

طبقه‌بندی سیب بر اساس عمر انبارمائی با ترکیب داده‌ها توسط شبکه عصبی مصنوعی

زاهد فتحی زاده^۱، محمد ابونجمی^{۲*}، سیدرضا حسن بیگی^۳

۱. دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران (zahed.fathizadeh@ut.ac.ir)

۲. دانشیار گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران (abonajmi@ut.ac.ir)

۳. استاد گروه فنی کشاورزی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران (rhbeigi@ut.ac.ir)

چکیده

سیب‌های رقم گالا به مدت ۹ هفته در دو گروه با دو شرایط دمایی ۳ و ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. هر هفته تعدادی از هر گروه مورد آزمایش سفتی سنجی هم‌زمان صوتی و ارتعاشی قرار گرفتند. آزمون سفتی سنجی از نوع پاسخ ضربه بود که نمونه‌ها در آن مورد اصابت یک ضربه بسیار ملایم قرار گرفتند. فرکانس‌های غالب سیگنال‌های صدا و ارتعاش ناشی از ضربه با استفاده از تبدیل فوریه سریع بدست آمد و توسط شبکه عصبی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. طبقه‌بندی بر اساس بازه‌های زمانی ۱، ۲ و ۳ هفته‌ای صورت گرفت. ورودی شبکه عصبی در ۳ حالت شامل فقط فرکانس غالب صوتی، فقط فرکانس غالب ارتعاشی و هر دو، مورد مطالعه قرار گرفت. میانگین دقت طبقه‌بندی با ورودی فرکانس صوتی و فرکانس ارتعاشی به ترتیب ۶۹٪ و ۶۳٪ برای گروه اول (دمای ۳ درجه) و ۷۷٪ و ۷۸٪ برای گروه دوم بود که با افزایش ورودی یعنی حالت سوم این مقادیر به ۷۹٪ و ۸۵٪ برای گروه اول و دوم افزایش یافت.

کلمات کلیدی: آزمون غیرمخرب، شبکه عصبی مصنوعی، عمر انبارمائی سیب، ترکیب داده‌ها

* نویسنده مسئول: abonajmi@ut.ac.ir

طبقه‌بندی سیب بر اساس عمر انبارمانی با ترکیب داده‌ها توسط شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

سنجش میزان سفتی به‌عنوان معیاری برای ارزیابی بافت میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در کنار سایر شاخص‌های کیفی مانند میزان قند، میزان نشاسته، محتوای جامد محلول و اسیدیته، سنجش سفتی میوه‌ها یک روش ارزان و سریع برای کیفیت‌سنجی بافت آن‌ها است. سفتی بافت محصولات کشاورزی باعث بهبود بازارپسندی آن‌ها می‌شود. همچنین از میزان سفتی میوه در کنار روش‌های دیگر مانند اندازه‌گیری مقاوت الکتریکی، می‌توان به‌عنوان شاخصی برای میزان عمر انبارمانی استفاده کرد [1]. از آزمون سفتی برای تعیین میزان رسیدگی میوه‌ها نیز می‌توان استفاده کرد، هر چند تعیین رسیدگی میوه‌ها به روش‌های دیگری نیز امکان‌پذیر است [2]. آزمون سفتی به روش‌هایی مانند استفاده از دستگاه نفوذسنج، آزمون پانچ و سفتی سنجی صوتی انجام می‌شود. در روش‌های نفوذسنجی میزان نیروی لازم برای نفوذسنج دستگاه در عمق مشخص تعیین می‌شود و در روش آزمون پانچ نمودار جابجایی-نیرو برای نفوذسنج دستگاه در میوه رسم و نیروی بیشینه به‌عنوان شاخص سفتی نمونه مورد آزمایش تعیین می‌شود. این دو روش مخرب هستند و نمونه پس از آزمایش غیرقابل استفاده می‌شود. در روش‌های غیرمخرب، نمونه‌ها بدون تخریب سنجش می‌شوند و می‌توان از آن‌ها در خطوط درجه‌بندی برخط محصولات کشاورزی استفاده کرد. روش صوتی- ارتعاشی در کنار سایر روش‌های غیرمخرب مانند روش‌های نوری [3]. یکی از روش‌های پرکاربرد و کم‌هزینه است. در سه دهه اخیر روش‌های مبتنی بر پاسخ صوتی و ارتعاشی در مقالات زیادی معرفی و توصیف شده‌اند. کوک (۱۹۷۲) رفتار تشدید میوه‌ها را تشریح کرد و رابطه‌ای برای شاخص سفتی میوه‌های شبه کروی معرفی کرد [4]. آرمسترانگ و همکاران (۱۹۹۰) از روش ارتعاش صوتی برای تخمین سفتی میوه سیب استفاده کردند [5]. در دهه ۱۹۹۰ مقالات متعددی در رابطه با تعیین خواص محصولات کشاورزی مانند سیب، گوجه‌فرنگی، شلیل، کیوی، آلو زردآلو با روش‌های صوتی منتشر شد [6]-[12]. تحقیقات در زمینه استفاده از روش‌های صوتی و ارتعاشی برای تعیین و اندازه‌گیری خواص محصولات کشاورزی پس از آن هم ادامه داشت و تحقیقات بر روی محصولاتی مانند خربزه [14]، [13] و هندوانه [15]، گلابی، هلو، انار [16]، انبه، آووکادو تخم‌مرغ انجام شد. فتحی زاده و ابونجمی (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای سفتی سیب را با استفاده از روش پاسخ صوتی اندازه‌گیری کردند [17]. در اغلب روش‌های پاسخ صوتی و ارتعاشی ابتدا نمونه به‌صورتی تحریک می‌شود تا سیگنالی تولید کند، سیگنال تولید شده توسط حسگر مناسب دریافت و پس از تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال، پردازش لازم بر روی آن صورت می‌گیرد. هدف از این پژوهش علاوه بر تخمین سفتی سیب با استفاده از سیگنال‌های صوتی و ارتعاشی، طبقه‌بندی سیب بر اساس عمر انبارمانی و ترکیب داده‌های دو حسگر و ترکیب نتایج آن‌ها با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است. ترکیب داده‌ها باعث بهبود دقت طبقه‌بندی می‌شود.

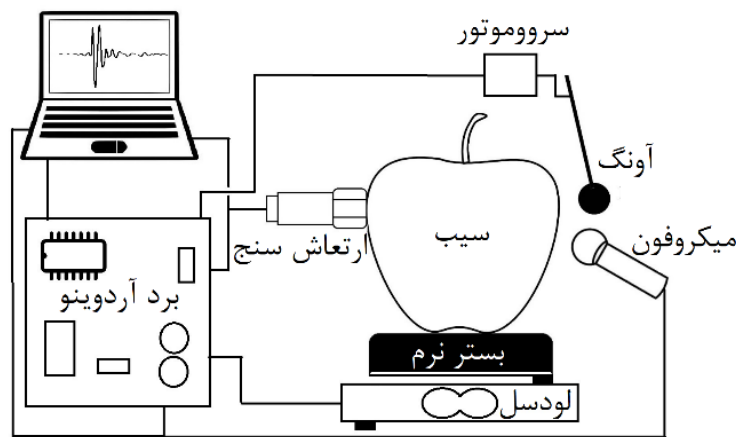
مواد و روش‌ها

نمونه‌های مورد آزمایش

برای انجام آزمایش تعدادی سیب رقم گالا با شکل و اندازه تقریباً یکنواخت که تازه چیده شده بودند به دو گروه تقسیم شدند که گروه اول در دمای ۳ درجه سلسیوس و گروه دوم در دمای ۲۰ درجه سلسیوس نگهداری شدند. نمونه‌ها به مدت ۹ هفته نگهداری شدند. سیب‌های نگهداری شده در دمای ۲۰ درجه پس از ۶ هفته غیرقابل استفاده شدند. هر هفته تعداد ۱۰ عدد سیب از هر گروه به طور تصادفی انتخاب و مورد آزمایش قرار گرفتند.

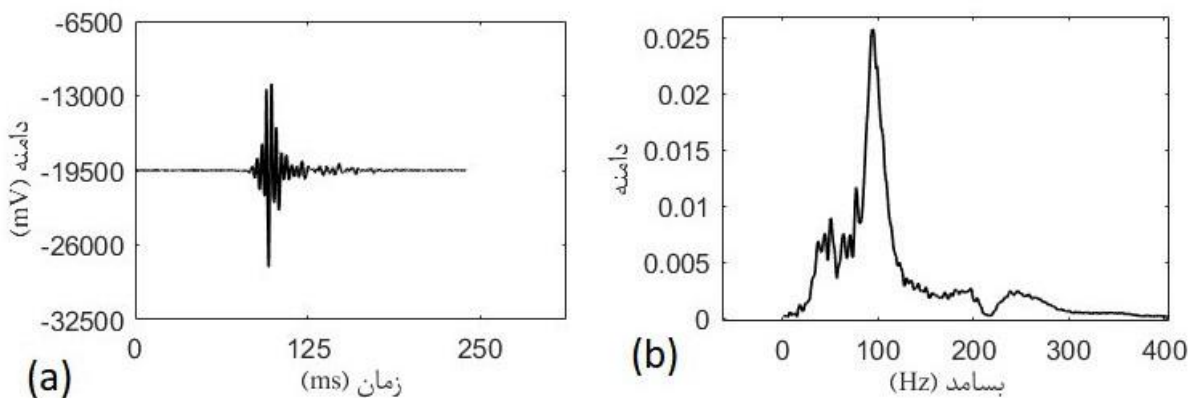
دستگاه سفتی سنج

بخش‌های مختلف دستگاه سفتی سنج مطابق شکل ۱ با هم در ارتباط هستند. همان‌طور که در شکل می‌بینیم در دستگاه سفتی سنج ساخته شده، از سه حسگر استفاده شده که میکروفون و شتاب سنج برای دریافت سیگنال‌های ناشی از ضربه آونگ و حسگر سوم یعنی لودسل برای اندازه‌گیری جرم نمونه بکار می‌رود. فرمان اجرای آزمایش توسط رایانه صادر شده و ضربه‌ای به میوه زده می‌شود، سیگنال‌های صوتی و ارتعاشی از نوع آنالوگ توسط کارت صوتی رایانه دریافت شده و پس از تبدیل به سیگنال دیجیتال، در نرم‌افزار Matlab مورد پردازش قرار می‌گیرند. جرم نمونه هم توسط لودسل اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۱- طرح‌واره دستگاه سفتی سنج صوتی-ارتعاشی

سیگنال‌های دریافت شده در Matlab به صورت بلادرنگ با تبدیل فوریه سریع به حوزه بسامد برده می‌شوند تا بسامدهای غالب آن‌ها بدست آید. در نهایت مطابق شکل ۲ سیگنال‌های حوزه زمان و بسامد برای هر دو حسگر رسم شده و کل داده‌ها ذخیره می‌شوند. کل عملیات ذکر شده در این بخش فقط با اجرای کد Matlab و با زمان‌بندی تعیین شده به ترتیب انجام می‌شود.

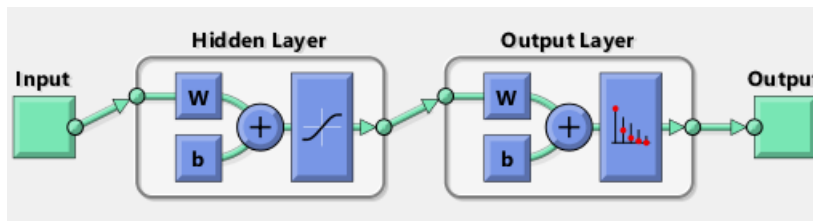


شکل ۲- نمونه‌ای از سیگنال دریافتی که توسط Matlab رسم شده است. a. سیگنال حوزه زمان b. سیگنال حوزه بسامد

شبکه عصبی مصنوعی

در این پژوهش از نرم‌افزار Matlab برای به کارگیری شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه عصبی مصنوعی از نوع تشخیص الگو با ۲۰ لایه ورودی استفاده شد و تعداد لایه‌های خروجی برابر تعداد طبقه‌های موردنظر بود. برای هر طبقه‌بندی ۵۰ بار شبکه عصبی مصنوعی

اجرا شد و بالاترین نتیجه از میان آن‌ها انتخاب شد. طبقه‌بندی بر اساس بازه‌های زمانی ۱، ۲ و ۳ هفته‌ای و برای هر دو گروه و در سه حالت اجرا شد. در حالت اول و دوم فرکانس‌های غالب سیگنال‌های صوتی و ارتعاشی هر کدام به تنهایی و در حالت سوم همه داده‌های دو حالت اول به صورت یکجا به شبکه عصبی مصنوعی وارد شد. توپولوژی شبکه عصبی مورد استفاده مطابق شکل ۳ است.



شکل ۳- توپولوژی شبکه عصبی مورد استفاده

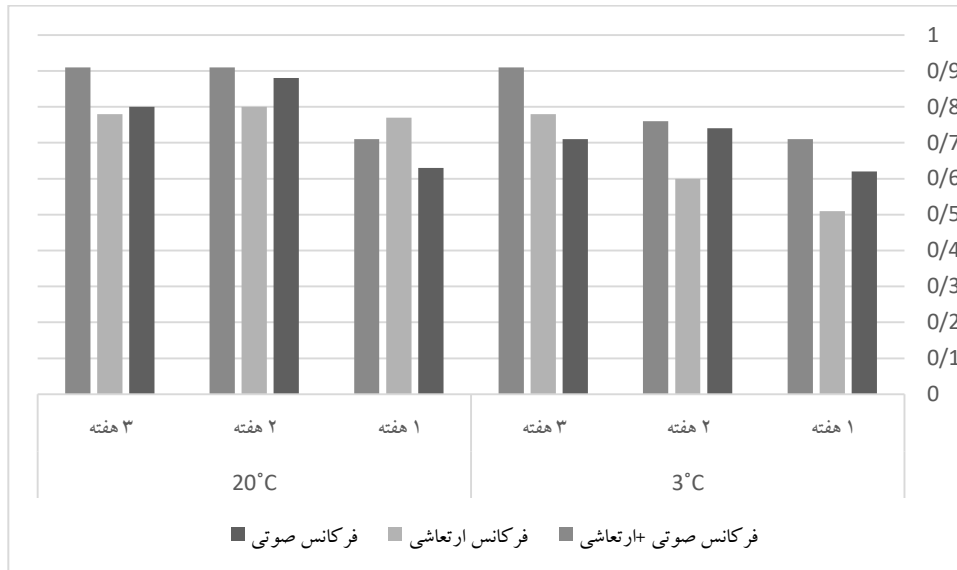
نتایج و بحث

نتایج طبقه‌بندی با شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که میانگین دقت طبقه‌بندی بر اساس بسامد غالب صوتی و ارتعاشی برای گروه اول به ترتیب ۶۹٪ و ۶۳٪ بود. این مقادیر برای گروه دوم به ترتیب ۷۷٪ و ۷۸٪ در صد بود که با ترکیب هر دو بسامد در ورودی شبکه عصبی میزان دقت طبقه‌بندی برای گروه اول به ۷۹٪ و برای گروه دوم به ۸۴٪ افزایش یافت. نتایج این ترکیب به تفکیک در جدول ۱ نشان داده شده است. ترکیب فرکانس‌های صوتی و ارتعاشی در ورودی شبکه عصبی موجب افزایش ۱۳ درصدی دقت طبقه‌بندی برای گروه اول و افزایش ۶٫۵ درصدی برای گروه دوم شده است.

جدول ۱- دقت طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی بر اساس عمر انبار مانی سیب

۲۰°C			۳°C			
۳ هفته	۲ هفته	۱ هفته	۳ هفته	۲ هفته	۱ هفته	
۰٫۸۰	۰٫۸۸	۰٫۶۳	۰٫۷۱	۰٫۷۴	۰٫۶۲	فرکانس صوتی
۰٫۷۸	۰٫۸	۰٫۷۷	۰٫۷۸	۰٫۶	۰٫۵۱	فرکانس ارتعاشی
۰٫۹۱	۰٫۹۱	۰٫۷۱	۰٫۹۱	۰٫۷۶	۰٫۷۱	فرکانس صوتی + ارتعاشی

نتایج طبقه‌بندی نشان داده شده در جدول ۱ در نمودار شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نتایج طبقه‌بندی شبکه عصبی بر اساس عمر انبارمانی سیب

از نمودار شکل ۴ کاملاً مشخص است که طبقه‌بندی بر اساس بازه زمانی ۳ هفته‌ای بیشترین دقت را دارد. واضح است که افزایش بازه زمانی طبقه‌بندی نتایج دقیق‌تری را ارائه می‌دهد. همچنین از روی نمودار مشخص است که ترکیب فرکانس صوتی و ارتعاشی با هم موجب افزایش دقت طبقه‌بندی شده است. یکی دیگر از نتایجی که دیده می‌شود این است که فرکانس‌های صوتی به تنهایی دقت نسبتاً بالاتری در مقایسه با فرکانس‌های ارتعاشی دارند. با توجه به اینکه تغییرات خواص فیزیکی و شیمیایی در دماهای بالاتر شدید تر است، میزان سفتی میوه نیز در دماهای بالاتر کاهش سریع‌تری دارد و کاهش سفتی موجب تغییر در فرکانس‌های غالب سیگنال‌ها می‌شود. بنابراین نتایج طبقه‌بندی گروه دوم برای فرکانس‌های صوتی و ارتعاشی به تنهایی دقت بالاتری داشته است، این بدان معنی است که تغییرات بیشتر موجب می‌شود که شبکه عصبی با دقت بیشتری نتایج را طبقه‌بندی کند.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش پاسخ صوتی و طبقه‌بندی نتایج آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند به عنوان یک روش غیرمخرب برای تخمین عمر انبارمانی سیب بکار رود. این روش برای محصولات دیگری مانند هلو، شلیل، انبه، آووکادو، کیوی و گوجه‌فرنگی نیز قابل استفاده است. برای دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر پژوهش‌های گسترده‌تری نیاز است. در پژوهش‌های آتی افزایش تعداد ویژگی‌های استخراج شده برای ورودی شبکه عصبی می‌تواند موجب دستیابی به نتایج دقیق‌تری شود. یکی از ویژگی‌های پیشنهادی قابل استفاده برای ورودی شبکه عصبی می‌تواند جرم نمونه‌ها باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله صمیمانه از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران ایران قدردانی می‌کنند.

منابع

1. J. Massah, F. Hajiheydari, and M. H. Derafshi, "Application of Electrical Resistance in Nondestructive Postharvest Quality Evaluation of Apple Fruit," J. Agr. Sci. Tech, vol. 19,



- pp. 1031–1039, 2017.
2. A. Haiati, M. H. Raofat, S. Kamgar, and F. Jahani, "Feasability of using electrical capacitance for determining the fruit ripeness of apple," *Iran. J. Biosyst. Eng.*, vol. 49, no. 2, pp. 195–203, Jun. 2018.
 3. S. Ahmadkhani, A. Mahmoudi, K. Mollazade, and H. Ghaffari, "Prediction of firmness in peach fruit by means of laser light backscattering imaging system," *Iran. J. Biosyst. Eng.*, vol. 3, no. 46, pp. 229–234, 2015.
 4. J. R. Cooke, "An Interpretation of the Resonant Behavior of Intact Fruits and Vegetables," *Trans. ASAE*, vol. 15, no. 6, pp. 1075–1080, 1972.
 5. P. Armstrong, H. R. Zapp, and G. K. Brown, "Impulsive excitation of acoustic vibrations in apples for firmness determination," *Trans. ASAE*, vol. 33, no. August, pp. 1353–1359, 1990.
 6. R. Lu and J. A. Abbott, "Finite Element modeling of Transient Responses Of apples To Impulse Excitation," vol. 40, no. 5, pp. 1395–1406, 1993.
 7. J. A. Abbott and R. Lu, "Anisotropic mechanical properties of apples," *Trans. ASAE*, vol. 39, no. 4, pp. 1451–1459, 1996.
 8. H. Chen, J. De Baerdemaeker, and F. Vervaeke, "Acoustic impulse response of apples for monitoring texture changes after harvest," in *Proc. Int. Conf. Agr. Eng*, 1992.
 9. H. Chen, "Analysis of the acoustic impulse resonance of apples for nondestructive estimation of fruit quality," 1993.
 10. S. Schotte, N. De Belie, and J. De Baerdemaeker, "Acoustic impulse-response technique for evaluation and modelling of firmness of tomato fruit," *Postharvest Biol. Technol.*, vol. 17, no. 2, pp. 105–115, 1999.
 11. N. Muramatsu, N. Sakurai, R. Yamamoto, and D. J. Nevins, "Nondestructive acoustic measurement of firmness for nectarines, apricots, plums, and tomatoes," *HortScience*, vol. 31, no. 7, pp. 1199–1202, 1996.
 12. L. Huarng, P. Chen, and S. Upadhyaya, "Determination of Acoustic Vibration Modes in Apples," *Trans. ASAE*, vol. 36, no. 5, p. 1423, 1993.
 13. F. Khoshnam, H. Mobli, S. R. Hassan-Beygi, A. Rajabipour, S. Rafiee, and A. Eyvani, "Melon Ripeness Detection using Non-Destructive Acoustic Impulse Response," *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 13, no. 3, pp. 89–102, 2012.
 14. F. Khoshnam, M. Namjoo, and H. Golbakhshi, "Acoustic Testing for Melon Fruit Ripeness Evaluation during Different Stages of Ripening," *Agric. Conspec. Sci. cus*, vol. 80, no. 4, pp. 197–204, 2015.
 15. M. Saadtinia, B. Emadi, and H. Sadrnia, "Evaluation of watermelon ripening using sound analysis of impacts," *J. Agric. Mach.*, vol. 4, no. 2, pp. 296–304, 2014.
 16. S. Janati and M. Heidari, "Analysis of the the impact response of pomegranate fruit to determine its maturity stage," *Innov. Food Technol.*, Apr. 2018.
 17. Z. Fathizadeh and M. Aboonajmi, "Non-destructive Apple Firmness Measurement Using Acoustic Impulse Response," in *5th Iranian International NDT Conference*, 2019, no. April.



Apple classification based on shelf life by data fusion using artificial neural network

Zahed Fathizadeh¹, Mohammad Abounjami^{2*}, Seyed Reza Hassan Beygi³

1. PhD Student in Biosystems Engineering, Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran
2. Associate Professor, Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran
3. Professor, Department of Agrotechnology, Abouraihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran

Abstract

Apples of Gala cultivar were kept for 9 weeks in two groups of 3 and 20 ° C. Each week a number of each group were subjected to simultaneous acoustic and vibrational firmness tests. The firmness test was a type of impulse response in which the samples were subjected to a very gentle impact. The dominant frequencies of sound and vibration signals were obtained using fast Fourier transform and were used by the neural network for classification. The classification was based on 1, 2 and 3 weeks intervals. The neural network input was studied in 3 modes including dominant acoustic frequency only, dominant vibrational frequency, and both. The mean accuracy of classification with acoustic frequency input and vibrational frequency were 69% and 63% for the first group (3 ° C) and 77% and 78% for the second group, respectively. With increasing input, the third state, these values increased to 79% and 85% for the first and second groups.

Key words: Non-destructive test, Artificial neural network, Apple shelf life, Data fusion

*Corresponding author

E-mail: abonajmi@ut.ac.ir