سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی برخط ارقام بادام

علی رشادصدقی[۱،*]، اصغر محمودی[۲]

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. E-mail: a.reshadsedghi@areeo.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. Email: a_mahmoudi@tabrizu.ac.ir

چکیده

در راستای ارتقاء کیفیت محصولات صادراتی کشور، نمونه آزمایشگاهی سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی دقیق و خودکار بادام با پوسته، طراحی و ساخته شد. این سامانه از واحدهای تغذیه ارتعاشی، تشخیص آکوستیک، جداکننده نیوماتیکی محصول و سامانه کنترل‌کننده الکترونیکی تشکیل‌شده است. در ارزیابی سامانه مزبور برای تشخیص و طبقه‌بندی ارقام بادام در سه کلاس سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی، سیگنال صوتی حاصل از برخورد هسته‌های بادام با یک صفحه فولادی، توسط میکروفون دریافت و ویژگی‌هایی نظیر دامنه، فاز و چگالی طیف توان پس از پردازش سیگنال‌ها در حوزه زمان و با تبدیل فوریه سریع (FFT) در حوزه فرکانس استخراج گردید. در کلیه آزمایش‌ها، از شبکه‌های عصبی نوع پرسپترون چند لایه (MLP) با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع یادگیری LM استفاده گردید. در طبقه‌بندی ارقام بادام به وسیله شبکه عصبی مصنوعی به حالت برون‌خط، میانگین دقت طبقه‌بندی با داده‌های اعتبارسنجی ۹۶/۲ درصد بود که این میزان دقت در طبقه‌بندی برخط، به حدود ۸۸ درصد کاهش یافت. علت احتمالی تنزل دقت در طبقه‌بندی، تأثیر پراکندگی اندازه و یا به عبارتی اختلاف جرم بین نمونه‌های بادام در هریک از کلاس‌های سنگی و نیمه‌کاغذی بوده است.

کلمات کلیدی: *آکوستیک، بادام، درجه‌بندی غیر مخرب، سامانه برخط، شبکه عصبی مصنوعی.*

* نویسنده مسئول: a.reshadsedghi@areeo.ac.ir

سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی برخط ارقام بادام

مقدمه

ازجمله مشکلات ایران درزمینه صادرات محصولات کشاورزی، عدم بسته‌بندی مطلوب، درجه‌بندی نامناسب و عدم رعایت استاندارد کیفی محصولات کشاورزی صادراتی و همچنین عدم تطابق کالاها با سلیقه‌های مصرف‌کنندگان خارجی است. درنتیجه ارزش افزوده حاصل از خدمات بازاریابی نصیب کشورهای واردکننده از ایران می‌گردد [۲]. بر طبق آمار فائو در سال ۲۰۱۷، ایران با تولید حدود ۱۱۲۰۰۰ تن بادام چهارمین تولیدکننده این محصول در جهان است. بااین‌حال به دلیل درجه‌بندی نامناسب و عدم رعایت استاندارد کیفی، سهم ایران از صادرات مغز بادام ۰/۵۸ درصد و بادام با پوست فقط ۰/۰۵ درصد است [۸].

آزمون‌های آکوستیک شامل آزمون‌های صوتی و فرا صوتی، از فنون جدید درزمینه تعیین ویژگی‌های محصولات کشاورزی می‌باشند. توسعه آزمون‌های آکوستیک در صنعت کشاورزی آن‌قدر فراگیر شده که به تمامی شاخه‌های کشاورزی از قبیل ماشین‌های کشاورزی، صنایع غذایی، علوم زراعی و باغی، خاک‌شناسی و علوم دامی به‌نوعی واردشده است(معلمی اوره و مینایی، ۱۳۸۹). یکی از روش‌های آزمون آکوستیک، روش میکروفون مبنا است که در آن از میکروفون برای دریافت پاسخ آکوستیک استفاده می‌شود و به دلیل نداشتن تماس بین حسگر و محصول، سریع عمل کرده و بسیاری از پژوهشگران ازجمله پیرسون، چتین و همکاران [۵، ۶، ۱۳] برای تشخیص پسته‌های خندان از غیر خندان، اوناران و همکاران [۱۰، ۱۱] برای تشخیص فندق‌های توخالی و مغز نارس از فندق‌های توپر، کالکان و یاردیمجی [۹] برای جداسازی فندق‌های ترک‌دار و آسیب‌دیده از فندق سالم، از این روش استفاده کردند. محمودی [۳] با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی مصنوعی، یک سامانه جداسازی زمان واقعی[1] پسته‌های خندان از ناخندان را طراحی نمود و با تعیین مدل بهینه شبکه عصبی، جداسازی پسته‌های خندان، ناخندان و نیمه خندان به ترتیب با دقت ۹۷/۳، ۹۶/۷ و ۹۳/۱ درصد انجام گرفت. ایوانی [۱] در پژوهش خود روش نوینی با نام سطح مارپیچ چند ضربی دوجنسی برای تحریک آکوستیک گردو و شناسایی و تشخیص ویژگی‌های فیزیکی این محصول ابداع نمود. ابراهیمی و ملازاده [۷] با استفاده از سیگنال‌های صوتی حاصل از ضربه، انتخاب ویژگی‌ها و قواعد حاصل از یک درخت تصمیم و سیستم استنتاج فازی، روشی بر پایه الگوریتم، جهت جداسازی چهار رقم بادام ارائه کردند. دقت موتور استنتاج فازی برای طبقه‌بندی واریته های بادام ۸۴/۱۶ درصد گزارش گردید. رشادصدقی و همکاران [۱۴] با تلفیق سامانه آکوستیک و شبکه عصبی مصنوعی، قادر به تشخیص غیر مخرب بادام مغز چروکیده و پوک از بادام سالم و توپر با دقت طبقه‌بندی بیش از ۹۵ درصد با داده‌های اعتبارسنجی گردیدند. در این تحقیق، امکان تفکیک ارقام مختلف بادام با استفاده از یک سامانه هوشمند بر اساس ترکیب روش ضربه-صوتی و طبقه‌بندی با شبکه عصبی مصنوعی به صورت زمان واقعی، موردبررسی قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های بادام موردمطالعه شامل سه رقم بادام سهند، آذر و منقای اصفهان به ترتیب در سه کلاس سنگی (Hard)، نیمه‌کاغذی (Semi-soft) و کاغذی (Soft) بودند که از ایستگاه تحقیقات باغبانی سهند تهیه گردیدند (شکل ۱).

1- Real time

رقم کاغذی منقای اصفهان رقم نیمه‌کاغذی آذر رقم سنگی سهند

شکل ۱- ارقام بادام موردمطالعه در پژوهش در سه کلاس سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی

سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی برخط بادام

این سامانه بر مبنای روش تک‌ضربی پیرسون برای تولید صدای بادام در اثر برخورد به یک سطح فلزی و استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی برای تشخیص و طبقه‌بندی محصول بر اساس ویژگی‌های استخراج‌شده از سیگنال صوتی آن‌ها عمل می‌کند. قبل از طراحی سامانه و اجرای آزمایش‌ها، خواص فیزیکی ارقام مختلف بادام ازجمله ابعاد هندسی، جرم، چگالی، نیروی حد گسیختگی پوسته بادام و ضریب اصطکاک لغزشی با سطوح فلزی مختلف اندازه‌گیری شد. به‌طورکلی سامانه درجه‌بندی هوشمند طراحی‌شده، از دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به شرح زیر تشکیل‌شده است:

بخش سخت‌افزاری سامانه درجه بند

بخش سخت‌افزاری خود به سه واحد اساسی تغذیه، آکوستیک و جداکننده برخط[1]، قابل تفکیک است (شکل ۲).

طراحی و ساخت سامانه تغذیه

در سامانه‌های درجه‌بندی ماشین بینایی و آکوستیکی، ازآنجاکه سیگنال‌های دریافتی از دانه‌ها باید به صورت تک به تک مورد آنالیز و پردازش قرار بگیرند، سامانه تغذیه بایستی قابلیت انتقال نمونه‌ها به صورت تکی به واحد دریافت و پردازش سیگنال را داشته باشد. با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی بادام، سادگی مکانیزم و امکان به‌کارگیری آن برای محصولاتی با ویژگی‌های مشابه، اقدام به طراحی و ساخت یک دستگاه تک‌دانه کن ارتعاشی گردید. اجزای تشکیل‌دهنده این سامانه عبارت‌اند از: شاسی، صفحه ارتعاشی، مکانیزم انتقال و تک‌دانه کن، موتور ارتعاشی (ویبراتور)، اینورتر[2] و سطح شیب‌دار.

مکانیزم انتقال و تک‌دانه کن شامل یک سینی از جنس استیل با مقطع V شکل است که عرض و ارتفاع مقطع آن از انتهای عقبی (محل پر شدن از دانه) تا انتهای جلویی آن (محل تخلیه دانه‌ها)، به تدریج کاهش می‌یابد بدین ترتیب که عرض آن در محل تخلیه به‌اندازه بزرگ‌ترین قطر میانی نمونه‌های بادام (حدود ۲۰ میلی‌متر) در نظر گرفته‌شده است. این سینی به عنوان کانالی برای انتقال مواد دانه‌ای از محل پر شدن تا محل تخلیه است که گام‌های حرکت نوسانی، شیار V شکل وسط کانال و زاویه شیب مناسب سینی نسبت به افق، به حرکت روبه‌جلو مواد و تک‌دانه شدن مواد دانه‌ای در محل تخلیه کمک می‌کند. هنگام انتقال بادام توسط سامانه ارتعاشی، همیشه هسته‌های بادام بر روی یکی از دو پهلوی پهن خود قرار می‌گیرند زیرا این جهت‌گیری، بادام را در موقعیتی با پایین‌ترین مرکز ثقل قرار می‌دهد [۱۲].

1- On-line
2- Inverter

شکل ۲- تصویر مجموعه سامانه درجه بند برخط

سامانه صوتی (آکوستیک)

قطعات تشکیل‌دهنده این سامانه شامل صفحه برخورد (صفحه صدا ساز)، میکروفون، محفظه آکوستیک، سیم رابط، کارت صوتی و کامپیوتر شخصی می‌باشد.. وظیفه میکروفون، حس و انتقال سیگنال صوتی حاصل از برخورد هسته‌های بادام به سطح فولادی، به قسمت پردازش اولیه بود. برای جلوگیری از تأثیرگذاری نویز ناشی از سروصدای عوامل خارجی، یک محفظه آکوستیکی ایزوله مناسب برای قرارگیری میکروفون طراحی و ساخته شد. امواج صدا پس از این‌که از طریق میکروفون به کارت صدا منتقل شدند، در آنجا به یک سری پالس‌های دیجیتال تبدیل‌شده و در یک فایل ذخیره می‌شوند. کارت صدا عمل نمونه‌برداری از داده‌های صوتی را به صورت ۱۶ بیتی و با فرکانس کاری ۴۴/۱ کیلوهرتز انجام می‌دهد.

سامانه جداکننده برخط

بعد از تشخیص نوع نمونه‌های بادام، لازم بود که از طریق یک سامانه جداکننده برخط، هر نمونه به مسیر از قبل تعیین‌شده خود هدایت‌شده و بدین ترتیب عمل تفکیک نمونه‌های بادام بر اساس هدف اولیه انجام گیرد. سامانه جداکننده برخط از یک واحد جداکننده و یک مدار واسط[1] (کنترل‌کننده) تشکیل می‌شد. در واحد جداکننده نیوماتیک به تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی بادام، شیر کنترل جهت و نازل هوا در خروجی سامانه نیوماتیک نصب گردید. با برخورد هریک از هسته‌های بادام به صفحه فولادی و تشخیص صدای آن توسط برنامه کامپیوتری، فرمانی از طرف کامپیوتر به واحد کنترل (مدار واسط) ارسال می‌گردید. واحد کنترل نیز با دریافت فرمان، رله الکتریکی مربوط به کلاس بادام را فعال نموده و شیر کنترل جهت سلونوئیدی مربوطه را بکار می‌انداخت تا جریان هوا از طریق نازل، بادام را در مسیر تعیین‌شده هدایت کرده و در ظرفی جداگانه ذخیره کند.

واحد کنترل (مدار واسط)

واحد کنترل از یک مدار الکترونیکی شامل میکرو کنترل‌کننده[2] AVR مدل ATmega8، تعدادی ترانزیستور mosfet (به تعداد تقسیمات طبقه‌بندی محصول) برای انتقال و تعویض خط ارتباطی سیگنال‌های الکتریکی[3] و کار اندازی شیرهای سلونوئیدی، پورت سریال برای اتصال به کامپیوتر، یک فرستنده و گیرنده نوری مادون‌قرمز نصب‌شده در انتهای لوله سقوط (سطح شیب‌دار) و قطعات دیگر الکترونیکی تشکیل‌شده است. بر اساس آنچه قبلاً ذکر شد، میکروفون، اطلاعات صوتی را از طریق کارت صوتی، به‌طور دائم به کامپیوتر منتقل می‌کند. برای این‌که این اطلاعات صرفاً مربوط به صدای برخورد بادام با صفحه فولادی باشد و صدای برخورد بادام با قطعات دیگر به کامپیوتر منتقل نشده و مورد پردازش قرار نگیرند، یک

1. Interface
1. Microcontroller
2. Switching

فرستنده و حسگر[1] گیرنده نوری مادون‌قرمز در قسمت انتهایی لوله سقوط بادام نصب گردید تا طبق برنامه داده‌شده به سیستم کنترل‌کننده، به ازای عبور هر بادام از انتهای لوله و تشخیص آن توسط حسگر نوری نصب‌شده، فقط یک سیگنال صوتی حاصل از برخورد بادام با صفحه فولادی به کارت صوتی کامپیوتر منتقل شود و برای دریافت سیگنال صوتی بعدی، ابتدا باید فرمان دریافت سیگنال توسط حسگر نوری به کامپیوتر داده شود. این مدار به عنوان واسط بین کامپیوتر و سیستم جداکننده آنلاین، دستورات لازم را از خروجی کامپیوتر گرفته و پیرو آن سیگنال‌های الکتریکی را از طریق ترانزیستورهای به شیر سلونوئیدی انتقال می‌دهد تا مجرای جریان هوای فشرده را برای جدا کردن بادام از مسیر، باز و بسته کند.

بخش نرم‌افزاری سامانه درجه بند

کار بخش نرم‌افزاری سامانه به ترتیب پردازش سیگنال (شامل عملیات تبدیل آنالوگ به دیجیتال، فیلتر کردن و نرمال کردن)، استخراج ویژگی‌های سیگنال صوتی، اعمال ویژگی‌های سیگنال به سامانه طبقه بند به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی و آموزش و ارزیابی شبکه بر مبنای تطابق و هم سنجی بین ورودی و هدف تشخیص یعنی نوع کلاس بادام (سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی)، می‌باشد.

آزمایش‌های برون‌خط برای شناسایی و طبقه‌بندی نمونه‌های بادام

سه رقم بادام سنگی سهند، نیمه‌کاغذی آذر و کاغذی منقای اصفهان (شکل ۱) و از هر کدام به تعداد ۱۰۰۰ عدد با اندازه‌های مختلف و به‌طور تصادفی انتخاب گردیدند. نمونه‌های هر رقم به‌طور مجزا و به صورت تکی و دستی به سطح شیب‌دار واحد تغذیه سامانه داده‌شده و پس از برخورد به صفحه فولادی، سیگنال‌های صوتی دریافت شده توسط میکروفون در دامنه [۱ ۱-] ولت، برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی در کامپیوتر ذخیره شدند.

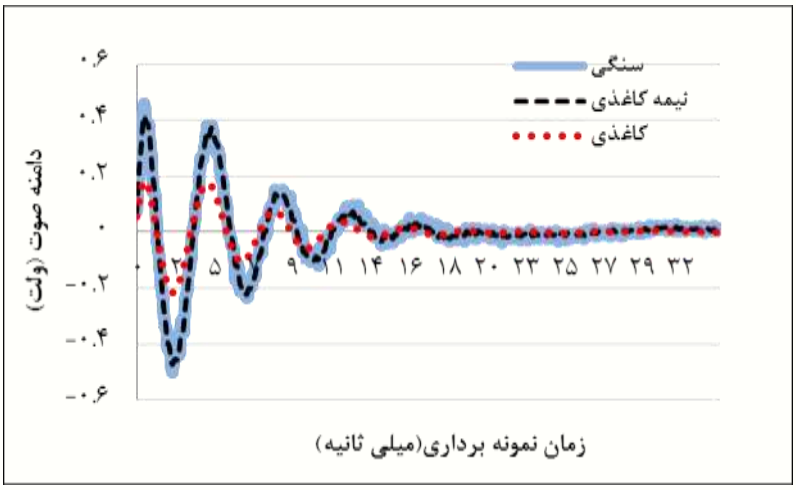
در برنامه جمع‌آوری داده‌ها توسط نرم‌افزار MATLAB 2012a، کارت صوتی کامپیوتر با فرکانس نمونه‌برداری[2] ۴۴۱۰۰ هرتز و رزولوشن ۱۶ بیتی به عنوان ورودی آنالوگ و در حالت On trigger تعریف شد و مقدار ولتاژ محرک[3] برای فعال شدن برنامه‌های مربوط به نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌ها، شیب سیگنال و نام برنامه به عنوان پارامترهای لازم به آن داده شد. با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و به کمک تبدیل فوریه سریع[4] (FFT)، ویژگی‌های چگالی طیف توان، دامنه و فاز[5] سیگنال در حوزه فرکانس محاسبه شدند. به علت حجم بالای متغیرهای موردنظر، از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش ویژگی‌ها استفاده شد. شبکه عصبی مورداستفاده در این تحقیق از نوع پرسپترون چند لایه (MLP) با روش یادگیری پس انتشار خطا بود که الگوریتم LM، در فرایند آموزش شبکه به‌کارگرفته شد. به منظور جلوگیری از بیش برازش، از تکنیک توقف زودرس استفاده گردید. بهترین ترکیب انتخابی با در نظر گرفتن حداقل تعداد ویژگی‌ها که منجر به کمترین مقدار MSE شود، انتخاب گردید.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های برون‌خط برای شناسایی و طبقه‌بندی هسته‌های بادام

شکل ۳، منحنی میانگین تغییرات دامنه صوت سه رقم بادام از سه کلاس مختلف را در حوزه زمان نشان می‌دهد. از نظر شکل منحنی، هر سه طیف سیگنال مشابه هم می‌باشند. خصوصاً طیف بادام سنگی و نیمه‌کاغذی احتمالاً به دلیل نزدیکی

3. Sensor
1. Sampling frequency
2. Trigger Level
3. Fast Fourier Transformation
4. Phase

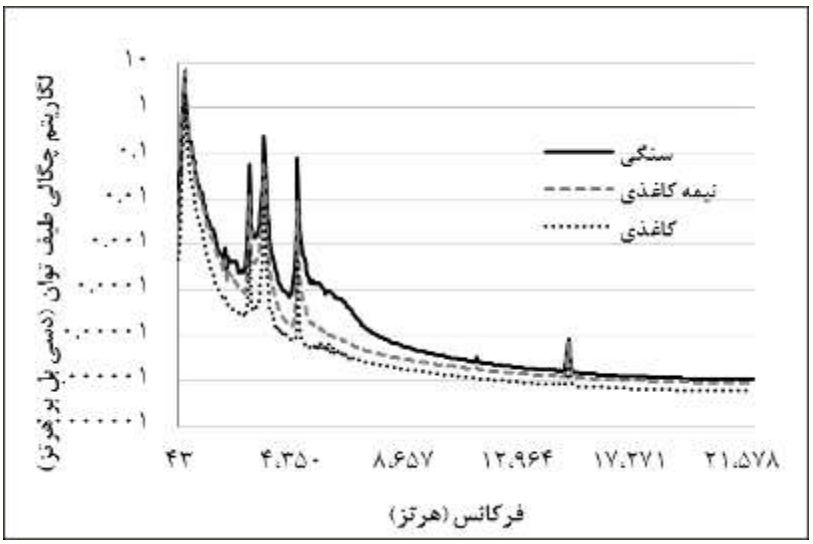


آن‌ها از نظر مقدار جرم و سختی پوسته به یکدیگر، کاملاً بر هم منطبق بوده ولی طیف بادام کاغذی با داشتن پوست نازک و جرم کم‌تر، دامنه کوتاه‌تری داشته و بعد از حدود ۵ میلی‌ثانیه، نسبت به دو رقم دیگر تأخیر فاز نشان داده است. در حوزه فرکانس بر مبنای تبدیل فوریه سریع، سه ویژگی چگالی طیف توان، اندازه دامنه و فاز سیگنال با ۱۰۲۴ نمونه محاسبه گردید.

شکل ۴، منحنی چگالی طیف توان سیگنال به صورت لگاریتمی نشان می‌دهد. طبق شکل ۴، ویژگی‌های مختلف سیگنال در حوزه فرکانس از نظر شکل تغییرات در هر سه کلاس بادام مشابه یکدیگرند و اختلاف آن‌ها بیش‌تر مربوط به شدت یا اندازه آن‌ها در نقاط مختلفی از طول بردار است. منحنی رقم‌های سنگی، نیمه کاغذی و کاغذی به حسب داشتن جرم و سختی بیش‌تر پوسته، به ترتیب در قسمت بالاتری نسبت به همدیگر قرارگرفته‌اند و از طرفی در تغییرات اولیه منحنی چگالی طیف توان، بادام کاغذی و نیمه‌کاغذی نسبت به رقم سنگی به ترتیب تمایل بیش‌تری به سمت فرکانس‌های پایین‌تر داشته‌اند. برای طبقه‌بندی سه رقم بادام سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی، شبکه عصبی با ساختار مجموع چهار مؤلفه اصلی چگالی طیف توان و ۲۳ مؤلفه دامنه سیگنال برای ورودی شبکه و ۳۵ نورون در لایه مخفی و ۳ خروجی ارقام بادام (۳-۳۵-۳۷)، با میانگین مربعات خطای ۰/۰۲۸ و ضریب همبستگی ۰/۹۸ به عنوان مدل بهینه تعیین گردید.

شکل ۳- میانگین تغییرات دامنه صوت سه رقم بادام در حوزه زمان

طبق مندرجات ماتریس اغتشاش مربوط به داده‌های آموزشی، ۹۷/۹ درصد نمونه‌های بادام سنگی، ۹۸ درصد بادام نیمه‌کاغذی و ۹۹/۲ درصد بادام کاغذی در کلاس خود به درستی طبقه‌بندی شدند و به‌طورکلی میانگین طبقه‌بندی صحیح سامانه با داده‌های آموزشی به میزان ۹۸/۴ درصد و با داده‌های اعتبارسنجی به میزان ۹۶/۲ درصد بود.



شکل ٤- منحنی لگاریتمی تغییرات چگالی طیف توان سیگنال سه رقم بادام در حوزه فرکانس

نتایج آزمایش‌های برخط برای طبقه‌بندی هسته‌های بادام

برای آزمون سامانه در حالت برخط، تعداد ۱۰۰ عدد از هر کلاس بادام به عنوان ورودی‌های جدید به سامانه اعمال گردید و نتایج عملی طبقه‌بندی سامانه بررسی شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، علی‌رغم نتایج مطلوبی که در حالت برون‌خط به‌دست‌آمده بود، در حالت برخط، قابلیت تشخیص و طبقه‌بندی صحیح سامانه تنها در مورد بادام کاغذی به میزان ۹۵ درصد، مطلوب بوده و در مورد بادام سنگی و نیمه‌کاغذی به ترتیب با دقت طبقه‌بندی ۸۶ درصد و ۸۲ درصد، نتیجه مطلوبی حاصل نشد. با توجه به این‌که نمونه‌های بادام سنگی و همچنین نمونه‌های بادام نیمه‌کاغذی از نظر اندازه بسیار غیریکنواخت بودند، احتمال تأثیر تفرق اندازه نمونه‌ها بر میزان خطای تشخیص سامانه وجود داشت. بنابراین آزمایشی برای بررسی تأثیر غیریکنواختی اندازه نمونه‌ها بر دقت طبقه‌بندی سامانه انجام گرفت و نتایج نشان داد که اختلاف اندازه‌های نمونه‌های بادام یا به عبارتی اختلاف جرم آن‌ها در ایجاد خطای تشخیص سامانه تأثیرگذار است.

نتیجه‌گیری

در ارزیابی سامانه آکوستیک هوشمند طراحی‌شده برای جداسازی ارقام بادام در سه کلاس سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی، میزان دقت طبقه‌بندی در حالت برون‌خط به‌طور میانگین ۹۶/۲٪ بود ولی در حالت برخط، این میزان به حدود ۸۸٪ کاهش یافت. طبق بررسی انجام‌شده، علت احتمالی تنزل دقت در طبقه‌بندی، وجود پراکندگی اندازه و یا به عبارتی اختلاف جرم بین نمونه‌های بادام در هریک از کلاس‌های سنگی و نیمه‌کاغذی بوده است. لذا برای تفکیک هر چه دقیق‌تر ارقام بادام توسط این سامانه، ضروری است که تمهیداتی فراهم شود تا تأثیر جرم بادام بر اختلاف سیگنال‌های صوتی به حداقل برسد و اختلاف سیگنال‌ها صرفاً بر اساس خواص فیزیکی پوسته هسته بادام باشد و یا قبل از عمل طبقه‌بندی ارقام محصول، نمونه‌های هر گروه از نظر اندازه درجه‌بندی گردند. البته در جداسازی بادام با مغز کامل از بادام

مغز چروکیده و پوک (از یک رقم) توسط این سامانه، اختلاف جرم هسته‌های بادام، از عوامل اصلی اختلاف سیگنال‌های صوتی حاصل از برخورد بادام با صفحه فولادی محسوب می‌گردد.

منابع

۱. ایوانی، ا. ۱۳۸۷. تولید و تشخیص پاسخ آکوستیک گردو برای سنجش غیر مخرب ویژگی‌های فیزیکی آن به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی. رساله دکتری گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس تهران. ۱۸۲ صفحه.

۲. عاقل، ح، یوسف زاده، س و منصوری، ه.۱۳۸۷. بررسی عوامل مؤثر بر ارزش صادرات محصولات کشاورزی با تأکید بر استانداردهای صادرات (پسته، بادام، زعفران، خرما و سیب). مجله علوم و صنایع کشاورزی، ویژه اقتصاد و توسعه کشاورزی. جلد ۲۲، شماره ۱۰، صفحه ۱۲۵-۱۳۵.

۳. محمودی، ا. ۱۳۸۵. ارائه یک الگوریتم مناسب مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی جهت جداسازی پسته‌های خندان از پسته‌های ناخندان به روش آکوستیکی به صورت زمان واقعی. رساله دکتری مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.

۴. معلمی اوره، ع و مینایی، س. ۱۳۸۹. بررسی آزمون‌های آکوستیک و کاربرد آن در پژوهش‌های کشاورزی. اولین همایش ملی مکانیزاسیون و فناوری‌های نوین در کشاورزی. اهواز.

5. Cetin, A. E., Pearson, T. C. and Tewfik, A. H. 2004a. Classification of closed- and open-shell pistachio nuts using voice-recognition technology. Transactions of the ASAE, 47(2): 659-664.
6. Cetin, A. E., Pearson, T.C. and Tewfik, A.H. 2004b. Classification of closed- and open-shell pistachio nuts using impact acoustical analysis, In Proc. 2004 International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2004). Piscataway, N.J.: IEEE.
7. Ebrahimi, E. and Mollazade, K. 2010. Integrating fuzzy data mining and impulse acoustic techniques for almond nuts sorting. Australian Journal of Crop Science (AJCS). 4(5):353-358.
8. Anonymous. 2017. FAOSTAT database. http://faostat3.fao.org/ (accessed: 27Nov, 2019).
9. Kalkan, H. and Yardimci, Y. 2006. Classification of hazelnuts by impact acoustics. In Proceedings 16th IEEE signal processing society workshop on MLSP (pp. 325–330).
10. Onaran, I., Ince, N.F., Tewfik, A.H. and Cetin, A.E. 2007. A signal representation approach for discrimination between full and empty hazelnuts. EUSIPCO, Poznan, 2464-2468.
11. Onaran, I., Pearson, T.C., Yardimci, Y. and Cetin, A.E. 2006. Detection of underdeveloped hazelnuts from fully developed nuts by impact acoustics. Transactions of the ASAE, 49(6): 1971–1976.
12. Pearson, T., Moore, D. and Pearson, J. 2012. A machine vision system for high speed sorting of small spots on grains. Food Measure. 6: 27-34.
13. Pearson, T.C. 2001. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. Applied Engineering in Agriculture. 17(2):249-253.
14. Reshadsedghi, A., Mahmoudi, A., Azimirad, V., Hajilou, J. and Ghaffari, H. 2014. Non-destructive detection of unshelled almonds quality based on their

kernel percentage using impact-acoustics and ANN's techniques. Agriculture Science Developments, 3(11): 360-365.

Intelligent acoustic system for online grading of almond varieties

Ali Reshadsedghi[1*] and Asghar Mahmoudi[2]

1. Assistant professor of Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.
2. Associate Professor of Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, university of Tabriz, Iran.

Abstract

In order to improve the quality of exported products in the country, a laboratory prototype of an intelligent and online impact-acoustic system compound of a vibratory feeding unit, acoustical recognition unit and pneumatic separator with an electronic controller unit was constructed for grading of almond nuts with shell. To evaluate the system operation for almond varieties classification in three classes (hard, semi soft and soft), the impact acoustic signal generated by dropping nuts onto a steel plate was captured by a microphone and features such as amplitude, phase and power spectral density of almond nuts were extracted from analysis of sound signal in both time and frequency domains by means of Fast Fourier Transform. The multilayer perceptron (MLP) neural networks with back propagation algorithm and LM training function were used in all experiments. The classification accuracy rate using validation data was about 96.2% in offline mode but this accuracy rate was diminished to 88% in online mode. This accuracy reduction was probability due to being size or mass variance between almond samples in each of hard and semi soft classes.

Keywords: Acoustics, Almond, Non-destructive grading, On-line system, Artificial Neural Networks.

*Corresponding author
E-mail: a.reshadsedghi@areeo.ac.ir