

طبقه‌بندی سیب رد دلشز بر اساس تغییرات پاسخ آکوستیکی در دوره نگهداری با استفاده از تبدیل موجک گسسته و شبکه‌های عصبی مصنوعی

مجید لشگری^{۱*}، رضا محمدی گل^۱

۱- استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه اراک، اراک
* نویسنده مسئول (m-lashgari@araku.ac.ir)

چکیده

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۰۸

واژه‌های کلیدی

پاسخ آکوستیک
تبدیل موجک
زمان نگهداری
سیب رد دلشز
شبکه عصبی

امروزه استفاده از سیستم‌های نوینی که قادر به اندازه‌گیری غیرمخرب ویژگی‌های کیفی محصولات غذایی بوده و قابلیت نصب روی خطوط درجه‌بندی را دارند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. تحلیل پاسخ آکوستیکی یکی از شیوه‌های غیرمخرب اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی میوه‌ها بشمار می‌آید. در این پژوهش، بررسی امکان استفاده از تحلیل پاسخ آکوستیکی در طبقه‌بندی سیب رد دلشز صورت گرفته است. در این پژوهش، تبدیل موجک گسسته با استفاده از موجک دابوچی چهار در سه سطح، روی سیگنال‌های صدای حاصل از ضربه به سیب‌ها در دو حوزه زمان و فرکانس برای استخراج ویژگی‌های مناسب اعمال شد. توابع آماری بیشینه، کمینه، میانگین، انحراف معیار، انرژي، کشیدگی، چولگی و ممان سوم به‌عنوان ویژگی استخراج شدند. با استفاده از الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، طبقه‌بندی سیب‌ها بر اساس تغییرات پاسخ آکوستیکی در دوره نگهداری انجام گرفت. نتایج نشان داد که شبکه مصنوعی با ساختار ۲-۱-۴ در حوزه زمان بهترین عملکرد را داراست. میانگین صحت طبقه‌بندی برای شبکه مذکور ۸۲/۱ درصد و شاخص میانگین همساز دقت و حساسیت ($F\beta$) نیز ۰/۸۱ به‌دست آمد.

مقدمه

علاقمندی به استفاده از ویژگی‌های کیفی داخلی در این‌گونه سیستم‌ها در کنار ویژگی‌های ظاهری آنها روبه‌افزایش است.

یکی از ویژگی‌های کیفی محصولات باغی که برای مصرف‌کنندگان آنها از اهمیت بالایی برخوردار است بافت مناسب محصولات و یا به عبارتی سفتی گوشت آنهاست. مطالعه تغییرات سفتی انواع میوه‌ها و کسب اطلاعات لازم در این خصوص، در عرضه محصولات با کیفیت عالی به بازارهای داخلی و خارجی بسیار مؤثر بوده و از این طریق می‌توان به اقتصاد کشور رونق بخشید. به‌طور سنتی سفتی میوه‌ها با دستگاه نفوذسنج اندازه‌گیری می‌شوند. معیابی که می‌توان

شناخت خواص مختلف فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی میوه‌ها در فرایندهای مختلف پس از برداشت همچون انبارداری، درجه‌بندی، بسته‌بندی، حمل‌ونقل و غیره بسیار مفید است. امروزه مصرف‌کنندگان تقاضای محصولاتی را دارند که دارای ظاهری زیبا، طعم خوب و بافت مناسب بوده و همچنین عاری از آلودگی و آفت و سرشار از مواد مغذی باشند. درحالی‌که اغلب سیستم‌های طبقه‌بندی کیفی انواع میوه‌ها و سبزی‌ها که به‌صورت تجاری و صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بر اساس ویژگی‌های ظاهری آنها از قبیل رنگ، اندازه، عدم وجود لکه و غیره عمل می‌کنند، لذا

ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی از کارایی بهتری برخوردار است، زیرا تحلیل سیگنال‌ها در دو حوزه زمان و فرکانس در این روش قابل انجام است (Singh *et al.*, 2010). به‌طور کلی فرایند تبدیل موجک به دو صورت پیوسته و گسسته صورت می‌گیرد. در تبدیل موجک پیوسته، اطلاعات فراوانی به‌دست می‌آید که ممکن است همه آنها در هر تحلیلی مفید نباشند. در تبدیل موجک گسسته، محاسبه‌ها به پیچیدگی تبدیل موجک پیوسته نبوده و تمام اطلاعات به‌دست‌آمده کارآمد و مفید هستند. در شرایط دقت یکسان، تبدیل موجک گسسته در مقایسه با تبدیل موجک پیوسته کارایی بهتری دارد.

در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه پاسخ آکوستیکی، معمولاً تمرکز بر بخشی از اطلاعات طیف‌های صدا بوده است. در بسیاری از پژوهش‌ها، اولین فرکانس تشدید به‌عنوان تنها ویژگی سیگنال صدای حاصل از ضربه مورد استفاده قرار گرفته است (Wang *et al.*, 2004; Hernández Gómez *et al.*, 2010; Petrisor *et al.*, 2005). استفاده از سومین فرکانس تشدید (Jagannath *et al.*, 2005) و ترکیبی از چند ویژگی محدود سیگنال‌های صدا نیز در سایر پژوهش‌ها گزارش شده است (Costa *et al.*, 2011; Tiplica *et al.*, 2010). این در حالی است که سیگنال‌های صدا ممکن است حاوی اطلاعات مفید دیگری نیز باشند. لذا پژوهش‌هایی با استفاده از تحلیل پاسخ آکوستیکی برای ارزیابی ویژگی‌های درونی انواع محصولات کشاورزی از جمله بادام (Ebrahimi & Mollazade, 2010)، گردو (Khalifahamzehghasem *et al.*, 2012) و عناب (Rahimi *et al.*, 2014) انجام شده است که غالب ویژگی‌های مورد استفاده در آنها، طیف کامل سیگنال صدا را دربرمی‌گیرد.

لذا در این پژوهش برای بررسی بیشتر سیگنال‌های صدای حاصل از ضربه، طیف وسیع‌تری از سیگنال‌ها، مورد کاوش قرار گرفتند. بنابراین هدف این پژوهش بررسی طیف کامل صدا با استفاده از تبدیل موجک در سطوح تجزیه مختلف و به‌کارگیری آن در

برای این روش برشمرده عبارتند از: تخریب نمونه، سرعت پایین، حساسیت بالا به محل نفوذ میله نفوذسنج در میوه و امکان بالای بروز خطای اپراتور در حین اندازه‌گیری. بنابراین دلایل ذکر شده، استفاده از این روش به‌صورت تجاری در درجه‌بندی برخط^۱ محصولات امکان‌پذیر نیست و از این‌رو شیوه‌های غیرمخرب جهت مطالعه تغییرات سفتی میوه‌ها مورد توجه قرار گرفته‌اند.

نتایج بسیاری از مطالعه‌ها نشان می‌دهد که خصوصیات داخلی میوه‌ها و از جمله سفتی گوشت آنها با تحلیل پاسخ آکوستیکی آنها به ضربه مکانیکی قابل تعیین خواهد بود (Galili & De Baerdemaeker, 2006; De Ketelaere *et al.*, 1996). بر این اساس و با استفاده از تحلیل پاسخ آکوستیکی برای ارزیابی بافت داخلی انواع میوه‌ها از جمله سیب (Madieta *et al.*, 2004)، گلابی (De Belie *et al.*, 2000)، نارنگی (Hernández Gómez *et al.*, 2006)، گوجه‌فرنگی (Lu *et al.*, 2009)، هلو (Diezma-Iglesias *et al.*, 2006) و انبه (Valente *et al.*, 2009) شیوه‌های غیرمخرب مورد مطالعه قرار گرفته است.

در ایران نیز برای تعیین خصوصیات برخی از میوه‌ها از جمله رسیدگی میوه هندوانه رقم کریمسون سوئیت (سعادت‌نی‌ا و همکاران، ۱۳۸۹)، رسیدگی دو رقم خربزه زرد ایوانکی و سوسکی سبز (خوشنام و همکاران، ۱۳۹۱) و سفتی چهار رقم سیب گل‌دل‌دلیشز، رد‌دلیشز، جاناگلد و پاپیروکا (عیسی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱) شیوه‌های غیرمخرب با استفاده از تحلیل پاسخ آکوستیکی مورد مطالعه قرار گرفته است. برای استخراج ویژگی‌های مفید و نیز بهره‌مندی از اطلاعات موجود در سیگنال‌های صدای حاصل از ضربه برای استفاده در طبقه‌بندی و تحلیل سیگنال‌ها ضروری است. در بسیاری از پژوهش‌ها، از تبدیل فوریه سریع برای تبدیل سیگنال‌ها از حوزه زمان به فرکانس بهره گرفته شده است. اما به دلیل گذرا بودن سیگنال‌های حاصل از مواد بیولوژیکی، تبدیل فوریه قادر به پردازش مؤثر سیگنال‌ها نخواهد بود (Singh *et al.*, 2010). این در حالی است که تبدیل موجک در

^۱ On-line

سامانه آکوستیک

برای انجام آزمایش‌ها، یک جعبه آکوستیک ساخته شد. به منظور جلوگیری از ورود صدای محیط اطراف به درون جعبه، دیوارهای جعبه آکوستیک به صورت دوجداره طراحی و ساخته شدند که در فضای بین دوجداره فوم تزریق شد. درب ورودی جعبه نیز مجهز به شیشه دوجداره گردید تا از یک سو امکان نمایش نمونه‌ها در حین آزمایش فراهم باشد و از سوی دیگر مانع ورود صداهای مزاحم محیطی باشد. از آنجایی که سطوح صیقلی فلزی منعکس‌کننده خوبی برای صدا هستند بنابراین انعکاس صدای ضربه از دیوارها و دریافت آنها توسط میکروفن‌ها می‌تواند در نتایج صحیح آزمایش‌ها خلل وارد نماید. لذا برای پیشگیری از این موضوع، تمامی جداره داخلی دیوارها به جزء کف که محل نصب تجهیزات بوده و درب ورودی که از شیشه ساخته شده بود توسط مواد جاذب صدا پوشانده شدند. ماده جاذب صدا که در جعبه آکوستیک مورد استفاده قرار گرفت از نوع اصطلاحاً شانه تخم‌مرغی بود. به واسطه برجستگی‌ها و فرورفتگی‌های متعدد موجود روی سطح ماده به کاررفته، صدا در درون آنها نفوذ کرده و در نهایت جذب صدا صورت می‌گیرد و از برگشت دوباره صدا به محیط درون جعبه جلوگیری می‌شود. جعبه آکوستیک مورد استفاده در این پژوهش در شکل (۱) نشان داده شده است. در شکل (۱) محل استقرار میوه‌ها، موقعیت میکروفن و ضربه‌زن نیز قابل مشاهده است. با توجه به اینکه ضربه باید پس از قرار دادن نمونه‌ها در محل مورد نظر و بستن در جعبه آکوستیک اعمال شود، لازم بود که مکانیسمی طراحی شود تا امکان اعمال ضربه در چنین شرایطی فراهم سازد. به همین منظور یک مدار سخت‌افزار الکترونیکی که شامل هسته آهنی و سیم‌پیچ الکتریکی بود به همراه نرم‌افزار مربوطه طراحی و ساخته شد.

برای ایجاد ضربه از یک گوی پلاستیکی به وزن ۳/۳ گرم و قطر ۱۷ میلی‌متر استفاده شد. گوی مذکور به انتهای یک سیم نازک به طول ۹۵ میلی‌متر متصل شد که به این ترتیب امکان نوسان همانند یک آونگ فراهم گردید. با توجه به اینکه آزمایش‌های پاسخ

طبقه‌بندی تغییرات پاسخ آکوستیکی سیب ردلیشز است. مقایسه بین تغییرات پاسخ آکوستیکی در دو حوزه زمان و فرکانس نیز از دیگر اهداف این پژوهش بوده است.

مواد و روش‌ها

انتخاب نمونه‌ها

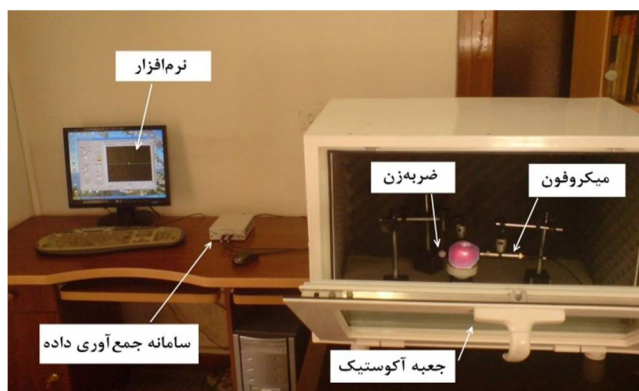
در این پژوهش سیب ردلیشز که از ارقام مهم تجاری در کشور بشمار می‌آیند، جهت انجام آزمایش‌ها انتخاب شدند. علت انتخاب رقم مذکور رابطه تنگاتنگ تغییرات سفتی سیب ردلیشز با طول دوره نگهداری در مقایسه با سایر ارقام سیب بوده است. سیب‌ها در پاییز سال ۱۳۹۲ از یکی از باغ‌های اصفهان برداشت شدند. تمامی نمونه‌ها در مرحله رسیدگی کامل بوده و به صورت دستی چیده شدند. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و از میان سیب‌ها، تعداد ۷۸ عدد سیب کاملاً سالم و فاقد هرگونه ناهنجاری فیزیولوژیکی انتخاب شدند. ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها در جدول (۱) آورده شده است. سیب‌ها به دو گروه ۳۹ عددی تقسیم‌بندی شدند. گروه اول در آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌ها نگهداری شده و گروه دوم نیز به سردخانه با دمای ۶ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۲۰ درصد منتقل شده و به مدت دو ماه در شرایط مذکور نگهداری شدند.

جدول ۱ - ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها

انحراف معیار	میانگین	بیشینه	کمینه	
وزن (گرم)	۱۵۳/۶۷	۱۹۸/۱۵	۹۴/۴۵	۲۴/۹۱
حجم (سی‌سی)	۱۷۴/۲۳	۲۴۰	۱۱۰	۲۹/۰۷

سفتی گوشت نمونه‌ها توسط نفوذسنج دستی میوه مدل FT 327 ساخت کشور هلند اندازه‌گیری شد. برای این منظور لایه پوست روی میوه در دو نقطه به وسیله چاقو برداشته شد. سپس نوک دستگاه با قطر هشت میلی‌متر به داخل گوشت میوه برده شده و میزان سفتی بافت برحسب کیلوگرم قرائت گردید.

آکوستیکی از نوع غیرمخرب محسوب می‌شوند. بنابراین شدت ضربه‌ها باید به گونه‌ای باشد که در محل ضربه، تغییری در بافت میوه‌ها رخ ندهد.



شکل ۱ - جعبه آکوستیک

پیش از شروع اندازه‌گیری، میکروفن توسط کالیبراتور مدل CA111 که سطح صوت ثابت ۹۴ و ۱۱۴ دسی‌بل را در فرکانس یک کیلوهرتز ایجاد می‌کند، کالیبره شد.

باتوجه به اینکه در این پژوهش مقایسه فرکانس‌ها نیز مد نظر بود از سامانه جمع‌آوری اطلاعات مدل MC3022 استفاده گردید که نسبت به تمامی فرکانس‌های صوتی دارای حساسیت یکسانی است. باتوجه به وجود مبدل آنالوگ به دیجیتال ۲۴ بیتی در این سامانه، میزان نویز ذاتی سامانه در حد پایین بوده و علاوه بر این سامانه مذکور دارای سرعت نمونه‌برداری ۴۴/۱ کیلوهرتز می‌باشد که جهت اجتناب از پدیده الیاسینگ^۱ کفایت می‌نماید (Oppenheim *et al.*, 2014). نرم‌افزار Scope V1.32 که دارای قابلیت‌ها و ویژگی‌های مطلوبی برای انجام این پژوهش است، انتخاب و برای نمایش و ضبط سیگنال‌های صدا در حوزه زمان مورد استفاده قرار گرفت. از ویژگی‌های نرم‌افزار مذکور می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: نمایش سیگنال ضبط‌شده در حوزه زمان، ضبط هم‌زمان صدا از طریق دو میکروفن به‌طور مجزا، سادگی استفاده از نرم‌افزار در حین آزمون‌های میدانی و ذخیره سیگنال در حین آزمایش با قالب موج^۲ که در این صورت هیچ‌گونه فیلتری روی صدای

به همین منظور سرعت گوی پلاستیکی در زمان برخورد با سطح میوه برابر ۱/۴ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد که منطبق بر محدوده گزارش شده در سایر پژوهش‌ها بوده است (Wang *et al.*, 2004; Wang *et al.*, 2006). روی هر نمونه سیب یک ضربه زده شد و ضربه‌ها نیز روی قطر بزرگ میوه‌ها انجام گرفتند. داده‌برداری‌ها نیز در موقعیت ۱۸۰ درجه نسبت به محل اعمال ضربه انجام شدند.

در این پژوهش برای اندازه‌گیری فشار صدای حاصل از ضربه در حوزه زمان از یک میکروفن مترکم‌کننده از پیش قطبی‌شده مدل MP201 استفاده شد. از آنجاکه میکروفن‌های نوع یک در مقایسه با نوع دو از دقت بالاتری برخوردار هستند، بنابراین در انجام پژوهش‌ها از نوع یک استفاده می‌شود که در این پژوهش نیز میکروفن به‌کارگرفته شده از نوع یک بوده که با الزامات استاندارد IEC 61094 (IEC 61094, 2000) مطابقت دارد. میکروفونی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت دارای حساسیت ۵۰ میلی‌ولت بر پاسکال است. حساسیت زیاد میکروفن‌های اندازه‌گیری، امیدانس خروجی آنها را بسیار زیاد می‌کند. لذا نیازمند یک پیش‌تقویت‌کننده هستند تا امیدانس را برای ورود به مبدل آنالوگ به دیجیتال کاهش دهند. به همین منظور در این پژوهش از یک پیش‌تقویت‌کننده مدل MAP231 استفاده شد تا امیدانس را کاهش دهد.

¹ Aliasing

² Wave Format

محاسبه‌ها در مرحله طبقه‌بندی نیز کاهش می‌یابد. ویژگی‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: بیشینه، کمینه، میانگین، انحراف معیار، انرژی، کشیدگی^۱، چولگی^۲ و ممان سوم. در سایر پژوهش‌ها نیز این ویژگی‌ها برای پردازش صدا (محمودی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Ebrahimi et al., 2014) و پردازش تصویر (Rahimi et al., 2014; Choudhary et al., 2009) به منظور طبقه‌بندی فرآورده‌های غذایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

یکی از تکنیک‌هایی که برای بالا رفتن دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به‌کارگیری ویژگی‌های مؤثرتر در تعیین کلاس نمونه‌هاست. این عمل توسط نرم‌افزار IBM Modeller با عملگر «انتخاب ویژگی» صورت پذیرفت. عملگر مذکور بر پایه الگوریتم‌های آماری، ویژگی‌ها را با درجه اهمیت آنها در تعیین کلاس نمونه‌ها اولویت‌بندی می‌نماید. این عملگر ابتدا بر اساس آزمون F، ویژگی‌ها را با توجه به مقدار P آنها به صورت صعودی مرتب می‌نماید. در صورتی که برخی از ویژگی‌ها در یک رده قرار گیرند، با توجه به مقدار F، آنها به صورت نزولی مرتب می‌شوند. در این پژوهش، ابتدا ویژگی‌ها از نظر اهمیت در تعیین کلاس نمونه‌ها استخراج شدند. سپس توسط نرم‌افزار اولویت‌بندی شده و در آخر به ترتیب اولویت اثرگذاری در تعیین کلاس، به عنوان ورودی شبکه عصبی لحاظ شدند. این شیوه باعث بالا رفتن دقت بخصوص به ازای تعداد کمتر ورودی شبکه شده و توسط محققان دیگر نیز استفاده شده است (Feng et al., 2010).

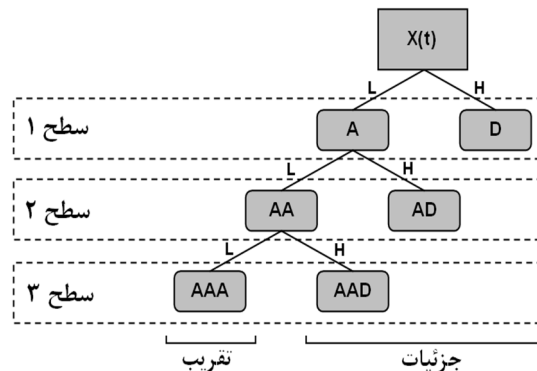
شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی یکی از روش‌های ساخت مدل طبقه‌بندی هستند که در آنها مدل یاد گرفته شده به صورت مجموعه‌ای از گره‌های متصل به هم به همراه ارتباطات وزن‌دار آنها نشان داده می‌شود. در طول مرحله آموزش، شبکه به تنظیم وزن‌های اتصالات می‌پردازد. به کمک شبکه‌های عصبی امکان مدل‌سازی یک تابع غیرخطی که بردار ورودی را به

مورد آزمون انجام نمی‌شود و بین سیگنال صدای ضبط‌شده با سیگنال منتشرشده از ضربه، اختلافی وجود نخواهد داشت.

تبدیل موجک گسسته

در اغلب سیگنال‌ها، بخشی که دارای فرکانس پایین است قسمت مهم سیگنال محسوب شده و قسمت دارای فرکانس بالا معمولاً نویز ایجادشده روی سیگنال بشمار می‌رود (Stark, 2005). با استفاده از تبدیل موجک گسسته، سیگنال به وسیله دو فیلتر دیجیتال تجزیه می‌شود. در سطح اول، سیگنال از دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر که به ترتیب مقادیر «جزئیات» و «تقریب» را ایجاد می‌کنند، عبور داده می‌شود. در سطح دوم، سیگنال تقریب مجدداً از دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر عبور داده شده و سیگنال‌های جزئیات و تقریب جدیدی حاصل می‌شوند. در این پژوهش، تبدیل موجک گسسته در محیط نرم‌افزار Matlab 2008a انجام پذیرفت. در شکل (۲) نتیجه تبدیل موجک گسسته با استفاده از موجک دابوچی چهار با سه سطح تجزیه آورده شده است.



شکل ۲ - تبدیل موجک گسسته در سه سطح

استخراج ویژگی‌ها

در این مرحله، پارامترهای مناسب معنی‌دار که ویژگی‌های سیگنال نامیده می‌شوند، استخراج می‌گردند. نتایج حاصل از این مرحله در فرایند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از برخی توابع آماری ویژگی‌ها محاسبه شده و در نتیجه، حجم مجموعه داده‌ها کاهش می‌یابد. به این ترتیب بار

¹ Kurtosis

² Skewness

ورودی‌های مختلف (ویژگی‌ها) یکسان بودند. این عمل در نرم‌افزار مورد استفاده قابل انجام بوده و از نقطه قوت‌های آن بشمار می‌رود. برای ارزیابی قابلیت تعمیم مدل از شاخص هماهنگ دقت و حساسیت (F_{β}) استفاده شد. رابطه (۱) در شاخص مذکور حساسیت و دقت مدل به صورت توأم اثرگذار هستند و مقدار آن در محدوده بین صفر و یک قرار دارد (Han et al., 2012).

رابطه (۱)

$$F_{\beta} = (1 + \beta^2) \times \frac{\text{Precision} \times \text{Sensitivity}}{(\beta^2 \times \text{Precision}) + \text{Sensitivity}}$$

F_{β} : شاخص میانگین هماهنگ دقت و حساسیت

β : ضریب وزنی

Sensitivity: حساسیت

Precision: دقت

برای افزایش قابلیت تعمیم مدل، ضریب وزنی (β) برابر ۲ در نظر گرفته شد. با این عدد وزن حساسیت مدل در رابطه (۱)، دو برابر دقت پیش‌بینی لحاظ شده است (Han et al., 2012).

نتایج و بحث

تغییرات بافت نمونه‌ها

میانگین سفتی بافت نمونه‌ها در زمان برداشت و تغییرات آن پس از ۲ ماه نگهداری در شرایط سردخانه‌ای اندازه‌گیری شد. میانگین سفتی بافت نمونه‌ها در زمان برداشت و پس از ۲ ماه نگهداری به ترتیب برابر ۴/۸ و ۳/۳ کیلوگرم به ثبت رسید. بنابراین سفتی بافت نسبت به زمان نگهداری روندی کاهشی دارد. طی ۲ ماه نگهداری، میانگین کاهش سفتی بافت برای سیب‌های رد دلشز ۳۱/۳ درصد به دست آمد.

نتایج حوزه فرکانس

نتایج حاصل از به‌کارگیری عملگر انتخاب ویژگی در حوزه فرکانس در جدول (۲) آورده شده است. به‌منظور کاهش بار محاسباتی مدل انتخابی، ویژگی‌هایی که مقدار P آنها از ۰/۶ کمتر بود از مجموعه خارج شده و سایر ویژگی‌ها برای مرحله بعد لحاظ شدند. بنابراین باتوجه به سطح تجزیه صورت

مقدار اسمی نگاشت می‌کند، وجود دارد. به همین دلیل، شبکه‌های عصبی به‌طور گسترده در طبقه‌بندی، درجه‌بندی و تشخیص محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jayas et al., 2000).

در بسیاری از مسائل علمی و پیچیده داده‌کاوی و شناسایی الگو، از شبکه عصبی پرسپترون برای جداسازی کلاس‌های مختلف بر مبنای الگوهای آموزشی استفاده می‌شود. در این موارد، معیار مناسب بودن طبقه‌بندی‌کننده عصبی، تجربی بوده و در صورتی که جواب خوبی به دست نیاید، سعی می‌شود با تغییر پارامترهای شبکه عصبی همچون تعداد نرون و لایه با استفاده از روش سعی و خطا، جواب مطلوب گرفته شود (معلم و منجمی، ۱۳۸۶). در این پژوهش از شبکه پرسپترون یک لایه و قانون یادگیری پس‌انتشار خطا برای طبقه‌بندی طیف نمونه‌ها استفاده شد.

در شبکه استفاده‌شده، تعداد نرون‌های خروجی برابر تعداد کلاس‌ها، تعداد نرون‌های لایه پنهان توسط نرم‌افزار با معیار کمترین خطای قابل دستیابی تعیین شده است. تعداد نرون‌های ورودی نیز به سطح تجزیه در تبدیل موجک و تعداد ویژگی‌های انتخاب‌شده که متعاقباً توضیح داده خواهد شد، بستگی دارد. ۷۵ درصد داده‌ها در آموزش مدل و ۱۰ درصد داده‌ها در تست مدل استفاده شده است. ۱۵ درصد باقی‌مانده نیز برای اعتبارسنجی، مورد استفاده قرار گرفته است. انتخاب داده‌ها در ۳ بخش آموزش، اعتبارسنجی و تست مدل در نرم‌افزار مورد استفاده تصادفی بوده و از کل محدوده داده‌هاست. در این پژوهش برای مدل‌سازی شبکه عصبی و تجزیه و تحلیل داده‌ها نرم‌افزار IBM Modeller مورد استفاده قرار گرفت.

ارزیابی شبکه‌های عصبی

طبق ویژگی عملکردی شبکه‌های عصبی، فرایند آموزش، تست و اعتبارسنجی به‌طور هم‌زمان صورت می‌گیرد و لذا عملکرد کلی شبکه در قالب ماتریس اغتشاش بیان می‌شود. در این پژوهش برای رسیدن به ارزیابی درست، مجموعه داده‌های مورد استفاده در فرایندهای آموزش (نمونه‌ها) و تست شبکه‌ها به ازای

نتیجه طبقه‌بندی داشتند. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز حاکی از اهمیت این دو ویژگی در پردازش صدا هستند (Ebrahimi & Mollazade, 2010). در این میان، کشیدگی طیف داده‌های فرکانسی در مقایسه با چولگی از اهمیت بیشتری برخوردار بود.

گرفته در تبدیل موجک، ویژگی‌ها به ترتیب اولویت در نظر گرفته شدند. همان‌گونه که در جدول (۲) مشهود است از هشت ویژگی استخراج شده تنها دو ویژگی کشیدگی و چولگی در حوزه فرکانس از اولویت برخوردار هستند و سایر ویژگی‌ها تأثیر اندکی در

جدول ۲ - نتایج مربوط به انتخاب ویژگی در حوزه فرکانس

سطح تجزیه	اولویت	نام ویژگی	مقدار P
۱	۱	کشیدگی D	۰/۸۷۱
	۲	چولگی A	۰/۶۱۱
۲	۱	کشیدگی AA	۰/۸۸۱
	۲	کشیدگی D	۰/۸۷۱
	۳	چولگی AA	۰/۷۹۲
	۴	چولگی AD	۰/۷۵۵
۳	۱	کشیدگی D	۰/۸۷۱
	۲	چولگی AD	۰/۷۵۵
	۳	چولگی AAD	۰/۷۱۵

سطح یک ۶۱/۵ درصد و شاخص میانگین همساز حساسیت و دقت (F_{β}) نیز ۰/۵۹ به دست آمده است. باتوجه به نتایج ارزیابی، عملکرد ضعیف شبکه عصبی با استفاده از ویژگی‌های آماری در حوزه فرکانس مشهود است.

جدول (۳) نتایج حاصل از عملکرد طبقه‌بندی با شبکه‌های عصبی با ساختار بهینه در حوزه فرکانس را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود بهترین نتیجه عملکرد در حوزه فرکانس با استفاده از سطح تجزیه ۱ به دست آمده است. میانگین صحت طبقه‌بندی شبکه مورد استفاده با تبدیل موجک در

جدول ۳ - نتایج مربوط به شبکه عصبی با ساختار بهینه در حوزه فرکانس

سطح تجزیه	ساختار بهینه	صحت (%)	دقت (%)	حساسیت (%)	F_{β}
۱	۲-۴-۲	۶۱/۵	۶۸/۵	۶۱/۵	۰/۵۹
۲	۴-۲-۲	۵۱/۳	۷۵/۳	۵۱/۴	۰/۴۳
۳	۳-۱-۲	۵۹/۰	۶۰/۳	۵۹/۰	۰/۵۸

کشیدگی و چولگی از ۸ ویژگی استخراج شده از اولویت برخوردار هستند. با این تفاوت که در حوزه زمان، چولگی طیف داده‌ها در مقایسه با کشیدگی از اهمیت بسیار کمتری برخوردار است. نکته حائز اهمیت در نتایج مربوط به انتخاب ویژگی در حوزه زمان، مقادیر بالای P است که به هریک از ویژگی‌ها اختصاص یافته است. در میان ویژگی‌ها، کشیدگی D در هر سه سطح تجزیه، بیشترین مقدار P را به خود اختصاص داده و در رأس اولویت‌بندی‌ها جای گرفته است.

نتایج حوزه زمان

نتایج حاصل از به‌کارگیری عملگر انتخاب ویژگی در حوزه زمان نیز در جدول (۴) آورده شده است. در این مرحله باتوجه به تعداد زیاد ویژگی‌هایی که مقدار P آنها بالا بود، حد قابل قبول برای پذیرش ویژگی‌ها برابر ۰/۷ در نظر گرفته شد. بنابراین ویژگی‌هایی که مقدار P آنها از ۰/۷ کمتر بود از مجموعه خارج شده و سایر ویژگی‌های اولویت‌بندی شده برای مرحله بعد لحاظ شدند.

با نگاهی به جدول (۴) می‌توان دریافت که در حوزه زمان نیز همچون حوزه فرکانس تنها دو ویژگی

جدول ۴ - نتایج مربوط به انتخاب ویژگی در حوزه زمان

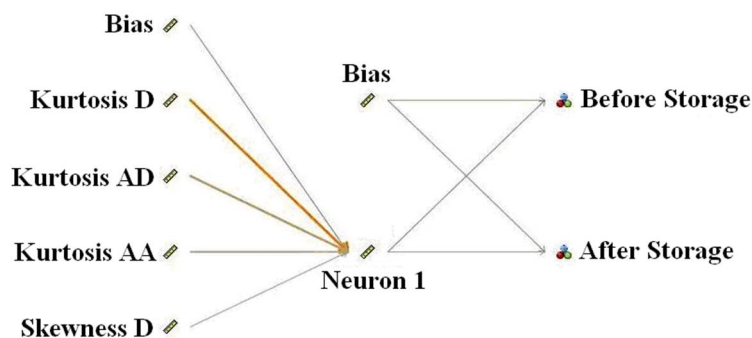
سطح تجزیه	اولویت	نام ویژگی	مقدار P
۱	۱	کشیدگی D	۰/۹۹۹
	۲	کشیدگی A	۰/۹۹۴
	۳	چولگی D	۰/۷۳۷
۲	۱	کشیدگی D	۰/۹۹۹
	۲	کشیدگی AD	۰/۹۹۸
	۳	کشیدگی AA	۰/۹۹۵
۳	۴	چولگی D	۰/۷۳۷
	۱	کشیدگی D	۰/۹۹۹
	۲	کشیدگی AD	۰/۹۹۸
	۳	کشیدگی AAA	۰/۹۹۵
	۴	کشیدگی AAD	۰/۹۷۸

در جدول (۵) ساختار بهینه شبکه عصبی مربوط به هر یک از سطوح تجزیه و نتایج حاصل از آنها آورده شده است. میانگین صحت طبقه‌بندی شبکه مورد استفاده در حوزه زمان با استفاده از تبدیل موجک در سطح تجزیه دو ۸۲/۱ درصد و شاخص F_{β} نیز ۰/۸۱ به دست آمده است. ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در حوزه زمان با دو سطح تجزیه که بهترین عملکرد را به همراه داشت، در شکل (۳) نشان داده شده است.

در جدول (۵) نتایج مربوط به ساختار بهینه در حوزه زمان

جدول ۵ - نتایج مربوط به شبکه عصبی با ساختار بهینه در حوزه زمان

سطح تجزیه	ساختار بهینه	صحت (%)	دقت (%)	حساسیت (%)	F_{β}
۱	۳-۲-۲	۶۷/۹	۶۸/۱	۶۷/۹	۰/۶۸
۲	۴-۱-۲	۸۲/۱	۸۶/۸	۸۲/۱	۰/۸۱
۳	۴-۱-۲	۸۰/۸	۸۴/۷	۷۹/۴	۰/۸۰



شکل ۳ - ساختار شبکه عصبی مورد استفاده در حوزه زمان (سطح تجزیه دو)

ماتریس اغتشاش، دقت الگوریتم‌های طبقه‌بندی را نمایش می‌دهد. خلاصه عملکرد طبقه‌بندی با شبکه‌های عصبی در قالب این ماتریس ارائه می‌شود (Hagan et al., 1996). در شکل (۴) ماتریس اغتشاش

عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده به ازای پیش‌پردازش هنجارسازی در طبقه‌بندی طیف نمونه‌ها برای سطح تجزیه دو مشاهده می‌شود.

		پیش‌بینی شده	
		مثبت	منفی
واقعی	مثبت	۳۹	۰
	منفی	۱۴	۲۵

شکل ۴ - ماتریس اغتشاش در حوزه زمان (سطح تجزیه دو)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش استفاده از پاسخ آکوستیک و شبکه عصبی مصنوعی به منظور طبقه‌بندی سیب ردلیشمن بر اساس زمان نگهداری مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به اینکه ویژگی‌های کشیدگی و چولگی از اهمیت به‌سزایی در دو حوزه زمان و فرکانس برخوردار هستند، شبکه‌های عصبی با این ویژگی‌ها آموزش داده شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج مقایسه بین شبکه‌ها نشان داد که شبکه مصنوعی با ساختار ۲-۱-۴ در حوزه زمان از عملکرد بهتری برخوردار است.

میانگین صحت طبقه‌بندی برای شبکه مذکور ۸۲/۱ درصد و شاخص $F\beta$ نیز ۰/۸۱ به‌دست آمد. بنابراین از نتایج این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که شبکه‌های عصبی مصنوعی و تبدیل موجک توانایی بالقوه قابل‌قبولی برای طبقه‌بندی پاسخ آکوستیکی دارند. استفاده از سایر ویژگی‌ها، روش‌های دیگر انتخاب ویژگی، تبدیل موجک در سطوح بیشتر و به‌کارگیری سایر مدل‌های طبقه‌بندی، موضوعاتی هستند که در ادامه پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شوند.

منابع

- خوشنام، ف.، مبلی، ح.، حسن‌بیگی بیدگلی، ر.، رفیعی، ش.، رجبی‌پور، ع. و ایوانی، الف. ۱۳۹۱. تشخیص رسیدگی خربزه با روش غیرمخرب پاسخ آکوستیکی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۳(۳): ۸۹-۱۰۲.
- سعادت‌نیا، م.، عمادی، ب. و صدرنیا، ح. ۱۳۸۹. تعیین رسیدگی میوه هندوانه مبتنی بر روش‌های آکوستیکی. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی، ۲۰-۱۸ اسفند ماه، موسسه عالی سیمای دانش، اهواز.
- عیسی‌زاده، ت.، حاجی‌آقاعلیزاده، ح.، احمدی، الف. و امیری چایجان، ر. ۱۳۹۱. پیش‌بینی سفتی میوه سیب در طول دوره انبارداری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون، ۱۶-۱۴ شهریور ماه، دانشگاه شیراز.
- محمودی، الف.، جعفری، م.، رحمانیان، ن.، اکبریان میمند، م.ج. و وطن‌خواه، م. ۱۳۹۳. استفاده از فناوری انعکاس و پردازش صدا و شبکه عصبی مصنوعی در جداسازی فندق با اندازه مختلف. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی، ۳(۴): ۲۹۷-۳۰۶.
- معلم، پ. و منجمی، الف.ح. ۱۳۸۶. معیاری تجربی برای تشخیص مناسب بودن استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه جهت طبقه‌بندی الگوها. مجموعه مقالات اولین کنفرانس داده‌کاوی ایران، ۳۰-۲۹ آبان ماه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- Choudhary, R., Mahesh, S., Paliwal, J., & Jayas, D.S. 2009. Identification of wheat classes using wavelet features from near infrared hyperspectral images of bulk samples. Biosystems Engineering, 102 (2):115-127.
- Costa, F., Cappellin, L., Longhi, S., Guerra, W., Magnago, P., Porro, D., Soukoulis, C., Salvi, S., Velasco, R., Biasioli, F., & Gasperi, F. 2011. Assessment of apple (*Malus domestica* Borkh.) fruit

- texture by a combined acoustic-mechanical profiling strategy. *Postharvest biology and technology*, 61(1):21-28.
- 8- De Belie, N., Schotte, S., Lammertyn, J., Nicolai, B., & De Baerdemaeker, J. 2000. Firmness changes of pear fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2):183-191.
 - 9- De Ketelaere, B., Howarth, M.S., Crezee, L., Lammertyn, J., Viaene, K., Bulens, I., & De Baerdemaeker, J. 2006. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. *Postharvest Biology and Technology*, 41(3):275-284.
 - 10- Diezma-Iglesias, B., Valero, C., García-Ramos, F.J., & Ruiz-Altisent, M. 2006. Monitoring of firmness evolution of peaches during storage by combining acoustic and impact methods. *Journal of Food Engineering*, 77(4):926-935.
 - 11- Ebrahimi, E., & Mollazade, K. 2010. Integrating fuzzy data mining and impulse acoustic techniques for almond nuts sorting. *Australian Journal of Crop Science*, 4(5):353-358.
 - 12- Ebrahimi, E., Astan, N., Mousavi, F., & Heydari, M. 2014. ANFIS-aided grading of almonds by using sound signals. *Advances in Environmental Biology*, 8(4):1046-1053
 - 13- Feng, S., Chen, R., Lin, J., Pan, J., Chen, G., Li, Y., Cheng, M., Huang, Z., Chen, J., & Zeng, H. 2010. Nasopharyngeal cancer detection based on blood plasma surface-enhanced Raman spectroscopy and multivariate analysis. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(11):2414-2419.
 - 14- Galili, N., & De Baerdemaeker, J. 1996. Performance of acoustic test methods for quality evolution of agricultural products. *Proceeding of the ISMA Conference*, 18-20 September, 1996. Leuven, Belgium.
 - 15- Han, J., Kamber, M., & Pei, J. 2012. *Data mining: concepts and techniques*. Third edition. Morgan kaufmann Publishers. (An imprint of Elsevier.)
 - 16- Hagan, M.T., Demuth, H.B., & Beale, M.H. 1996. *Neural network design*, Pws Pub. Boston.
 - 17- Hernández Gómez, A., Garcia Pereira, A., Wang, J., & Yong, H. 2005. Acoustic testing for peach fruit ripeness evaluation during peach storage stage. *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 14(2):28- 34.
 - 18- Hernández Gómez, A., Garcia Pereira, A., & Wang, J. 2006. Acoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage. *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 15(4):24-30.
 - 19- IEC 61094. 2000. *Electroacoustics - Measurement microphones*.
 - 20- Jagannath, J.H., Das Gupta, D.K., Bawa, A.S., Sebastin, R., & Vishnu, B. 2005. Assessment of ripeness/damage in banana (*Musa paradisiacal*) by acoustic resonance spectroscopy. *Journal of food quality*, 28(3):267-278.
 - 21- Jayas, D.S., Paliwal, J., & Visen, N.S. 2000. Multi-layer neural networks for image analysis of agricultural products. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 77(2):119-128.
 - 22- Khalifahamzheghasem, S., Komarizadeh, M.H., & Askari, M. 2012. Recognition of Fill Walnuts and Empty Walnuts Using Acoustic Signal Processing. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3):1-6.
 - 23- Lu, Q., Wang, J., Hernández Gómez, A., & Garcia Pereira, A. 2009. Evaluation of tomato quality during storage by acoustic impulse response. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33(s1):356-370.
 - 24- Madieta, E., L'Huillier, J.P., & Jourjon, F. 2004. Apple quality assessment: relationship between optical properties, mechanical measurements and acoustic measurements. *Proceeding of the 5th International Postharvest Symposium*, 6-11 June, 2004. Verona, Italy.
 - 25- Oppenheim, A.V., Willsky, A.S., & Nawab, S.H. 1997. *Signals and systems*. Pearson.

- 26-Pathaveerat, S., Terdwongworakul, A., & Phaungsombut, A. 2008. Multivariate data analysis for classification of pineapple maturity. *Journal of Food Engineering*, 89(2):112-118.
- 27-Petrisor, C., Lucian-Radu, G., Balan, V., & Campeanu, G. 2010. Rapid and non-destructive analytical techniques for measurement of apricot quality. *Romanian Biotechnological Letters*, 15(2):5213-5216.
- 28-Rahimi, A., Banakar, A., Zareiforoush, H., Beygvand, M., & Montazeri, M. 2014. Classification of jujube fruits using different data mining methods. *Researcher*, 6(5):52-61.
- 29-Singh, C.B., Choudhary, R., Jayas, D.S., & Paliwal, J. 2010. Wavelet analysis of signals in agriculture and food quality inspection. *Food Bioprocess Technology*, 3(1):2-12.
- 30-Stark, H.G. 2005. *Wavelets and signal processing: an application-based introduction*. Springer Science & Business Media.
- 31-Tiplica, T., Vandewalle, P., Verron, S., Gremy-Gros, C. & Mehinagic, E. 2010. Identification of apple varieties using acoustic measurements. *Proceeding of the 3rd International metrology conference CAFMET*, 18-23 April. 2010. Cairo, Egypt.
- 32-Valente, M., Leardi, R., Self, G., Luciano, G., & Pain, J. P. 2009. Multivariate calibration of mango firmness using visible/NIR spectroscopy and acoustic impulse method. *Journal of Food Engineering*, 94(1):7-13.
- 33-Wang, J., Teng, B., & Yu, Y. 2004. Pear dynamic characteristics and firmness detection. *European Food Research and Technology*, 218(3):289-294.
- 34-Wang, J., Hernández Gómez, A., & Garcia Pereira, A. 2006. Acoustic impulse response for measuring the firmness of mandarin during storage. *Journal of Food Quality*, 29(4):392-404.

Red Delicious Apple Classification Based on Acoustic Response Changes during Storage Using Discrete Wavelet Transform and Artificial Neural Networks

Majid Lashgari^{1*}, Reza Mohammadigol¹

1- Assistant Professor, Biosystems Engineering, Arak University, Arak, Iran

* Corresponding author (m-lashgari@araku.ac.ir)

Abstract

Nowadays, new systems that are able to measure the characteristics of the quality of food products for nondestructive testing and can be installed on the grading lines are very important. Analysis of the acoustic response is a non-destructive method for measuring fruit quality characteristics. Therefore, the potential of acoustic impulse response for non-destructive classification of Red Delicious apple was examined. In this study, sound signals in both time and frequency domains were analyzed using wavelet transform. Signals are decomposed into three levels using Daubechies 4. Eight statistical features were selected: maximum, minimum, mean, standard deviation, energy, kurtosis, skewness and third moment. Apples are classified according to changes in the acoustic response during storage time using multilayer perceptron neural network algorithm. According to results, classification performance of artificial network with 4-1-2 topology in time domain is better than the other networks. The classification accuracy and harmonic mean of precision and sensitivity for this topology were 82.1% and 0.81, respectively.

Keywords: Acoustic response, Neural network, Red Delicious apple, Storage time, Wavelet transformation