بکارگیری روش غیرمخرب ضربه سقوط آزاد در تخمین سفتی میوه کیوی با استفاده از الگوریتم PCA-ANN

بهنام پورخاک خسروشاهی[۱]، سید احمد میره‌ای[۲*]، مرتضی صادقی[۳] و عباس همت[۴]

۱، ۲، ۳ و۴- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار، دانشیار و استاد مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

ایمیل مکاتبه کننده: samireei@cc.iut.ac.ir

چکیده

ایران با تولید بالغ بر ۳۲۰۰۰ تن هفتمین کشور تولید کننده کیوی در جهان است. بنابراین، ارزیابی غیرمخرب کیفیت کیوی به منظور عرضه مناسب به بازار از اهمیت بالایی برخوردار است. در بین روش‌های غیرمخرب ارزیابی محصولات کشاورزی، روش‌های مکانیکی برای ارزیابی بافت میوه کاربرد گسترده‌ای دارند. در این تحقیق توانایی روش ضربه سقوط آزاد در تخمین سفتی بافت کیوی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور ارائه مدل‌های پیش‌بینی سفتی، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی-شبکه‌های عصبی مصنوعی (الگوریتم PCA-ANN)استفاده شد. در بررسی اولیه سیگنال‌های به دست آمده، مشخص شد که نمونه‌های با سفتی زیاد، سیگنال‌های با قله‌های بلندتری ایجاد کرده و زمان وقوع قله برای آن‌ها کمتر است. نتایج مدل‌های بدست آمده در مرحله آزمون منجر به ضریب تبیین برابر با ۰/۷۵، خطای برابر با ۵/۵۲ نیوتن و نسبت انحراف استاندارد برابر با ۱/۸۲ شد که نشان از توانایی قابل قبول این روش برای تخمین سفتی کیوی دارد.

واژه‌های کلیدی: سقوط آزاد، شبکه‌های عصبی مصنوعی، کیوی، روش‌های غیرمخرب

مقدمه

کیوی بومی مناطق جنوب غربی چین و هندوستان است. این میوه در ایران از سال ۱۳۴۷ مورد توجه قرار گرفته و تولید آن به صورت رسمی از سال ۱۳۶۳ در باغات رامسر آغاز شده است. هم اکنون ایران با تولید بالغ بر ۳۲۰۰۰ تن، هفتمین کشور بزرگ تولید کننده کیوی در جهان به شمار می‌رود که این مقدار تولید در مقایسه با سال ۲۰۱۱، ۵۰۰ تن

افزایش داشته است (فآو، ۲۰۰۸ و چیزری و همکاران، ۱۳۹۱). از سال ۱۳۷۱ با افزایش تولید کیوی در ایران، صدور این میوه آغاز شده و روند صادرات آن هر ساله رو به افزایش بوده است. ایران در طول دو دهه اخیر به عنوان یکی از عمده‌ترین تولیدکنندگان کیوی جهان، نتوانسته جایگاه ویژه و مناسبی در صادرات این محصول کسب کند و نیز از سهم قابل قبولی در بازار جهانی برخوردار شود. امروزه کیوی کالایی کاملاً اقتصادی تلقی می‌شود و در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی که در شرایط آب و هوایی مشابه کیوی در کشور کشت می‌شوند (نظیر برنج و مرکبات) بازدهی اقتصادی بالاتری دارد (قنبری و همکاران، ۱۳۹۱). از این منظر می‌طلبد که در کنار افزایش تولید به درجه‌بندی و کیفیت‌سنجی این محصول نیز توجه ویژه‌ای شود. روش‌های مختلفی برای ارزیابی محصولات کشاورزی وجود دارند که در این بین، روش‌های غیرمخرب به دلیل امکان بازرسی تمام میوه‌ها در خط بسته‌بندی از اهمیت بالایی برخوردار هستند. روش‌های مکانیکی از جمله‌ی این روش‌ها هستند که عموماً برای بررسی بافت میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند.

رانی و همکاران (۲۰۱۰) از روش ضربه آزاد برای تخمین سفتی کیوی رقم هایوارد استفاده کردند. در این تحقیق از یک نوار نقاله که کیوی‌ها را روی یک صفحه آلومینیومی متصل به یک بارسنج پرتاب می‌کرد، استفاده شد. برای مدل‌سازی سفتی، از روش رگرسیون چند متغیره و شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد که در نهایت روش شبکه‌های عصبی مصنوعی با ضریب تبیین پیش‌بینی ۰/۸۲ و مقدار خطای ۵/۴ نیوتن منجر به نتایج بهتری شد (رانی و همکاران، ۲۰۱۰). جوادی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از ضربه آزاد، تأثیر ارتفاع سقوط کیوی روی بارسنج را بر تخمین سفتی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع سقوط تأثیر معنی‌داری بر تخمین سفتی کیوی نداشت (جوادی و همکاران، ۱۳۹۱). امید و همکاران (۲۰۱۰) سامانه‌ای مبتنی بر روش ضربه آزاد و صوت به منظور تشخیص باز یا بسته بودن پسته را ساخته و ارزیابی کردند. ایشان از یک صفحه پیزوالکتریک به عنوان حسگر ضربه استفاده کردند. پسته‌ها بعد از رها شدن از مخزن تغذیه، روی یک صفحه فلزی استیل مجهز به حسگر افتاده و در اثر این برخورد صدایی ساطع می‌شد. دو سیگنال میکروفون و پیزوالکتریک با استفاده از تلفیق تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و شبکه‌های عصبی مصنوعی مورد تحلیل قرار گرفته و پسته‌ها با خطای ۴/۳٪ در دو گروه تقسیم شدند (امید و همکاران، ۲۰۱۰).

هدف اصلی از انجام این تحقیق ارزیابی توانایی روش ضربه سقوط آزاد برای تخمین سفتی بافت میوه کیوی است. برای تحلیل سیگنال‌های به دست آمده و به منظور ارائه مدل‌های پیش‌بینی سفتی از تحلیل مؤلفه‌های اصلی–شبکه‌های عصبی مصنوعی (الگوریتم PCA-ANN) استفاده شد.

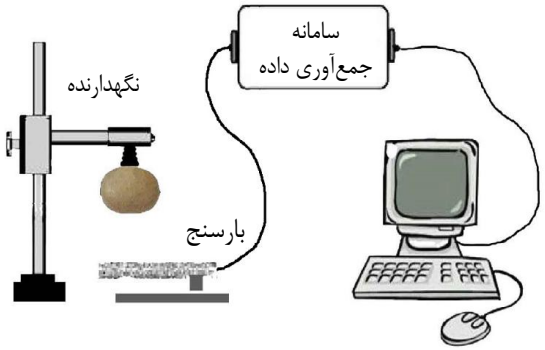
مواد و روش‌ها

آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه‌های کیوی به‌صورت کاملاً نارس، نیمه نارس، نیمه رسیده و کاملاً رسیده از اواخر آبان ماه تا اواخر دی ماه سال ۱۳۹۲ از بازار محلی خریداری شدند. در ابتدا، میوه‌ها از نظر عدم کوفتگی و آسیب ظاهری بررسی و سپس در دمای ۸ درجه سلسیوس در داخل یخچال نگهداری شدند. در کل، تعداد ۲۴۰ میوه به عنوان نمونه به صورت کاملاً تصادفی انتخاب شدند و بعد از شماره‌گذاری، مورد آزمایش قرار گرفتند. قبل از شروع آزمایش‌ها، نمونه‌ها به مدت ۳ ساعت از یخچال خارج شدند تا به تعادل با دمای اتاق برسند.

اندازه‌گیری سیگنال ضربه سقوط آزاد

به منظور اندازه‌گیری سیگنال ضربه سقوط آزاد، سامانه‌ای توسعه داده شد که شامل دو قسمت اصلی نگهدارنده میوه و ثبت سیگنال ضربه بود. شکل ۱ طرحواره این سامانه را نشان می‌دهد. به منظور نگهداری و رها کردن نمونه‌ها از یک ارتفاع مشخص، از یک سامانه توسعه یافته در گروه ماشین‌های کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان که شامل پمپ هوا، ونتوری و پایه‌ی نگه‌دارنده است، استفاده شد.



شکل ۱- سامانه اندازه‌گیری سیگنال ضربه سقوط آزاد

در این سامانه، هوا توسط یک پمپ درون ونتوری دمیده شده و باعث ایجاد مکش در منفذ میانی می‌شد که تحت این مکش میوه در ارتفاع مورد نظر نگه داشته شده است (حبیبی‌راد و همکاران، ۱۳۹۱). با قطع شدن جریان هوای ورودی به ونتوری، میوه در اثر وزن خود رها شده و روی صفحه آلومینیومی متصل به لودسل می‌افتاد. این مکنده به پایه‌ای متصل بود که ارتفاع مکنده را قابل تنظیم می‌کرد. تمامی نمونه‌ها از ارتفاع ۱۰۰ میلیمتری روی بارسنج رها شدند. ارتفاع سقوط توسط کولیس دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر و از پایین‌ترین قسمت میوه تا صفحه‌ی آلومینیومی اندازه‌گیری شد. بلافاصله بعد از برخورد اول میوه به بارسنج، برای جلوگیری از بازخورد[1] آن با لودسل، میوه توسط کاربر با دست گرفته می‌شد. برای دریافت و ثبت سیگنال ضربه‌های منتقل شده توسط میوه، از یک بارسنج یکسر درگیر با ظرفیت کاری ۵ کیلوگرم و دقت ±۰/۵ گرم استفاده شد. روی این بارسنج یک صفحه آلومینیومی به ابعاد ۹×۱۰ سانتی‌متر و با ضخامت ۱ سانتی‌متر به منظور ایجاد نشیمنگاه موقع فرود میوه نصب شد. به

[1] Rebound

منظور جمع‌آوری و نمایش سیگنال حاصل شده توسط لودسل بر روی کامپیوتر از یک سامانه جمع‌آوری داده با نرخ نمونه‌برداری ۱۰ کیلوهرتز استفاده شد. برای ثبت اطلاعات خروجی از سامانه جمع آوری داده از یک رایانه با سیستم عامل WINDOWS XP سرویس پک ۲ استفاده شد (میره‌ای و همکاران، ۲۰۱۵).

نرم‌افزارهای مورد استفاده برای ثبت سیگنال علاوه بر نرم‌افزارهای راه‌انداز سخت‌افزار عبارتند از نرم افزار WAVE SCAN شرکت ADVANTECH و همچنین یک نرم‌افزار اختصاصی برای دستگاه جمع‌آوری داده که در محیط LABWIEV نوشته شده است. سیگنال جمع‌آوری شده به‌صورت فایل نوشتاری ذخیره می‌شد.

اندازه‌گیری سفتی کیوی

بلافاصله پس از جمع‌آوری سیگنال ضربه سقوط آزاد، آزمون نفوذ برای اندازه‌گیری سفتی نمونه‌ها انجام شد. به این منظور از یک دستگاه جامع آزمون کشش و فشار مدل STM-20 محصول شرکت سنتام ایران و پروب فلزی مگنس-تیلور به قطر ۷/۹ میلی‌متر با انتهای نیم‌کره استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که ابتدا پوست سطح مورد نظر میوه به اندازه قطر پروب با یک تیغ تیز به صورت نازک گرفته شده و کیوی روی فک پایینی دستگاه قرار داده می‌شد. سپس پروب به میوه مماس شده و با سرعت ۲۵/۴ میلی‌متر بر دقیقه به داخل میوه نفوذ می‌کرد. این کار به روش مشابه روی سطح مقابل و با زاویه ۱۸۰ درجه نیز انجام شد. نرم‌افزار دستگاه نمودار نیرو در مقابل جابجایی را نمایش داده و در یک فایل اکسل ذخیره می‌کرد. در هر نمودار، حداکثر مقدار نیروی مورد نیاز برای نفوذ پروب به داخل گوشت میوه محاسبه و به عنوان سفتی در آن نقطه در نظر گرفته شد. در نهایت میانگین حسابی مقادیر سفتی اندازه‌گیری شده در دو طرف نمونه به عنوان سفتی آن در نظر گرفته شد.

تحلیل داده‌ها

به منظور ارائه مدلی مناسب برای پیش‌بینی سفتی توسط داده‌های آزمون ضربه سقوط آزاد، از روش مدل‌سازی تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)-شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) که به الگوریتم PCA-ANN معروف است، استفاده شد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی از روش‌های آماری چند متغیره است که می‌توان از آن‌ها برای کاهش پیچیدگی تحلیل متغیرهای اولیه مسئله در مواردی که با حجم زیادی از اطلاعات روبرو هستیم و همچنین برای تفسیر بهتر اطلاعات استفاده نمود. با این روش، متغیرهای اولیه (داده‌های سیگنال) به مؤلفه‌های جدید و مستقل (با ضرایب همبستگی صفر بین هر دو مؤلفه) تبدیل می‌شوند و سپس از این مؤلفه‌ها به جای متغیرهای اولیه استفاده می‌شود. به علاوه، چون در تشکیل مؤلفه‌ها از تمام متغیرها استفاده می‌شود، اطلاعات متغیرهای اولیه با کمترین تلفات به وسیله‌ی مؤلفه‌های حاصل بیان و ارائه می‌شود و در نتیجه جنبه‌های اطلاعاتی داده‌های اصلی از دست نمی‌رود (میره‌ای و همکاران، ۱۳۸۹).

شبکه‌های عصبی مصنوعی[2] (ANN) الگویی برای پردازش اطلاعات هستند که از مغز انسان ایده گرفته و پردازش داده‌ها را به عهده‌ی پردازنده‌های کوچک و بسیار زیادی سپرده که به صورت شبکه‌ای به هم پیوسته و موازی با یکدیگر رفتار می‌کنند تا یک مسئله را حل نمایند (سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). یک شبکه عصبی مصنوعی، معمولاً از یک لایه ورودی، یک یا چند لایه میانی یا مخفی و یک لایه خروجی تشکیل می‌شود. لایه ورودی داده‌های شبکه را تهیه می‌کنند و لایه خروجی شامل مقادیر پیش‌بینی‌شده‌ی شبکه می‌باشد. لایه میانی که از نرون‌های پردازشگر تشکیل شده است، محل پردازش داده‌ها است. شمار لایه‌ها و شمار نرون‌ها در هر لایه مخفی به طور معمول به وسیله روش آزمون و خطا مشخص می‌شود. یک نرون مصنوعی سامانه‌ای با تعداد زیادی ورودی و تنها یک خروجی است (انوری و همکاران، ۱۳۹۱). در این تحقیق از مدل شبکه عصبی پرسپترون چند لایه[3] (MLP) استفاده شد. شبکه‌های پرسپترون چند لایه (MLP) از نوع شبکه‌های عصبی پیش‌خور هستند که یکی از پرکاربردترین مدل‌های شبکه‌های مصنوعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی عناصر محسوب می‌شوند (پرهیزگاری و همکاران، ۱۳۸۲). در روش PCA-ANN ابتدا ابعاد ماتریس سیگنال سقوط آزاد با استفاده از روش PCA کاهش پیدا کرده و مؤلفه‌های اصلی سیگنال به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده می‌شود. قبل از انجام مدل‌سازی، کلیه نمونه‌ها به دو دسته کالیبراسیون و آزمون تقسیم شدند. برای استخراج مدل از دسته کالیبراسیون استفاده شد که ۸۰٪ نمونه‌ها را شامل می‌شد و برای اعتبارسنجی مدل حاصل، از دسته آزمون استفاده شد که ۲۰٪ باقیمانده را در بر می‌گرفت. برای آموزش شبکه‌های ساخته شده نیز از الگوریتم یادگیری پس‌انتشار خطا استفاده شد. تابع فعال‌سازی نرون‌ها نیز تابع سیگموید۴ در نظر گرفته شد. آنالیز PCA در نرم‌افزار UNSCRAMBLER و تمامی تحلیل‌های شبکه عصبی با نرم‌افزار STATISTICA نسخه ۱۰ انجام شد.

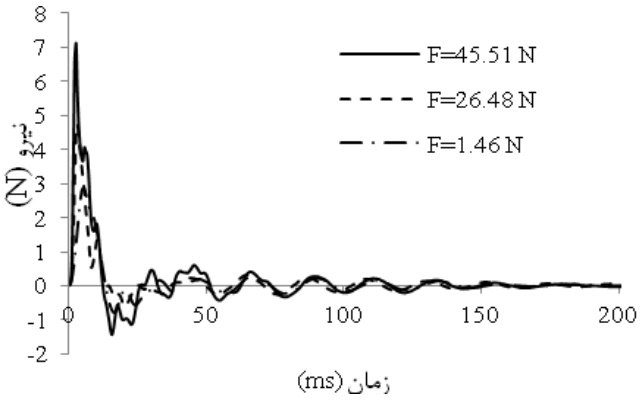
نتایج و بحث

مقایسه ظاهری سیگنال‌ها با سه سطح سفتی

شکل ۲ منحنی ضربه سقوط آزاد سه نمونه با سفتی‌های بیشینه، متوسط و کمینه و با جرم‌های مشابه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه با بیشترین سفتی (F=45.51 N) دارای ضربه قوی‌تر (در حدود ۷ نیوتن) می‌باشد و نمونه با کمترین سفتی (F=1.46 N) دارای ضربه ضعیف‌تر (در حدود ۳ نیوتن) است. ضربه حاصل از نمونه با سفتی متوسط (F=26.48 N) نیز در حدود ۴/۸ نیوتن ثبت شده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار سفتی، نیروی بیشینه حاصل از برخورد نیز افزایش می‌یابد. همچنین نمونه با بیشترین سفتی در مقایسه با نمونه‌های نرم‌تر، زمان وقوع پیک اول کمتری دارد. علت این امر آن است که هر چه نمونه سفت‌تر باشد، ضربه اعمالی شدیدتر و در نتیجه زمان تماس میوه با صفحه بارسنج نیز کمتر خواهد بود. همچنین سیگنال ضربه نمونه با کمترین سفتی، زودتر از دو نمونه دیگر میرا شده است که دلیل آن جذب سریع‌تر ضربه توسط نمونه نرم‌تر می‌باشد.

[2] Artificial Neural Networks
[3] Multi-Layer Perceptron
[4] sigmoid

لین و همکاران (۲۰۰۹) نیز نتایج مشابهی برای تخمین سفتی گوجه‌فرنگی با استفاده از روش سقوط آزاد بدست آوردند (لین و همکاران، ۲۰۰۹).



شکل۲- مقایسه سیگنال‌های ضربه سقوط آزاد با سه سطح سفتی متفاوت

تحلیل و مدل‌سازی سیگنال‌ها

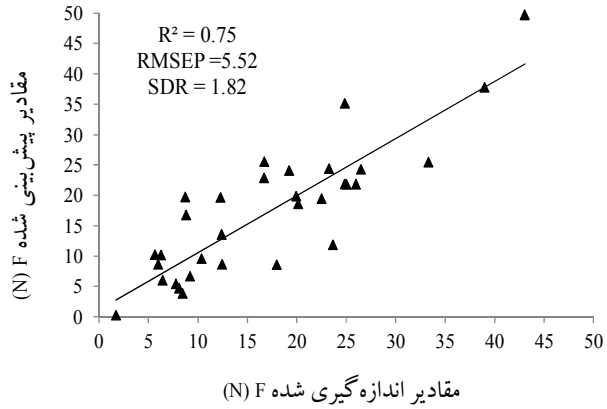
سامانه ثبت سیگنال ضربه سقوط آزاد، تعداد ۵۰۰۰ نقطه برای هر نمونه ثبت می‌کرد که این تعداد داده به عنوان ورودی شبکه عصبی بسیار زیاد می‌باشد، چرا که مدل به دست آمده با استفاده از این تعداد نقاط خیلی پیچیده بوده و پردازش داده‌ها زمان‌بر خواهد بود. بنابراین، همانطور که در بخش ۲-۴ گفته شد، ابعاد ماتریس سیگنال ضربه با استفاده از روش PCA از ۵۰۰۰ متغیر به ۲۵ متغیر که قادر به توصیف بیش از ۹۸ درصد واریانس موجود در داده‌های سیگنال هستند، کاهش داده شد. تعداد بهینه نرون‌ها در لایه پنهانی با مقایسه خطای حاصل از مدل، ۶ عدد انتخاب شد. با استفاده از ۱۹۲ نمونه تصادفی، مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. سپس با استفاده از ۴۸ نمونه باقیمانده که برای شبکه ناشناخته بودند، اعتبارسنجی انجام شد. جدول ۱ نتیجه حاصل از مدل‌سازی سفتی با استفاده از روش PCA-ANN را نشان می‌دهد.

جدول۱- نتایج مدل‌سازی PCA-ANN برای پیشبینی سفتی

ساختار شبکه	آموزش		اعتبارسنجی		
	R^2_{train}	RMSEC	R^2_{test}	RMSEP	SDR
۲۵-۶-۱	۰/۷۵	۵/۵۸	۰/۷۵	۵/۵۲	۱/۸۲

این مدل در مرحله آموزش منجر به ضریب تبیین (R^2_{train}) برابر با ۰/۷۵ و ریشه‌ی میانگین مربعات خطاهای آموزش (RMSET) برابر با ۵/۵۸ نیوتن شد. همچنین در مرحله آزمون مدل منجر به R^2_p برابر با ۰/۷۵ و ریشه‌ی میانگین مربعات خطاهای پیش‌بینی (RMSEP) برابر با ۵/۵۲ نیوتن گردید. این نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روش ضربه سقوط آزاد به همراه الگوریتم PCA-ANN می‌توان سفتی میوه کیوی را با دقت قابل قبولی تخمین زد.

شکل ۳ مقادیر پیش‌بینی شده سفتی در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه جامع آزمون کشش و فشار را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، یک تطابق قابل قبول بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش غیرمخرب سقوط آزاد و روش مدل‌سازی بکار رفته در این پژوهش وجود دارد.



شکل۳– مقادیر پیش‌بینی شده سفتی در برابر مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده با استفاده از دستگاه جامع آزمون کشش و فشار

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ابتدا سیگنال‌های ضربه سقوط آزاد در سه سطح متفاوت سفتی، از لحاظ ظاهری مقایسه شد. نتایج حاصل نشان داد که در نمونه‌های سفت‌تر قله حاصل از ضربه آزاد بلندتر و زمان وقوع این قله کمتر خواهد بود. همچنین سیگنال نمونه با سفتی کمتر، در زمان کمتری میرا می‌شوند. سپس سعی بر آن شد که با استفاده از الگوریتم تحلیل مؤلفه‌های اصلی– شبکه‌های عصبی مصنوعی، سفتی کیوی تخمین زده شود. نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان داد که با استفاده از این روش می‌توان سفتی کیوی را با دقت بالایی تخمین زد به نحوی که در مرحله آزمون، ضریب تبیین بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سفتی، برابر با ۰/۷۵ و ریشه میانگین مربعات خطای پیشگویی برابر با ۵/۵۲ نیوتن بدست آمد. همچنین شاخص نسبت انحراف استاندارد پیشگویی مقدار قابل قبول ۱/۸۲ حاصل شد.

منابع و مآخذ

۱. علی‌اصغر انوری، "کاربرد شبکه‌های عصبی در علوم مهندسی"، انتشارات حایر، ۱۳۹۱.
۲. محمد پرهیزکاری، "شبکه‌های عصبی"، انتشارات نقش سیمرغ، ۱۳۸۲.
۳. شیددخت جوادی، سید مهدی نصیری، عبدالعباس جعفری، علیرضا صالحی، "تعیین سفتی بافت میوه کیوی با استفاده از روش غیرمخرب ضربه"، هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، شهریور ۱۳۹۱.

۴. چیزری، ا. ح. ابوالحسنی یاسوری، س. ۱۳۹۱. بررسی مزیت‌های نسبی و اولویت‌بندی بازارهای هدف کیوی صادراتی ایران. اقتصاد کشاورزی.

۵. حبیبی‌راد، ع. ا. ۱۳۹۱. حساسیت به کوفتگی سیب تحت بارهای ضربه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶. سلطانی، س. ۱۳۸۹. شبکه‌های عصبی مصنوعی. انتشارات دانشگاه تهران.

۷. قنبری، م. ر. ۱۳۸۱. طرح ارزیابی کشت و تولید میوه کیوی در ایران و بررسی توان صادراتی آن. موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی کشاورزی.

۸. میره‌ای، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی پارامترهای مؤثر بر میزان رسیدگی خرمای مضافتی و شاهانی توسط روش غیرمخرب اسپکتروسکوپی NIR. پایان‌نامه دکتری. دانشکده‌ی مهندسی و فناوری کشاورزی. دانشگاه تهران.

9. FAOSTAT, S. y. b. o. F., 2008. available at http://faostat.fao.org.
10. Lien, Ch. Ch. and Ching-Hua, C. A. 2009. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. Journal of Food Engineering. Vol 91, 402–407.
11. Omid, M. Mahmoudi, A. and Omid, M. H. 2010. Development of pistachio sorting system using principal component analysis (PCA) assisted artificial neural network (ANN) of impact acoustics. Expert Systems with Applications. Vol 37, 7205-7212
12. Mireei, S. A. Sadeghi, M. Heidari, A. and Hemmat, A. 2015. On-line firmness sensing of dates using a non-destructive impact testing device. Biosystems Engineering. Vol 129, 288-297.
13. Ragni, L. Berardinelli, A. and A. Guarnieri. 2010. Impact device for measuring the flesh firmness of kiwifruits. Journal of Food Engineering. Vol 96, 591-597.

Application of falling impact method in non-destructive firmness measurement of kiwifruit using PCA-ANN algorithm

Abstract

With production of 32000 tons in 2012, Iran is the seventh producer of kiwifruit in the world. The quality evaluation of kiwifruit is an important and necessary factor since it is the basis of the consumers' choices. There are various methods for non-destructive quality evaluation of agricultural products. Among these methods, mechanical-based techniques are useful, especially for texture or ripeness evaluation. In this study falling impact method was used in non-destructive estimation of kiwifruit texture. In this technique, the fruit was held by a vacuum valve and released to fall freely from an adjustable height onto a load cell. The load cell was equipped with a data acquisition unit to collect and illustrate the received signal. Immediately after data acquisition, penetration (Magness-Taylor) tests were performed on each sample in order to obtain the firmness (F) using the universal tension-compression testing machine. Principal component analysis (PCA) was first carried out in order to reduce the dimensionality of the impact signal. 25 principal components (PCs) were then extracted which could explain the most of variability among the impact signal. These PCs were used as the input variable to an artificial Neural Network (ANN) model to predict the firmness values of samples. The values of R^2_p= 0.75, RMSEP= 5.52 N and SDR= 1.82 revealed that the built PCA-ANN model could reliably predict the firmness values of kiwifruits.

Keywords: Firmness, Principal components analysis, Artificial neural networks, Impact signal