایش اثر پوشش‌های واکس، کیتوسان در سه سطح مختلف (۵، ۱۰ و ۱۵٪) و روغن زیتون بر برخی خصوصیات مکانیکی و بیوشیمیایی میوه لیموشیرین پس از ۴ ماه انبارمانی در شرایط سردخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت.

### ۷.۲. مدل‌سازی رگرسیونی خطی چند متغیره

برای تحلیل مدل رگرسیونی خطی چندمتغیره به منظور امکان مقایسه با روش شبکه عصبی، داده‌ها نرمال شدند. معادلات نرمال‌سازی، تمام داده‌ها را بین منفی یک و یک قرار می‌دهد [۴۱].

چندلایه‌ی پرسپترون<sup>۱</sup> (MLP) با الگوریتم پس انتشار پیشخور<sup>۲</sup> (FFBP) می‌باشد. داده‌ها در ابتدا در یک ماتریس وارد شده و سپس به شبکه فراخوان شد. سپس داده‌ها به دو صورت ورودی و خروجی تقسیم گردید. داده‌های هر دسته به‌طور تصادفی به سه قسمت، ۷۰٪، ۱۵٪ و ۱۵٪ تقسیم گردید. قسمت اول برای یادگیری، قسمت دوم و سوم نیز برای ارزیابی و آزمون مدل تعیین گردید. در ادامه داده‌ها برای شبکه نرمال‌سازی شد (رابطه ۲) [۴۷].

برای آموزش داده‌ها در فضای نرم‌افزار برنامه‌ای نوشته شد. برای بهینه‌سازی مدل، چهار المان بررسی گردید. این المان‌ها شامل الگوریتم یادگیری، تابع آستانه، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نورن‌های لایه‌های پنهان بودند. الگوریتم‌های یادگیری شامل دو الگوریتم، لونیگ-مارکوارت (LM) و تنظیم بیزین (BR)، بود. توابع آستانه مورد استفاده در مدل‌سازی سه تابع تانژانت هایپربولیک سیگموئید (tansig) (رابطه ۶) و سیگموئید لگاریتمی (logsig) (رابطه ۷) و خطی (رابطه ۸) بودند [۴۷].

$$Y_i = \frac{2}{(1+e^{-2X_i})} - 1 \quad (۶)$$

$$Y_i = \frac{1}{(1+e^{-X_i})} \quad (۷)$$

$$Y_i = X_i \quad (۸)$$

لایه‌های پنهان به‌صورت تک لایه‌ای بررسی شد. تعداد نورن نیز از ۲ تا ۱۰ نورن مورد بررسی قرار گرفت. سپس با برنامه نوشته‌شده سه المان تعداد نورن، الگوریتم آموزش، تابع آستانه بررسی شده و برای تمام ترکیب‌های ایجاد شده براساس چهار المان، خطا و بقیه پارامترهای ارزیابی تعیین می‌گردد. براساس کمترین میانگین مربعات خطا (MSE) (رابطه ۹) بهترین مدل برای هر دسته به دست آمد. پارامترهای ارزیابی دیگر شامل ضریب همبستگی<sup>۳</sup> (r) (رابطه ۱۰) و خطای مطلق میانگین<sup>۴</sup> (E<sub>ma</sub>) (رابطه ۱۱) می‌باشد [۴۷].

$$MSE = \frac{\sum_1^n (y-\hat{y})^2}{n} \quad (۹)$$

چگالی می‌باشد که به ترتیب با اندیس‌های  $X_1$  تا  $X_6$  مشخص شد. همچنین پارامترهای خروجی نیز پنج دسته بود که شامل اسیدیت، ویتامین C، بریکس (میزان مواد جامد محلول)، مدول کشسانی و نیروی کششی بیشینه می‌باشد که به ترتیب با اندیس‌های  $Y_1$  تا  $Y_5$  مشخص شد.

## ۸.۲. مدل‌سازی رگرسیونی غیرخطی چند متغیره

روش رگرسیونی غیرخطی چند متغیره یک روش مدل‌سازی آماری است که به ما اجازه تعیین ترکیب فاکتورهای ورودی را می‌دهد. مطابق رابطه (۵) در این مدل از هفت فاکتور ورودی زمان ( $X_1$ )، نوع پوشش ( $X_2$ ) و جرم ( $X_3$ )، حجم ( $X_4$ )، ضریب کرویت ( $X_5$ ) و چگالی ( $X_6$ ) و پنج پارامترهای خروجی که شامل اسیدیت ( $Y_1$ )، ویتامین C ( $Y_2$ )، بریکس (میزان مواد جامد محلول) ( $Y_3$ )، مدول کشسانی ( $Y_4$ ) و نیروی کششی بیشینه ( $Y_5$ ) بوده تشکیل گردید.

$$Y_i = a_0 + \sum_{i=1}^6 a_i X_i + \sum_{i=1}^6 a_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^6 \sum_{j=i+1}^6 a_{ij} X_i X_j \quad (۵)$$

که  $Y_i$  پارامتر وابسته و ضرایب  $a_0$ ،  $a_i$ ،  $a_{ii}$  و  $a_{ij}$  به ترتیب ضرایب رگرسیونی برای عرض از مبدأ، درجه اول، درجه دوم و برهمکنش ضرایب ورودی هستند.  $X_i$  و  $X_j$  متغیرهای مستقل هستند. داده‌های حاصل با استفاده از نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد.

## ۹.۲. مدل‌سازی با شبکه عصبی

در مدل‌سازی با شبکه عصبی ابتدا داده‌ها به‌صورت ورودی و خروجی تعریف گردیدند. داده‌های ورودی شامل شش فاکتور بوده که شامل زمان، نوع پوشش، جرم، حجم، ضریب کرویت و چگالی می‌باشد. همچنین داده‌های خروجی نیز پنج دسته بود که شامل اسیدیت، مدول الایسیسته، ویتامین C، بریکس (میزان مواد جامد محلول)، pH، مدول کشسانی و نیروی کششی بیشینه می‌باشد.

برای مدل‌سازی آزمایش‌ها با استفاده از شبکه عصبی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. شبکه مورد استفاده شبکه

1. Multi Layer Perceptron
2. Feed Forward Back Propagation
3. Correlation Coefficient
4. Absolute Mean Error

### ۳. نتایج و بحث

$$r = \frac{\sqrt{\sum_1^n (y - \bar{y})^2 - \sum_1^n (y - \hat{y})^2}}{\sum_1^n (y - \bar{y})^2} \quad (10)$$

$$E_{ma} = \frac{1}{n} \sum_1^n |y - \hat{y}| \quad (11)$$

#### ۱.۳. اسیدیته کل قابل تیتراسیون آب‌میوه (TA)

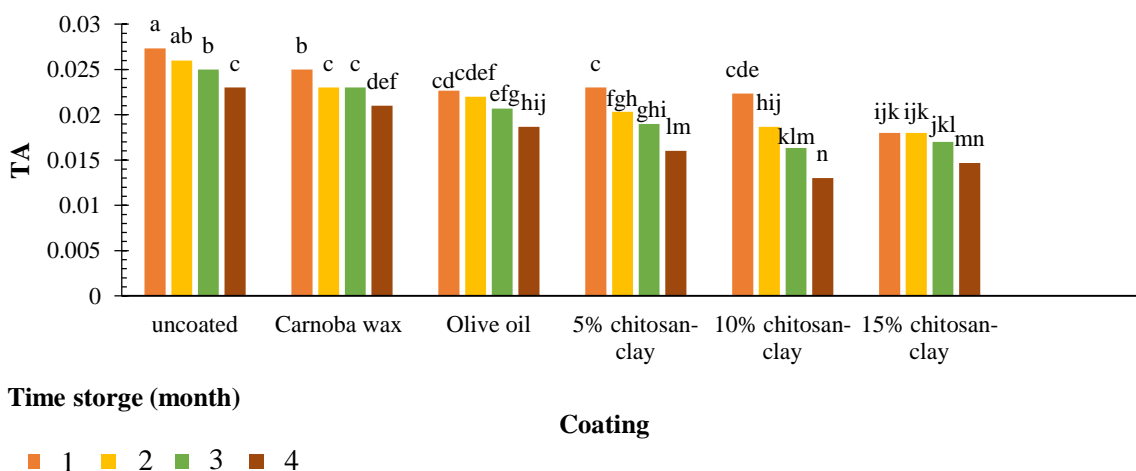
مطابق جدول (۱) تیمار پوشش اثر معنی‌داری بر اسیدیته کل قابل تیتراسیون میوه لیموشیرین و همچنین زمان انبارمانی طی ۴ ماه نداشت. اثر متقابل تیمار پوشش و زمان انبارمانی در سطح احتمال ۱٪ بر اسیدیته کل قابل تیتراسیون میوه معنی‌دار شد. طبق شکل (۲) میزان اسیدیته در زمان انبارمانی کاهش پیدا می‌کند [۴۹]. کاهش اسیدیته در هنگام رسیدن و یا در دوران پس از برداشت به‌علت شرکت اسید در تنفس یا تبدیل آن به قند است [۵۰]. با توجه به شکل (۲) میزان اسیدیته میوه لیموشیرین در نمونه‌های پوشش شده با محلول کیتوسان-رس و واکس کارنوبا نسبت به نمونه‌های روغن زیتون و شاهد عملکرد بهتری در حفظ میزان اسیدیته داشته‌اند. روند کاهش میزان اسیدیته در پوشش واکس و هر سه سطح کیتوسان-رس بهتر از روغن زیتون و شاهد می‌باشد. در پژوهشی که روی میوه گلایی انجام شد میزان اسیدیته نمونه‌هایی که با پوشش نانوکامپوزیت مبتنی بر نشاسته بودند نسبت به نمونه شاهد روند کاهش کندتری داشتند که با نتایج تحقیق حاضر هم‌پوشانی دارد [۵۱].

بهترین نتایج برای هر دسته‌ی آزمایشی برای الگوریتم‌های منتخب و دو تابع آستانه در دو ترکیب تعداد لایه و تعداد نورن در جدولی ارائه شد. همچنین در برنامه نوشته‌شده  $R^2$  داده‌های خروجی پیش‌بینی‌شده توسط شبکه نسبت به داده‌های خروجی واقعی نیز به دست می‌آید. این اطلاعات نیز برای حالات بهینه ارائه گردید.

#### ۱.۲. آنالیز حساسیت

به‌منظور بررسی تأثیر متغیرهای ورودی‌های مختلف در خروجی مدل نیاز به آنالیز حساسیت وجود دارد. با کمک این آنالیز بهینه‌سازی مدل بهبود پیدا می‌کند. روش آنالیز حساسیت با معادله گارسون صورت می‌گیرد (رابطه ۱۲). این معادله براساس ضرایب ماتریس وزن لایه پنهان و لایه خروجی بر اساس بهترین توپولوژی صورت گرفته است [۴۸].

$$I_i = \frac{\sum_{j=1}^n \left( \frac{|IW_{j,i}|}{\sum_{i=1}^m |IW_{j,i}|} \right) \times |LW_{j,i}|}{\sum_{i=1}^6 \left\{ \sum_{j=1}^n \left( \frac{|IW_{j,i}|}{\sum_{i=1}^6 |IW_{j,i}|} \right) \times |LW_{j,i}| \right\}} \quad (12)$$



شکل (۲) اثر متقابل زمان انبارمانی در پوشش روی میزان تغییرات اسیدیته قابل تیتراسیون آب لیموشیرین در شرایط سردخانه

Fig 2. Interactions of the time × coating on the TA changes during the storage



جدول (۱) نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های کیفی و مکانیکی میوه لیموشیرین در سردخانه

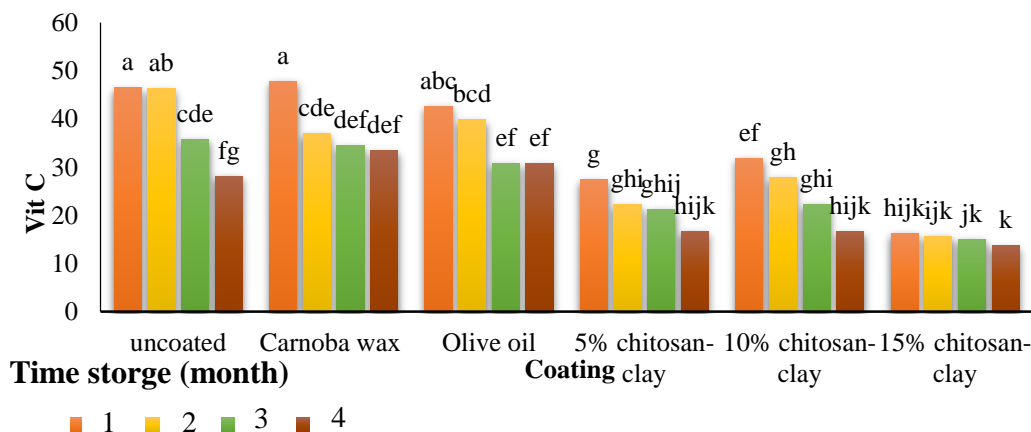
Table 1. Analysis of variance (ANOVA) effect of coating and time storage on chemical and mechanical properties of sweet lemon in 12 days

نیروی کششی (N) Maximum Tensile Force	مدول کشسانی (MPa) $E_{punch}$	مواد جامد محلول در آب (%) TSS	ویتامین سی (%) Vit C (%)	اسیدیته (%) TA	درجه آزادی DF	منابع تغییرات S.O.V
525.2 <sup>ns</sup>	0.0006 <sup>ns</sup>	1.08 <sup>ns</sup>	242.04 <sup>ns</sup>	0.00005 <sup>ns</sup>	5	پوشش coating
25.3 <sup>ns</sup>	0.126 <sup>**</sup>	12.36 <sup>**</sup>	2144.36 <sup>ns</sup>	0.0001 <sup>ns</sup>	3	زمان انبارمانی Storage time
592.7 <sup>**</sup>	0.001 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	35.79 <sup>*</sup>	0.00001 <sup>**</sup>	15	پوشش در زمان انبارمانی C×T
3.09	0.001	0.31	17.97	0.000001	48	خطا Error

آنزیم اکسیدکننده اسیدآسکوربیک به سرعت کاهش می‌یابد. پوشش‌دار کردن میوه‌ها با پوشش‌های مانند کیتوسان با کاهش اکسیژن درونی میوه منجر به افزایش فعالیت سیتوکروم اکسیداز می‌شود و این آنزیم می‌تواند سرعت تجزیه اسیدآسکوربیک را تا حد زیادی کاهش دهد. در پژوهشی دن ژو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸) اعلام کردند میزان کاهش اسیدآسکوربیک در نارنگی‌های پوشش‌دار شده نسبت به نمونه شاهد کمتر بوده است که با نتیجه پژوهش حاضر هم‌پوشانی دارد [۴۱].

### ۲.۳. اسید آسکوربیک (VC)

براساس جدول تجزیه واریانس (جدول ۱) اثر پوشش‌های مختلف و مدت‌زمان انبارمانی روی میزان اسیدآسکوربیک میوه لیموشیرین معنی‌دار نبود. اثر متقابل پوشش در زمان روی میزان اسیدآسکوربیک میوه در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار شد (شکل ۳). با توجه به شکل (۳) میزان کاهش اسیدآسکوربیک در نمونه شاهد نسبت به سایر گروه‌ها بیشتر بوده است، از میان پوشش‌های نانوکامپوزیتی پوشش کیتوسان-رس ۱۵٪ بهترین عملکرد را داشته است. طی زمان انبارمانی و رسیدن میوه میزان اسیدآسکوربیک با فعالیت



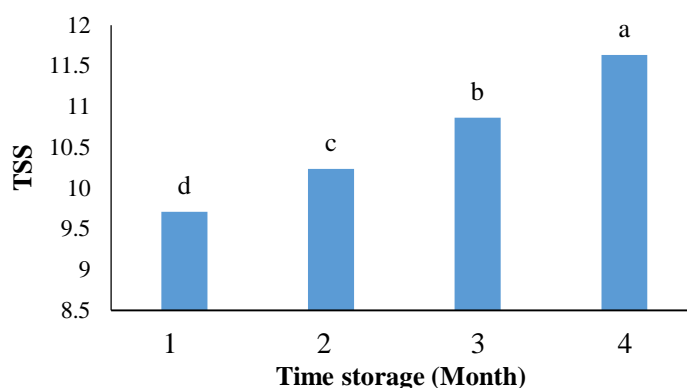
شکل (۳) اثر متقابل مدت‌زمان انبارمانی در پوشش روی میزان تغییرات ویتامین ث در شرایط سردخانه

Fig 3. Interactions of the time × coating on the vit(c) changes during the storage

جامد محلول در آب‌میوه تخریب قندها و تبدیل آن‌ها به اسید می‌باشد [۵۳]. در پژوهشی که روی توت‌فرنگی با پوشش نانوکامپوزیت انجام گرفت با گذشت زمان انبارمانی میزان کل مواد جامد محلول در آب‌میوه طی زمان انبارمانی افزایش یافت که می‌توان این افزایش را به کاهش سرعت تنفس و تبدیل قند به دی‌اکسید کربن نسبت داد که با نتیجه این پژوهش مطابقت دارد [۵۴].

### ۳.۳. کل مواد جامد محلول (TSS) در آب‌میوه

مطابق جدول (۱) بررسی اثر تیمارهای پوشش و همچنین اثر متقابل پوشش‌های مختلف بر مدت‌زمان انبارمانی روی میزان کل مواد جامد محلول آب‌میوه لیموشیرین معنی‌دار نشد. اثر زمان انبارمانی بر میزان کل مواد جامد محلول آب‌میوه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گشت (شکل ۴). افزایش میزان کل مواد جامد محلول در آب با افزایش زمان انبارمانی ارتباط مستقیمی دارد [۵۲]. دلیل افزایش کل مواد



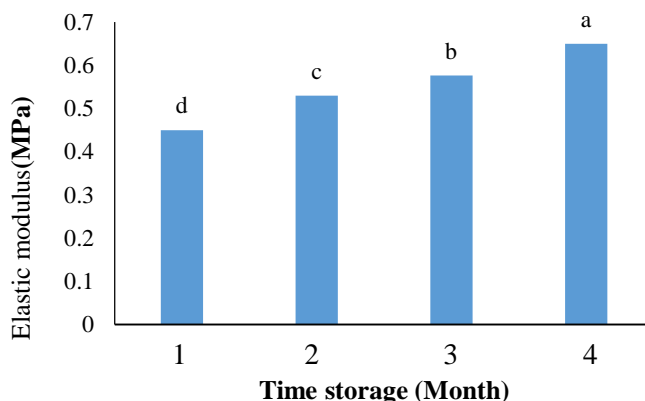
شکل (۴) تغییرات کل مواد جامد محلول در طی زمان انبارمانی

Fig 4. TSS changes during the storage

انبارمانی بر مدل کشسانی پوست در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار گشت. طبق شکل (۵) با گذشت زمان انبارمانی میزان مدل کشسانی پوست افزایش می‌یابد و دلیل این افزایش مدل کشسانی به خاطر از دست دادن رطوبت میوه و آب درون‌پوستی آن می‌باشد [۴۵-۵۵].

### ۴.۳. مدول کشسانی در آزمون پانچ پوست ( $E_p$ )

بررسی اثر تیمار پوشش در جدول تجزیه واریانس (۱) نشان داد هیچ اختلاف معنی‌داری بین پوشش‌ها روی مدل کشسانی پوست در طی شرایط انبار وجود ندارد. همچنین بررسی اثر پوشش در زمان انبارمانی طی ۴ ماه روی میوه لیموشیرین معنی‌دار نشد. مطابق جدول (۱) اثر زمان



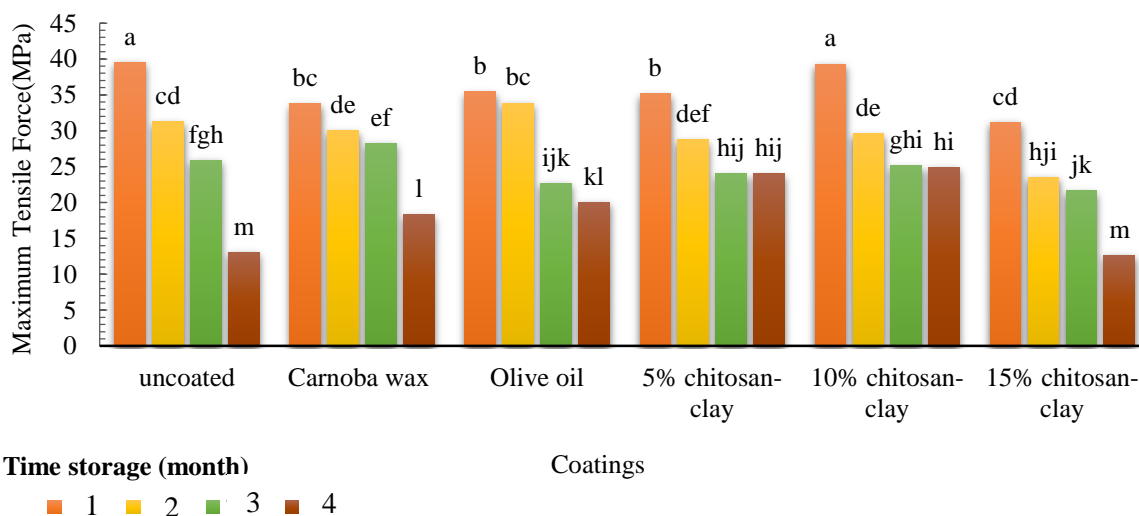
شکل (۵) تغییرات مدول کشسانی در طی زمان انبارمانی

Fig 5. Elastic modulus changes during the shelf life storage

پوست میوه در طی زمان انبارمانی می‌باشد [۵۶]. در طی زمان انبارمانی روند نزولی حداکثر نیروی کشش پوست در تیمارهای واکس کارنوبا، نانوکامپوزیت کیتوسان-رس ۵٪ و ۱۵٪ نسبت به نمونه شاهد، روغن زیتون و کیتوسان ۱۰٪ کمتر بوده است و نسبت به ماه اول انبارمانی هم کمتر دچار کاهش این نیرو شده‌اند و این به این معنا است که این پوشش‌ها در حفظ سلول‌های پوستی مؤثر بوده‌اند.

### ۵.۳. حداکثر نیروی کشش پوست ( $F_T$ )

مطابق جدول (۱) اثر تیمار پوشش و مدت‌زمان انبارمانی روی حداکثر نیروی کششی معنی‌دار نبود. اثر متقابل زمان در پوشش در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، حداکثر نیروی کشش پوست طی زمان انبارمانی روند نزولی دارد و این روند نزولی به دلیل کاهش نیروی چسبندگی بین سلول‌ها موجود در



شکل (۶) اثر متقابل زمان انبارمانی در پوشش روی میزان تغییرات نیروی کششی بیشینه پوست لیموشیرین

Fig 6. Interactions of the time  $\times$  coating on the maximum tensile stress

این پارامتر ۰/۸۹۵ بود. همچنین بهترین برازش مدل درجه-دو مربوط به پارامتر کیفی اسیدیت به دست آمد. میزان ضریب همبستگی و مجذور خطا به ترتیب ۰/۹۷۵ و ۰/۱۱/۴۰ گردید.

### ۶.۳. مدل‌سازی رگرسیونی چند متغیره

#### ۱.۶.۳. پارامترهای کیفی

با توجه به جدول (۲) بالاترین دقت برای مدل خطی مربوط به پارامتر ویتامین C می‌باشد. میزان ضریب همبستگی برای

جدول (۲) پارامترهای آماری مدل رگرسیون چند متغیره برای خواص شیمیایی

Table 2. Statistical parameters of multivariate regression model for chemical properties

مدل	اسیدیت		ویتامین سی		مواد جامد محلول در آب	
	R	RMSE	R	RMSE	TSS	RMSE
چندمتغیره خطی Multivariate linear variables	0.863	12.41%	0.895	11.09%	0.809	13.56%
چندمتغیره درجه دو Second degree multivariate	0.975	11.40%	0.941	14.14%	0.92	10.49%

براساس نتایج معناداری رگرسیونی معادلات خطی و درجه‌دو زیر به دست آمد. مربوط به خواص مکانیکی، برای ضرایب معنادار به صورت روابط

$$TA = -0.154X_1 - 0.258X_2 + 0.327X_4 + 0.537 \quad (13)$$

$$VC = 0.153X_1 - 0.271X_3 + 0.267X_4 + 0.208X_6 \quad (14)$$

$$TSS = -0.028X_1 + 0.309X_2 + 0.603 \quad (15)$$

$$TA = 1.527X_1X_3 - 1.592X_1X_4 + 1.239X_4X_6 - 1.204X_1^2 + 1.423X_6^2 \quad (16)$$

$$VC = -1.577X_1X_4 \quad (17)$$

$$SS = -7.735X_4 - 4.322X_1X_3 + 1.342X_1X_4 + 4.667X_1X_5 + 9.354X_3X_4 + 9.106X_3X_5 + 12.753X_5X_6 - 10.115 + 2.947 \quad (18)$$

### ۲.۶.۳. پارامترهای مکانیکی

۱۰/۴۴٪ به دست آمد. بهترین برازش مدل رگرسیونی درجه‌دو نیز برای پارامتر مدول پانچ بوده و میزان ضریب همبستگی در آن افزایش یافته و به مقدار ۰/۹۵۶ رسید.

براساس نتایج جدول (۳)، در مدل‌سازی خطی بهترین دقت مربوط به پارامتر مدول پانچ پوست بود. میزان ضریب همبستگی و ریشه خطا برای این پارامتر به ترتیب ۰/۹۱۵ و

جدول (۳) پارامترهای آماری مدل رگرسیون خطی چند متغیره برای خواص مکانیکی  
Table 3. Statistical parameters of multivariate linear regression model for mechanical properties

نیروی کششی بیشینه (N) Maximum Tensile force		مدول کشسانی (MPa) E <sub>punch</sub>	
R	RMSE	R	RMSE
0.523	20.98%	0.915	10.44%
0.92	6.32%	0.956	16.73%

براساس نتایج معناداری رگرسیونی معادلات خطی و درجه‌دو روابط زیر به دست آمد. مربوط به خواص مکانیکی برای ضرایب معنادار به صورت

$$E_p = 0.425X_2 + 0.453 \quad (19)$$

$$F_T = 0.222X_1 + 0.427X_2 + 0.749X_3 \quad (20)$$

$$E_p = 10.714X_3 - 1.904X_1X_6 + 1.293X_2X_4 + 2.647X_4^2 \quad (21)$$

$$F_T = -1.506X_1X_2 - 1.153X_1^2 \quad (22)$$

### ۲.۶.۳. مدل‌سازی با شبکه عصبی

ضریب تبیین برای این پارامتر ۹۵٪ تعیین شد. همچنین در بین خواص مکانیکی با ضریب تبیین برای نیروی کشش پوست ۹۰/۵ به دست آمد. در کل در مقایسه با نتایج رگرسیون خطی و غیرخطی، شبکه عصبی قدرت بهتری برای پیش‌بینی خواص لیموشیرین داشت. در کاری مشابه که روی سیب انجام گردید، نتایج مشابهی کسب گردید. در آن تحقیق تابع tansig و الگوریتم trainbr انرژی و نیروی بیشینه بهترین ضریب تعیین را داشت. R2 به ترتیب ۰/۹۲/۷

بهترین نتایج براساس جدول (۴) استخراج گردید. نتایج در این جدول براساس تمام ورودی‌ها برای هر خروجی تبیین گردید. در این جدول بهترین توپولوژی در سه حالت تعداد لایه مخفی، در دو حالت برای نوع الگوریتم یادگیری و برای ۳ نوع تابع آستانه به دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که الگوریتم یادگیری LM با تابع انتقال tansig بهترین نتیجه را داشت. بهترین برازش برای پارامتر کیفی، اسیدیته بود. میزان

و ۹۳٪ تعیین شد [۵۷].

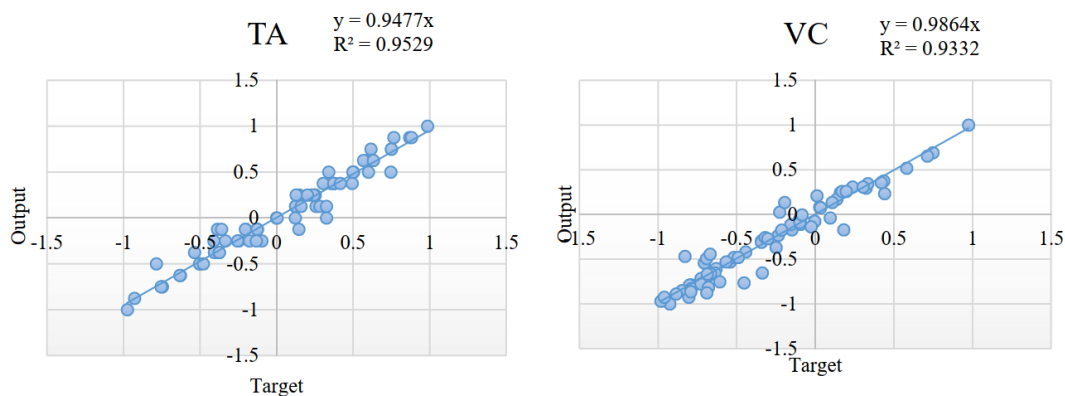
جدول (۴) پارامترهای ارزیابی برای مدل‌های بهینه در توابع آستانه، الگوریتم آموزش و تعداد لایه پنهان برای پارامترهای خروجی مدل

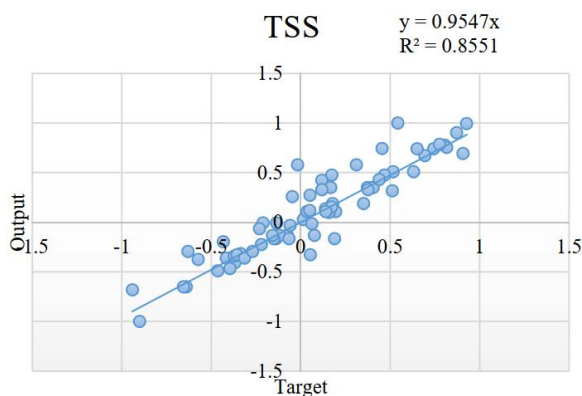
Table 4. Evaluation parameters for optimal models in threshold functions, training algorithm and number of hidden layers for model output parameters

پارامتر خروجی Output parameter	توپولوژی Topology						ضریب همبستگی مدل correlation coefficient of model			پارامترهای آماری statistical parameter		
	الگوریتم Algorithm	تابع function	Epoch	L1	L2	L3	آموزش train	تست test	مدل model	MSE	R <sup>2</sup>	mae
اسیدپته TA			24	12	12	0	0.993	0.930	0.976	0.011	0.950	0.063
ویتامین سی Vit C			22	8	14	16	0.975	0.942	0.966	0.015	0.933	0.082
مواد جامد محلول در آب Tss	trainlm	tansig	34	4	10	4	0.979	0.737	0.929	0.028	0.853	0.112
مدول پانچ E Punch			31	12	14	4	0.972	0.932	0.959	0.025	0.896	0.104
نیروی کششی بیشینه Maximum Tension Force			13	8	12	0	0.972	0.929	0.954	0.021	0.905	0.083

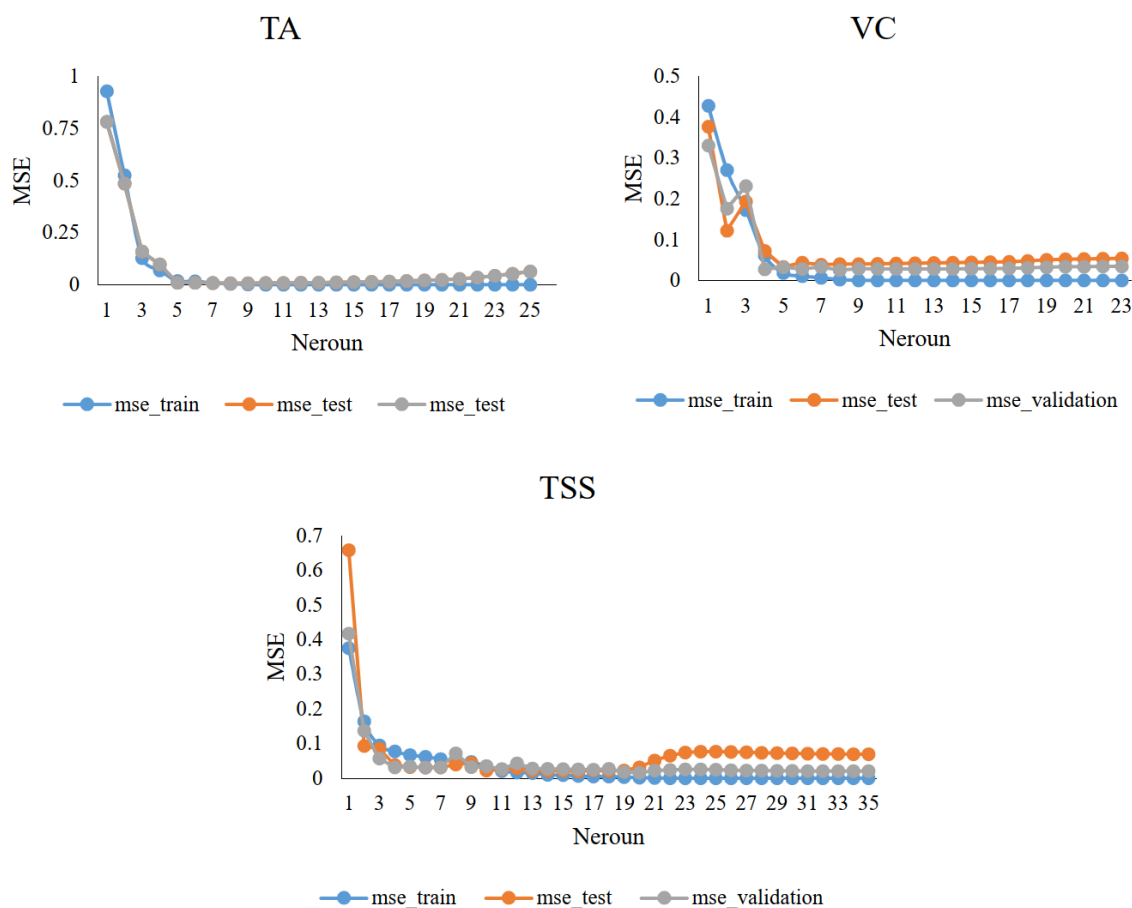
در نتایج حاکی از آن بود که در خواص کیفی بهترین  $R^2$  مقدار در pH برای مدل ۸۴/۹٪ شد. الگوریتم trainbr بهترین عملکرد را داشت. با توجه به مقدار خطا بهترین توپولوژی در تابع 8-10-6 tansig و در تابع logsig با همان توپولوژی انتخاب شد [۵۸]. در تحقیق دیگری نتایج نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی توانایی بالایی در پیش‌بینی خواص فیزیکی پسته نسبت به روش رگرسیون خطی داشته است [۵۹]. با توجه به نتایج حاصله این با استفاده از شبکه عصبی می‌توان مدل مناسبی را استخراج و برای کنترل شرایط هوشمند انبارداری به کار گرفت.

در شکل (۷) رگرسیون داده‌های تجربی نسبت به داده‌های مدل مورد بررسی قرار گرفت. در این شکل بهترین مدل برای پارامتر خروجی اسیدپته مشاهده گردید. میزان ضریب تبیین برای ای پارامتر ۹۵/۲۹٪ بود. همچنین ضریب خطا نیز با میزان ۰/۹۴۷ بسیار به یک نزدیک می‌باشد. این مسئله قدرت مدل را تقویت می‌کند. خواص کیفی دیگر مانند ویتامین سی و بریکس نیز با ضریب تبیین ۹۳/۳۲ و ۸۵/۵۱ دارای دقت بالایی بودند. در شکل (۸) وضعیت روند کاهش خطا قابل مشاهده می‌باشد. در تحقیقی مشابه برای پوشش دهی سیب با کیتوسان خواص کیفی مورد بررسی قرار گرفت



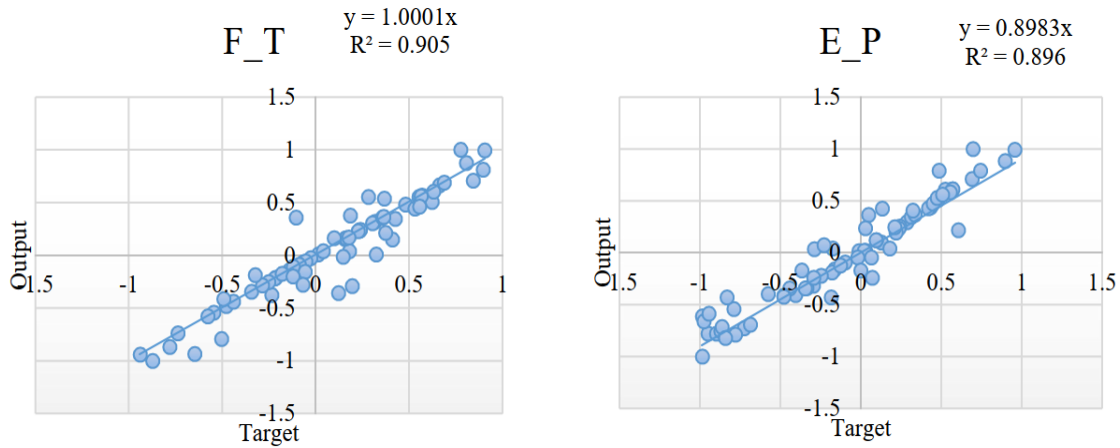


شکل (۷) رگرسیون یک‌به‌یک برای داده‌های پیش‌بینی نسبت به داده‌های تجربی برای خواص کیفی  
 Fig 7. One-way regression for predictive data compared to experimental data for quality properties



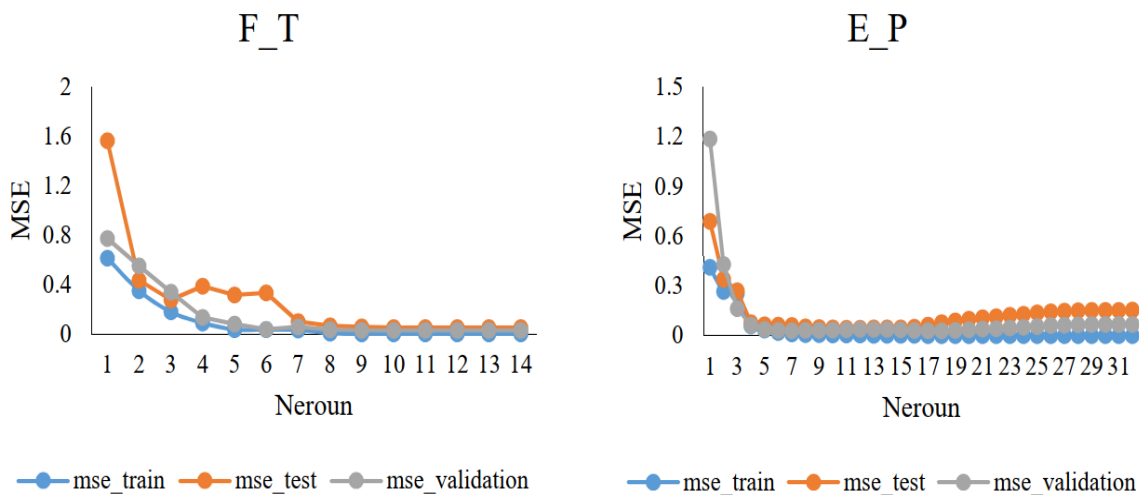
شکل (۸) روند میانگین مربعات خطا برای سه مرحله آموزش، آزمون و ارزیابی برای خواص کیفی  
 Fig 8. The trend of mean squared error for the three stages of training, testing and evaluation for quality properties

برای نیروی کششی بیشینه پوست و مدول پانچ نیز ضریب شکل (۱۰) روند کاهش برای خطای مدل در سه حالت تبیین به ترتیب ۹۰/۵۰ و ۸۹/۶ به دست آمد (شکل ۹). در آموزش، آزمون و ارزیابی کاملاً محسوس می‌باشد.



شکل (۱۰) رگرسیون یک‌به‌یک برای داده‌های پیش‌بینی نسبت به داده‌های تجربی برای خواص مکانیکی

Fig 10. One-way regression for predictive data compared to experimental data for mechanical properties



شکل (۱۱) روند میانگین مربعات خطا برای سه مرحله آموزش، آزمون و ارزیابی برای خواص مکانیکی

Fig 11. The trend of mean squared error for the three stages of training, testing and evaluation for mechanical properties

نمایش درآمده است.

نتایج نشان داد میزان حساسیت تغییرات اسیدیته در ویژگی جرم نسبت به سایر ویژگی‌ها بیشتر است. درحالی‌که میزان حساسیت تغییرات بریکس در ویژگی چگالی و میزان حساسیت ویتامین سی در ویژگی حجم نسبت به بقیه پارامترها بیشتر بود. در مورد خواص مکانیکی نیز میزان حساسیت پارامترهای مدول پانچ و نیروی کشش در ویژگی‌های زمان و ضریب کرویت نسبت به سایر بیشتر بود.

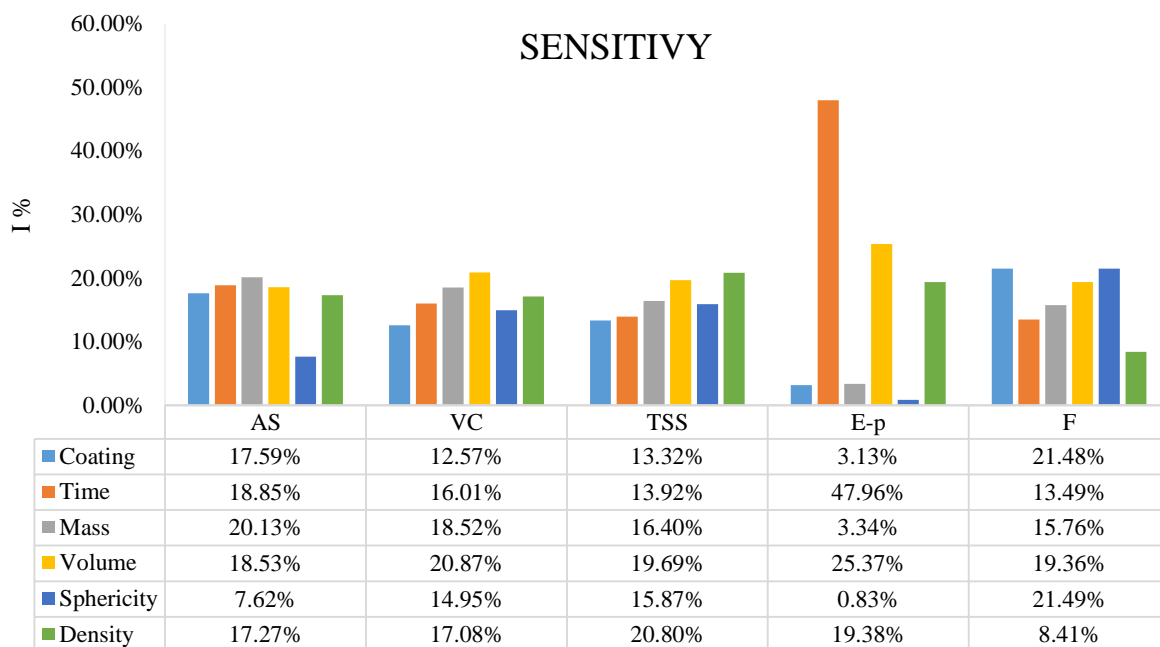
#### ۴.۶.۳. آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت هم یکی از روش‌های تعیین میزان تأثیرگذاری پارامترهای ورودی روی پارامتر خروجی می‌باشد. در ابتدا برای بهترین توپولوژی وزن‌ها برای هر پارامتر ورودی تعیین گردید. سپس براساس معادله گاوس میزان حساسیت هر پارامتر ورودی تعیین گردید. براساس جدول (۵) برای هر پارامتر خروجی براساس یک لایه پنهان تعداد نرون‌ها آورده شده است. درنهایت میزان حساسیت (I) در شکل (۱۱) به

جدول (۵) بهترین توپولوژی برای پارامترهای خروجی به منظور آنالیز حساسیت

Table 5. The best topology for output parameters for sensitivity analysis

متغیر خروجی The output variable	الگوریتم algorithm	تابع Function	تعداد نرون لایه پنهان the number of hidden layer neurons
اسیدیته TA	'trainbr'	'tansig'	4
ویتامین سی Vit C	'trainlm'	'tansig'	12
مواد جامد محلول در آب Tss	'trainlm'	'tansig'	8
مدول پانچ E Punch	'trainbr'	'purelin'	12
نیروی کششی بیشینه Maximum Tension Force	'trainlm'	'tansig'	4



شکل (۱۱) آنالیز حساسیت پارامترهای خروجی بر اساس پارامترهای ورودی  
Fig 11. Sensitivity analysis of output parameters based on input parameters

#### ۴. نتیجه‌گیری

سطح کیتوسان-رس بهتر از روغن زیتون و شاهد به دست آمد. از میان پوشش‌های نانوکامپوزیتی پوشش کیتوسان-رس ۱۵٪ بهترین عملکرد را داشته است. اثر تیمارهای پوشش و همچنین اثر متقابل پوشش‌های مختلف بر مدت‌زمان انبارمانی روی مواد جامد محلول کل آب‌میوه لیموشیرین معنی‌دار نشد. در طی زمان انبارمانی روند نزولی حداکثر

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که میزان اسیدیته میوه لیموشیرین در نمونه‌های پوشش شده با محلول کیتوسان-رس و واکس کارنوبا نسبت به نمونه‌های روغن زیتون و شاهد عملکرد بهتری در حفظ میزان اسیدیته داشته‌اند. همچنین روند کاهش میزان اسیدیته در پوشش واکس در هر سه



قدرت بهتری برای پیش‌بینی خواص لیموشیرین داشت. نتایج آزمون حساسیت نشان داد میزان حساسیت تغییرات اسیدیته در ویژگی جرم نسبت به سایر ویژگی‌ها بیشتر است. در حالی که میزان حساسیت تغییرات بریکس در ویژگی چگالی و میزان حساسیت ویتامین سی در ویژگی حجم نسبت به بقیه پارامترها بیشتر بود. در مورد خواص مکانیکی نیز میزان حساسیت پارامترهای مدول پانچ و نیروی کشش در ویژگی‌های زمان و ضریب کرویت نسبت به سایر بیشتر بود.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از معاونت پژوهشی فناوی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل مساعدت‌های مالی در اجرای این تحقیق که بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیک بیوسیستم می‌باشد، کمال تشکر و قدردانی می‌شود.

نیروی کشش پوست در تیمارهای واکس کارنوبا، نانوکامپوزیت کیتوسان-رس ۵٪ و ۱۵٪ نسبت به نمونه شاهد، روغن زیتون و کیتوسان ۱۰٪ کمتر بوده است و نسبت به ماه اول انبارمانی هم کمتر دچار کاهش این نیرو شده‌اند و این به این معنا است که این پوشش‌ها در حفظ سلول‌های پوستی مؤثر بوده‌اند. در مدل‌سازی خطی ویژگی‌ها کیفی، بالاترین دقت برای مدل خطی مربوط به پارامتر ویتامین C به دست آمد. میزان ضریب همبستگی برای این پارامتر ۰/۸۹۵ بود. همچنین بهترین برازش مدل درجه‌دو مربوط به پارامتر کیفی اسیدیته بود. میزان ضریب همبستگی و مجذور خطا برای این پارامتر به ترتیب ۰/۹۷۵ و ۱۱/۴۰ درصد حاصل گردید. در مدل‌سازی خطی ویژگی‌ها مکانیکی، بهترین دقت مربوط به پارامتر مدول پانچ پوست بود. میزان ضریب همبستگی و ریشه خطا برای این پارامتر به ترتیب ۰/۹۱۵ و ۱۰/۴۴٪ به دست آمد. بهترین برازش مدل رگرسیونی درجه‌دو نیز برای پارامتر مدول پانچ بود. در کل در مقایسه با نتایج رگرسیون خطی و غیرخطی، شبکه عصبی

### منابع

- [1] Fotouhi Ghazvini, R. and Fattahi Moghaddam, J. (2007). *Citrus Growing in Iran. (2nd ed.)*. Iran: University of Guilan Publisher. [In Persian].
- [2] Aboutalebi, A. and Tafazoli, E. (2009). Study on the effect of rootstock and salinity on concentration of micro elements in sweet lime (*Citrus limetta* L.) leaves. *J. Hortic. Sci.*, 23(2), 85-93. [In Persian].
- [3] FAO (2012). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [4] Obenland, D., Collin, S., Sievert, J., Fjeld, K., Doctor, J., & Arpaia, M. L. (2008). Commercial packing and storage of navel oranges alters aroma volatiles and reduces flavor quality. *Postharvest Biol. Technol.*, 47(2), 159-167.
- [5] Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., & Aharoni, N. (2004). Reduction of postharvest rind disorders in citrus fruit by modified atmosphere packaging. *Postharvest Biol. Technol.*, 33(1), 35-43.
- [6] Ghasemnezhad, M., Babalar M. and Mostoufi Y. (2008). Effects Of Heat Treatments On Reducing Acidity For Improving Quality In 'Satsuma' Mandarin Fruit And Its Relation With Aconitase, Vacuolar At Pase And Ppase Activity. *Int. J. Hortic. Sci. Technol.*, 9(1), 45-58. [In Persian].
- [7] Puttongsiri, T., & Haruenkit, R. (2010). Changes in ascorbic acid, total polyphenol, phenolic acids and antioxidant activity in juice extracted from coated kiew wan tangerine during storage at 4, 12 and 20°C. *Agric. Nat. Resour.*, 44(2), 280-289.
- [8] Scalzo, R. L., Iannocari, T., Summa, C., Morelli, R., & Rapisarda, P. (2004). Effect of thermal treatments on antioxidant and antiradical activity of blood orange juice. *Food Chem.*, 85(1), 41-47.
- [9] Petrcek, P.D., Dou, H.T., Pao, S., (1998). The influence of applied waxes on postharvest physiological behavior and pitting of grapefruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 14, 99-106.
- [10] Baldwin, E.A., Nisperos, M.C., Shaw, P.E., Burns, J.K., (1995). Effect of coatings and prolonged storage-conditions on fresh orange flavor volatiles, degrees brix, and ascorbic-acid levels. *J. Agric. Food Chem.*, 43, 1321-1331.
- [11] Hagenmaier, R.D., (2000). Evaluation of a polyethylene-candelilla coating for 'Valencia' oranges. *Postharvest Biol. Technol.*, 19, 147-154.
- [12] Hagenmaier, R., Shaw, P., (1992). Gas-permeability of fruit coating waxes. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 117, 105-109.

- [13] Porat, R., Weiss, B., Cohen, L., Daus, A., Biton, A., (2005). Effects of polyethylene content and composition on taste quality, and emission of off-flavor volatiles in 'Mor' mandarins. *Postharvest Biol. Technol.*, 38, 262–268.
- [14] Debeaufort, F., Quezada-Gallo, J.A., Voilley, A., (1998). Edible films and coatings: tomorrow's packagings: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38, 299–313.
- [15] Embuscado, M.E., Huber, K.C., (2009). *Edible Films and Coatings for Food Applications*. Springer, New York.
- [16] Valencia-Chamorro, S., Perez-Gago, M., Del Rio, M., Palou, L., (2010). Effect of antifungal hydroxypropyl methylcellulose-lipid edible composite coatings on *Penicillium* decay development and postharvest quality of cold-stored 'Ortanique' mandarins. *J. Food Sci.*, 75, 418–426.
- [17] Dhall, R., (2013). Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 53, 435–450.
- [18] Tripathi, S., Mehrotra, G. K., & Dutta, P. K. (2008). Chitosan based antimicrobial films for food packaging applications. *e-Polym.*, 8(1).
- [19] Pirsa, S., aghbolagh sharifi, K. (2020). A review of the applications of bioproteins in the preparation of biodegradable films and polymers. *J. Chem. Lett.*, 1(2), 47-58.
- [20] Sharifi, K. A., & Pirsa, S. (2021). Biodegradable film of black mulberry pulp pectin/chlorophyll of black mulberry leaf encapsulated with carboxymethylcellulose/silica nanoparticles: Investigation of physicochemical and antimicrobial properties. *Mater. Chem. Phys.*, 267, 124580.
- [21] Sani, I. K., Geshlaghi, S. P., Pirsa, S., & Asdagh, A. (2021). Composite film based on potato starch/apple peel pectin/ZrO<sub>2</sub> nanoparticles/microencapsulated *Zataria multiflora* essential oil; investigation of physicochemical properties and use in quail meat packaging. *Food Hydrocoll.*, 117, 106719.
- [22] Al-Juhaimi, F., Ghafoor, K., & Babiker, E. E. (2012). Effect of gum arabic edible coating on weight loss, firmness and sensory characteristics of cucumber (*Cucumis sativus* L.) fruit during storage. *Pak. J. Bot.*, 44(4), 1439-1444.
- [23] Asdagh, A., Karimi Sani, I., Pirsa, S., Amiri, S., Shariatifar, N., Eghbaljoo-Gharehgheshlaghi, H., Shabahang, Z. and Taniyan, A., (2021). Production and Characterization of Nanocomposite Film Based on Whey Protein Isolated/Copper Oxide Nanoparticles Containing Coconut Essential Oil and Paprika Extract. *J Polym Environ.*, 29, 335–349.
- [24] Chen, S., & Nussinovitch, A. (2001). Permeability and roughness determinations of wax-hydrocolloid coatings, and their limitations in determining citrus fruit overall quality. *Food Hydrocoll.*, 15(2), 127-137.
- [25] Chien, P. J., Sheu, F., & Lin, H. R. (2007). Coating citrus (Murcott tangor) fruit with low molecular weight chitosan increases postharvest quality and shelf life. *Food Chem.*, 100(3), 1160-1164.
- [26] Dorria, M. A., Safinaz, M. E., & El-Mallah, M. H. (2007). Jojoba oil as a novel coating for exported Valencia orange fruit. *Am-Euras. J. Agric. Environ. Sci.*, 2(2), 173-181.
- [27] Moradi Ganjeh, F., Meamar Dastjerdi, R., Heidari, M., & Movahednejad, M. H. (2020). The effect of chitosan-clay Nano composite, wax coatings and olive oil on some quality properties of sweet lemon during shelf life storage. *J. Agri. Eng. Soil Sci. & Agri. Mechanization.*, 43(3), 331-348. [In Persian].
- [28] Ju, Z., & Curry, E. A. (2000). Stripped corn oil emulsion alters ripening, reduces superficial scald, and reduces core flush in 'Granny Smith' apples and decay in 'd'Anjou' pears. *Postharvest Biol. Technol.*, 20(2), 185-193.
- [29] Ganji, m. E., & nikkhah, s. (2005). Investigation on the effects of plant oils on the shelf life extending, qualitative and quantitative properties of golden delicious apples. *J. Agric. Eng. Res.*, 6(23), 98-98.
- [30] Asghari Marjanlou, A. A. F., et al. (2009). Effect of cumin essential oil on postharvest decay and some quality factors of strawberry. *J. Med. Plant.*, 8(31), 25-43.
- [31] Olivas, G. I., & Barbosa-Cánovas, G. (2009). Edible films and coatings for fruits and vegetables. *In Edible films and coatings for food applications* (pp. 211-244). Springer: New York, NY.
- [32] Pereda, M., Amica, G., & Marcovich, N. E. (2012). Development and characterization of edible chitosan/olive oil emulsion films. *Carbohydr. Polym.*, 87(2), 1318-1325.
- [33] Yu, L. (2009). *Biodegradable polymer blends and composites from renewable resources*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- [34] Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2002). Thermophysical properties of chitosan, chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. *Carbohydr. Polym.*, 48(2), 179-190.
- [35] Zhang, Y., Zhang, M., & Yang, H. (2015). Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food Chem.*, 174, 558-563.
- [36] Pirsa, S., & Mohammadi, B. (2021). Conducting/biodegradable chitosan-polyaniline film; Antioxidant, color, solubility and water vapor

- permeability properties. *Main Group Chem.*, 20(2), 133-147.
- [37] Arnon, H., Granit, R., Porat, R., & Poverenov, E. (2015). Development of polysaccharides-based edible coatings for citrus fruits: A layer-by-layer approach. *Food Chem.*, 166, 465-472.
- [38] Qu, B., & Luo, Y. (2021). A review on the preparation and characterization of chitosan-clay nanocomposite films and coatings for food packaging applications. *Carbohydr. Polym. Technol. Appl.*, 2, 100102.
- [39] Asdagh, A., & Pirsá, S. (2020). Bacterial and oxidative control of local butter with smart/active film based on pectin/nanoclay/Carum copticum essential oils/ $\beta$ -carotene. *Int. J. Biol. Macromol.*, 165, 156-168.
- [40] Arnon, H., Zaitsev, Y., Porat, R., & Poverenov, E. (2014). Effects of carboxymethyl cellulose and chitosan bilayer edible coating on postharvest quality of citrus fruit. *Postharvest Biol. Technol.*, 87, 21-26.
- [41] Xu, D., Qin, H., & Ren, D. (2018). Prolonged preservation of tangerine fruits using chitosan/montmorillonite composite coating. *Postharvest Biol. Technol.*, 143, 50-57.
- [42] Wantat, A., Seraypheap, K., & Rojsitthisak, P. (2022). Effect of chitosan coatings supplemented with chitosan-montmorillonite nanocomposites on postharvest quality of 'Hom Thong' banana fruit. *Food Chem.*, 374, 131731.
- [43] ISO Standard. (2005). Non-destructive testing - X-ray diffraction from polycrystalline and amorphous materials .BS EN ISO: 13925.
- [44] Türkmen, İ., & Ekşi, A. (2011). Brix degree and sorbitol/xylitol level of authentic pomegranate (*Punica granatum*) juice. *Food Chem.*, 127(3), 1404-1407.
- [45] Fidelibus, M. W., Teixeira, A. A., & Davies, F. S. (2002). Mechanical properties of orange peel and fruit treated pre-harvest with gibberellic acid. *Trans ASABE.*, 45(4), 1057.
- [46] ASTM D3039. (2000). Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- [47] Beale, M. H., Hagan, M. T., & Demuth, H. B. (2010). Neural network toolbox user's guide. *Users guide MathWorks* (pp. 78-81). Natick: MA, USA
- [48] Garson, D. G. (1991). Interpreting neural network connection weights. *AI Expert.*, 6, 47-51.
- [49] Ranjbar, H., Zou, A. N. R., Ghasemnezhad, M., & Sarkhoush, A. (2007). Effect of methyl jasmonate on inducing chilling tolerance in pomegranate fruits (Malas Save). *Pajouhesh-va- Sazandegi.*, 20(2), 43-49. [In Persian].
- [50] Takahashi, T., & Kakehi, J. I. (2010). Polyamines: ubiquitous polycations with unique roles in growth and stress responses. *Ann. Bot.*, 105(1), 1-6.
- [51] Dai, L., Zhang, J., & Cheng, F. (2020). Cross-linked starch-based edible coating reinforced by starch nanocrystals and its preservation effect on graded Huangguan pears. *Food Chem.*, 311, 125891.
- [52] Antunes, M. D. C., Correia, M. P., Miguel, M. G., Martins, M. A., & Neves, M. A. (2003). The effect of calcium chloride postharvest application on fruit storage ability and quality of 'Beliana' and 'Lindo' apricot (*Prunus armeniaca* L.) cultivars. *Acta Hort.*, 604, 721-726
- [53] Yousuf, B., & Srivastava, A. K. (2017). A novel approach for quality maintenance and shelf life extension of fresh-cut Kajari melon: Effect of treatments with honey and soy protein isolate. *LWT-Food Sci. Technol.*, 79, 568-578.
- [54] Eshghi, S., Hashemi, M., Mohammadi, A., Badii, F., Mohammadhoseini, Z., & Ahmadi, K. (2014). Effect of nanochitosan-based coating with and without copper loaded on physicochemical and bioactive components of fresh strawberry fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne) during storage. *Food Bioproc Tech.*, 7(8), 2397-2409.
- [55] Harker, F., Redgwell, R., Hallett, I., Murray, S., & Carter, G. (1997). Texture of fruit flesh. *Hortic Rev.*, 20, 121-224.
- [56] Harker, F. R., & Hallett, I. C. (1994). Physiological and mechanical properties of kiwifruit tissue associated with texture change during cool storage. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 119(5), 987-993.
- [57] Movahednejad, M. H., Khoshtaghaza, M. H., Minaee, S., & Zohouriyán Mehr, M. J. (2016). Simulation of mechanical properties of Golden Delicious apples with artificial neural network. *Paper presented at the The 2<sup>st</sup> Natl. Conf. Agri. Mechanization & New Technol.*, Mashhad, Iran. [In Persian].
- [58] Movahednejad, M. H., Khoshtaghaza, M. H., Minaee, S., & Zohouriyán Mehr, M. J. (2018). Simulation of peeling elastic properties of apples with artificial neural network. *Paper presented at the 1<sup>st</sup> Natl. Conf. Process. Tech. Agri. Products.*, Kerman, Iran. [In Persian].
- [59] Mokhtarian, M., Tavakolipour, H., & Koushki, F. (2011). Anticipation of Pistachio Physical Properties Using Artificial Neural Network during Processing. *J. Food Sci. Technol.*, 3(9), 25-38. [In Persian].