

ساخت و ارزیابی سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی زمان واقعی بادام

علی رشادصدقی^{*}، اصغر محمودی، وحید عظیمی‌راد و جعفر حاجی‌لو^{**}

^{*} نگارنده مسئول: بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. تلفن: ۳۲۴۴۲۸۶۶ (۰۴۱)، پیام‌نگار: sedghi_al@yahoo.com
^{**} به ترتیب: عضو هیأت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی؛ دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی؛ استادیار دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین؛ و دانشیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
 تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۹/۸

چکیده

هدف از این تحقیق، دستیابی به یک فناوری با کارایی بالا و کم‌هزینه، برای درجه‌بندی غیر مخرب بادام به صورت زمان واقعی است. برای نیل به این هدف، نمونه آزمایشگاهی یک سامانه درجه‌بندی ضربه-صوتی هوشمند و خودکار مرکب از واحد تغذیه، واحد تشخیص آکوستیک و جداکننده نیوماتیکی محصول به همراه سامانه کنترل‌کننده الکترونیکی ساخته شد. در ارزیابی سامانه مزبور برای طبقه‌بندی ارقام بادام در سه کلاس سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی، سیگنال صوتی حاصل از برخورد هسته بادام با صفحه فولادی، با 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 شد. در کلیه آزمایش‌ها، از شبکه‌های عصبی نوع پرسپترون چندلایه (MLP) با الگوریتم پس انتشار خطا و تابع یادگیری LM استفاده گردید. در طبقه‌بندی ارقام بادام به حالت برون خط، میانگین دقت طبقه‌بندی با داده‌های اعتبار سنجی ۹۶/۲ درصد به دست آمد که این میزان دقت در طبقه‌بندی برخط، به حدود ۸۸ درصد کاهش یافت. علت احتمالی کاهش دقت در طبقه‌بندی، تأثیر پراکندگی اندازه یا اختلاف جرم بین نمونه‌های بادام در هریک از کلاس‌های سنگی و نیمه‌کاغذی بوده است.

واژه‌های کلیدی

آکوستیک، بادام، سامانه درجه‌بندی، شبکه عصبی مصنوعی

مقدمه

خشکسالی، سرمازدگی، پایین بودن متوسط عملکرد این محصول در کشور نسبت به سایر کشورهای جهان، کمبود امکان برداشت مکانیزه، نبود صنایع تبدیلی مناسب و صادرات خام و فله‌ای بادام از مشکلات عمده تولید و صادرات این محصول است. بر اساس آمار سازمان خواربار و کشاورزی (Anon, 2013)، سالانه حدود ۲ میلیون و ۶۰۰ هزار تن بادام درجه‌بندی تولید می‌شود که ایران با تولید حدود ۸۷ هزار تن، در جایگاه پنجم تولید جهانی این محصول قرار گرفته است.

از مشکلات ایران در صادرات محصولات کشاورزی، بسته‌بندی نامطلوب، درجه‌بندی نامناسب و رعایت نشدن استاندارد کیفی محصولات کشاورزی صادراتی و همچنین ناسازگاری کالاها با سلیقه مصرف‌کنندگان خارجی است. در نتیجه، ارزش افزوده حاصل از خدمات بازاریابی نصیب کشورهای واردکننده از ایران می‌گردد (Aghel et al., 2008). بادام یکی از محصولات خشکباری مهم در ایران است و ارزش غذایی، دارویی و بهداشتی و نیز محصولات جانبی آن اهمیت ویژه‌ای دارد. اما

بزرگی و شیب نقاط بین ۰/۶ تا ۱/۴ میلی‌ثانیه پس از برخورد استفاده شد. دقت طبقه‌بندی این سامانه حدود ۹۷ درصد و سرعت کار حدود ۴۰ پسته در ثانیه گزارش شده است. چتین و همکاران (Cetin et al., 2004a,b) از تکنیک تشخیص صدا برای جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان استفاده کردند. این محققان در طبقه‌بندی پسته‌ها از ترکیب خطی بردارهای مل-سپستروم^۱ و مؤلفه‌های اصلی (PCA) داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صوت در حوزه‌ی زمان استفاده کردند. دقت سامانه در حدود ۹۹ درصد گزارش گردید. اوناران و همکاران (Onaran et al., 2006, 2007) برای تشخیص فندق‌های توخالی و مغز نارس از فندق‌های توپر و کالکان و یاردیمچی (Kalkan & Yardimci, 2006) و کالکان و همکاران (Kalkan et al., 2008)، در به کارگیری سامانه صوتی ضربه‌ای برای جداسازی فندق‌های ترک‌دار و آسیب‌دیده از فندق سالم، از فنون دقیق دیگری برای پردازش سیگنال صوتی استفاده کردند و توانستند فندق‌ها را با دقت بیش از ۹۶ درصد طبقه‌بندی کنند. یک سامانه جداسازی زمان واقعی^۲ پسته‌های خندان از ناخندان، با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی مصنوعی را محمودی (Mahmoudi, 2006) طراحی کرده است. در این سامانه ویژگی‌های سیگنال صوتی شامل دامنه سیگنال در حوزه‌ی زمان و چگالی طیف توان^۳ در حوزه فرکانس مدنظر قرار گرفته‌شده است. با تعیین مدل بهینه شبکه عصبی، این امکان به وجود آمد که پسته‌های خندان، ناخندان و نیمه خندان به ترتیب با دقت ۹۷/۳، ۹۶/۷ و ۹۳/۱ درصد جداسازی شوند. ایوانی (Eyvani, 2008) در پژوهش خود روش نوینی برای تحریک آکوستیک گردو و شناسایی و تشخیص ویژگی‌های فیزیکی این محصول طراحی نمود. وی برای تولید صدای خالص گردو، روش سطح برخورد پیرسون برای تولید صدای پسته را در کنار ۹ روش جدید

بادام ایرانی بالاترین ارزش صادراتی را در جهان، به میزان ۸۴۰۰ دلار به ازای هر تن، دارد ولی سهم ایران از صادرات این محصول فقط ۰/۲۲ درصد است.

برای شکستن بادام و جدا کردن مغز از پوسته با دستگاه بادام‌شکن، بادام را از میان غلتک‌های برشی عبور می‌دهند. مقدار نیروی لازم برای ایجاد ترک در پوسته، بستگی به میزان سختی آن دارد که این صفت در ارقام مختلف بادام متفاوت است. برای شکستن بادام و جداسازی مغز با دستگاه بادام‌شکن، محصولی که وارد دستگاه می‌شود از لحاظ ضخامت و سختی پوسته باید یکنواخت باشد و لازمه این کار، جداسازی اولیه محصول بر اساس رقم از نظر سختی پوسته است (Borrell, 2009).

آزمون‌های آکوستیک شامل آزمون‌های صوتی و فراصوتی، از فنون جدید برای تعیین ویژگی‌های محصولات کشاورزی است. 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 وارد شده است (Moallemi-Oreh & Minaei, 2010). یکی از روش‌های آزمون آکوستیک، روش میکروفون مینا است که در آن از میکروفون برای دریافت پاسخ آکوستیک استفاده می‌شود. این روش به دلیل نداشتن تماس بین حسگر و محصول، سریع عمل می‌کند و مورد توجه بسیاری از پژوهشگران بوده است. پیرسون (Pearson, 2001) سامانه‌ای آکوستیک برای تشخیص پسته‌های خندان از غیر خندان طراحی کرد که در آن از دریافت صوت حاصل از برخورد پسته با سطحی صلب، توسط میکروفون و پردازش سیگنال‌های صوتی استفاده شده است. در این سامانه، برای تشخیص و تمایز سیگنال پسته‌های دهان بسته و خندان، از شاخص قدر مطلق انتگرال سیگنال خروجی از میکروفون در ۰/۱۱ میلی‌ثانیه اول پس از برخورد و دو شاخص دیگر

1- Mel-Cepstrum
3- Power Spectral Density (PSD)

2- Real Time

مختلف پردازش سیگنال و تکنیک‌های مختلف هوش مصنوعی، سعی در بالا بردن هر چه بیشتر دقت طبقه‌بندی گردیده و نتایج قابل قبولی نیز به دست آمده است. با توجه به اهمیت بادام و تحقیقات نسبتاً کمی که در زمینه درجه‌بندی این محصول با ارزش انجام گرفته است، در ادامه پژوهش‌های رشادصدقی و محمودی (Reshadsedghi & Mahmoudi, 2013)، 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، بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌های بادام مورد مطالعه 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 شدند (شکل ۱). برخی از خواص فیزیکی اندازه‌گیری شده نمونه‌های بادام، در جدول ۱ آورده شده است. رطوبت نمونه‌های هسته بادام در زمان اجرای آزمایش‌ها در محدوده ۵ تا ۶ درصد بر پایه وزن تر بود که طبق استاندارد ISO 665-2000 مربوط به دانه‌های روغنی (Anon, 1991) اندازه‌گیری شد.

دیگر بررسی و مناسب‌ترین روش را با نام سطح ماریپچ چند ضربی دوجنسی معرفی کرد.

ابراهیمی و ملازاده (Ebrahimi & Mollazadeh, 2010) 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 واریته‌های بادام ۸۴/۱۶ درصد گزارش گردید. رشادصدقی و محمودی (Reshadsedghi & Mahmoudi, 2013) به منظور شناسایی ارقام بادام بر اساس اختلافشان در ضخامت و سختی پوسته، از یک سامانه ضربه-صوتی و شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. با تعیین مدل بهینه شبکه عصبی، ارقام بادام به حالت برون خط با میانگین دقت ۹۳/۷۸، ۹۴/۵۱ و ۹۹/۶۳ درصد به ترتیب برای ژنوتیپ‌های سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی طبقه‌بندی شدند. رشادصدقی و همکاران (Reshadsedghi et al., 2014) با استفاده از سامانه مذکور، توانستند به شکلی غیرمخرب بادام مغزچروکیده و پوک را از بادام سالم و توپر با دقت طبقه‌بندی بیش از ۹۵ درصد با داده‌های اعتبارسنجی تشخیص دهند.

تحقیقات گذشته نشان‌دهنده تنوع کاربرد آزمون‌های آکوستیک برای تشخیص و درجه‌بندی غیرمخرب محصولات کشاورزی است که با به‌کارگیری روش‌های



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

به منظور طبقه‌بندی نمونه‌های بادام از نظر سختی پوسته، با اعمال بار استاتیکی در امتداد عمود بر سطح پهن هسته بادام، مقدار نیروی حد گسیختگی^۱ پوسته در این راستا، با استفاده از یک دستگاه اینسترون^۲ مدل ۱۱۴۰ منضم به لودسلی با دامنه اندازه‌گیری ۵۰۰ تا ۵۰۰۰ نیوتن تعیین گردید.

جدول ۱- برخی از خواص فیزیکی ارقام بادام مورد مطالعه

رقم	کلاس	قطر اصلی (میلی‌متر)	قطر میانی (میلی‌متر)	ضخامت هسته (میلی‌متر)	میانگین ضخامت پوسته (میلی‌متر)	جرم هسته (گرم)	چگالی هسته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	نیروی حد گسیختگی پوسته (نیوتن)
سهند	سنگی	۳۱/۵۵	۲۱/۷۴	۱۵/۸۲	۲/۵۴	۳/۴۳±۰/۷۲	۰/۶۷	۹۲۳±۲۱۰
آذر	نیمه‌کاغذی	۲۸/۹۶	۲۰/۷۳	۱۶/۲۴	۲/۵	۲/۸۸±۰/۶۸	۰/۶۳	۱۴۴±۲۷
منقay اصفهان	کاغذی	۲۷/۵۷	۱۶/۱۲	۱۳/۹۳	۱/۸۳	۱/۴۵±۰/۱۷	۰/۶۰	۸۵±۲۵

بادام، سادگی مکانیزم و امکان به کارگیری آن برای محصولاتی با ویژگی‌های مشابه، یک دستگاه تک‌دانه‌کن ارتعاشی طراحی و ساخته شد. اجزای تشکیل‌دهنده این سامانه عبارت‌اند از: شاسی، صفحه ارتعاشی، مکانیزم انتقال و تک‌دانه‌کن، موتور ارتعاشی (ویبراتور)، اینورتر^۳ و سطح شیب‌دار (شکل ۲).

مکانیزم انتقال و تک‌دانه‌کن 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 (محل تخلیه دانه‌ها)، به تدریج کاهش می‌یابد بدین ترتیب که عرض آن در محل تخلیه به اندازه بزرگ‌ترین قطر میانی نمونه‌های بادام (حدود ۲۰ میلی‌متر) در نظر گرفته شده است. این سینی کانالی است برای انتقال مواد دانه‌ای از محل پر شدن تا محل تخلیه که گام‌های حرکت نوسانی، شیار V شکل وسط کانال و زاویه شیب مناسب سینی نسبت به افق، به حرکت رو به جلو مواد و تک‌دانه شدن مواد دانه‌ای در محل تخلیه کمک می‌کند.

هنگام انتقال بادام توسط سامانه ارتعاشی، هسته‌ها همیشه روی یکی از دو پهلوی پهن خود قرار می‌گیرند زیرا این جهت‌گیری، بادام را در موقعیتی با پایین‌ترین مرکز ثقل قرار می‌دهد (Pearson et al., 2012). سرعت

سامانه آکوستیک هوشمند برای درجه‌بندی زمان واقعی 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 استخراج شده از سیگنال صوتی آنها عمل می‌کند. به طور کلی، سامانه درجه‌بندی هوشمند طراحی شده از دو بخش سخت‌افزاری و نرم‌افزاری به شرح زیر تشکیل شده است:

بخش سخت‌افزاری سامانه درجه‌بند

بخش سخت‌افزاری خود به سه واحد اساسی تغذیه، آکوستیک و جداکننده برخط^۴، قابل تفکیک است (شکل ۲).

طراحی و ساخت سامانه تغذیه

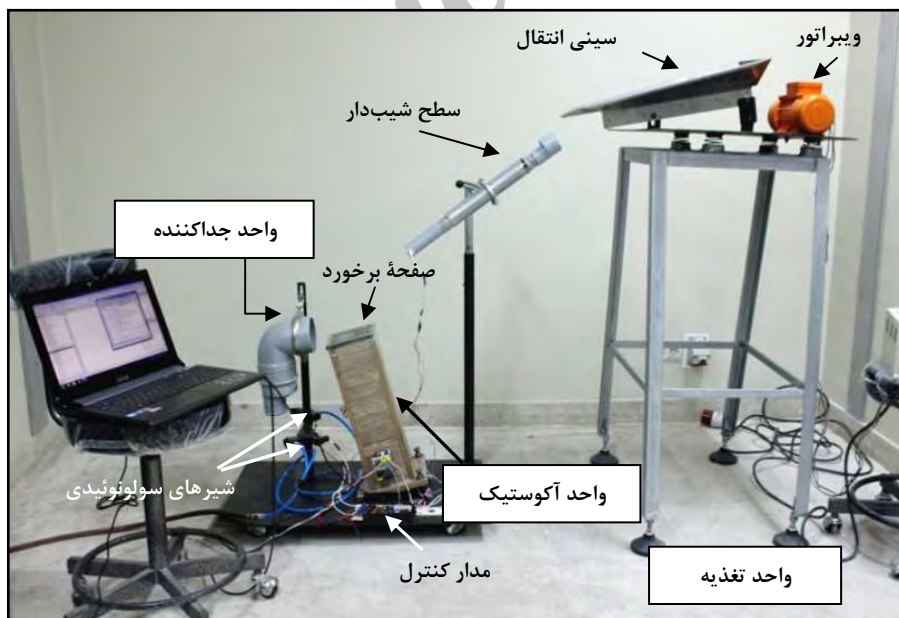
در سامانه‌های درجه‌بندی ماشین بینایی و آکوستیکی، از آنجا که سیگنال‌های دریافتی از دانه‌ها باید به صورت تک به تک آنالیز و پردازش شوند، سامانه تغذیه باید قابلیت انتقال نمونه‌ها به صورت تکی را به واحد دریافت و پردازش سیگنال داشته باشد. با در نظر گرفتن خصوصیات فیزیکی

1- Rupture Force
3- On-line

2- Instron
4- Inverter

آمد و هسته‌های بادام به صورت تک به تک از انتهای سینی خارج شدند. در قسمت خروجی سینی انتقال، هسته‌های بادام بسیار به هم نزدیک می‌شدند و به یک ناودانی شیب‌دار برای شتاب دادن و جدا کردن آنها از یکدیگر نیاز بود. هسته بادام، گرد (کروی) نیست و از این‌رو حرکت آن بر روی سطح شیب‌دار حرکتی سرشی بدون غلتش است. با توجه به اختلاف ضخامت و سختی پوست بادام در نواحی مختلف آن، سعی شد با تنظیم شیب و ارتفاع، شرایطی فراهم شود که در هنگام سقوط بادام از انتهای ناودانی شیب‌دار، فقط یکی از دو پهنه آن با صفحه فلزی برخورد کند. سطح شیب‌دار، شامل یک لوله از جنس پی‌وی‌سی (PVC) به طول ۵۰۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۴۰ میلی‌متر است که روی پایه‌ای فلزی نصب شده و ارتفاع و شیب آن نسبت به افق قابل تنظیم است.

حرکت دانه‌های بادام در سینی، بستگی به میزان شیب و فرکانس و دامنه حرکت ارتعاشی سینی دارد. موتور ارتعاشی به کاررفته در این تحقیق، یک موتور الکتریکی سه فاز مدل ZF-T4/40 ساخت کشور چین است که در دو طرف محور آن وزنه‌هایی به صورت ورقه‌های فلزی به هم چسبیده، نصب شده است تا هنگام دوران محور موتور، نیروی گریز از مرکز ایجاد کنند. به منظور تغییر دور موتور ارتعاشی و در نتیجه انتخاب فرکانس حرکتی مناسب، از یک دستگاه اینورتر با ورودی سه فاز مدل LS600-4005 ساخت کشور کره استفاده شد که امکان راه‌اندازی موتور ارتعاشی سه فاز را دارد. با تنظیم همزمان دور موتور توسط اینورتر و شیب سینی تک‌دانه کن از طریق آزمون و خطا، بهترین شرایط (فرکانس ۲۷/۵ هرتز و شیب ۶۰ درجه سینی) جهت ایجاد حرکت یکنواخت و بدون تشدید در سامانه فراهم



شکل ۲- تصویر مجموعه سامانه درجه‌بند برخط

کارت صوتی و کامپیوتر شخصی است. برای حصول دقت هرچه بیشتر در طبقه‌بندی محصول، باید صداهای اضافی ایجاد شده توسط عامل مکانیکی تولید صدا

طراحی سامانه صوتی (آکوستیک)

قطعات تشکیل‌دهنده این سامانه شامل صفحه برخورد (صفحه صداساز)، میکروفون، محفظه آکوستیک، سیم رابط،

نوع نمونه‌های بادام، لازم است از طریق یک سامانه جداکننده برخط، هر نمونه به مسیر از قبل تعیین شده خود هدایت شود و بدین ترتیب نمونه‌های بادام بر اساس هدف اولیه تفکیک شوند. سامانه جداکننده برخط از یک واحد جداکننده و یک مدار واسط^۱ (کنترل کننده) تشکیل می‌شود. واحد جداکننده نیوماتیکی مشابه مدار نیوماتیکی طراحی شده توسط محمودی (Mahmoudi, 2006) است و به تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی بادام، شیر کنترل جهت و نازل هوا در خروجی سامانه نیوماتیک نصب گردید. با برخورد هسته بادام به صفحه فولادی و تشخیص صدای آن توسط برنامه کامپیوتری، فرمانی از طرف کامپیوتر به واحد کنترل (مدار واسط) ارسال می‌شود. واحد کنترل نیز با دریافت فرمان، رله الکتریکی مربوط به کلاس بادام را فعال می‌کند تا ولتاژی برابر ۱۲ ولت به شیر کنترل جهت سلونوئیدی مربوط انتقال یابد. در اثر به کار افتادن این شیر، مسیر جریان هوای کمپرسور به مدت زمان قابل تنظیم باز می‌شود و جریان هوا از طریق نازل، بادام را در مسیر تعیین شده هدایت و در ظرفی جداگانه ذخیره می‌کند. واحد کنترل تشکیل شده است از یک مدار الکترونیکی شامل میکرو کنترل کننده AVR مدل ATmega8، تعدادی ترانزیستور mosfet (به تعداد تقسیمات طبقه‌بندی محصول) برای انتقال و تعویض خط ارتباطی سیگنال‌های الکتریکی (switching) و کاراندازی شیرهای سلونوئیدی، پورت سریال برای اتصال به کامپیوتر، یک فرستنده و گیرنده نوری مادون قرمز نصب شده در انتهای لوله سقوط (سطح شیب‌دار) و قطعات دیگر الکترونیکی. بر اساس آنچه قبلاً ذکر شد، میکروفون، اطلاعات صوتی را از طریق کارت صوتی، به طور دائم به کامپیوتر منتقل می‌کند. برای آنکه این اطلاعات صرفاً مربوط به صدای برخورد بادام با صفحه فولادی باشد یعنی صدای برخورد بادام با قطعات دیگر به کامپیوتر منتقل و پردازش نشود، یک فرستنده و حسگر^۳ نوری مادون قرمز در قسمت انتهایی لوله سقوط بادام نصب گردید تا طبق برنامه داده شده به سامانه کنترل کننده، به

حذف شود. صفحه برخورد باید جرم بیشتری نسبت به هسته بادام داشته باشد تا در هنگام برخورد بادام ارتعاش کمتری به صفحه وارد شود (Pearson, 2001). این ارتعاش ممکن است در تشخیص سیگنال‌های صوتی توسط سامانه، باعث بروز خطا شود. بر طبق این نظریه از یک صفحه فولادی صیقلی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و به ابعاد ۱۵۰×۱۵۰ میلی‌متر به‌عنوان صفحه برخورد استفاده شد. به ازای هر نمونه بادام تنها یک سیگنال صوتی ناشی از برخورد به صفحه لازم خواهد بود. بنابراین، شیب صفحه فولادی طوری تنظیم گردید تا از برخورد مجدد بادام به صفحه فولادی، در اثر جهش آن پس از برخورد اول، جلوگیری شود. وظیفه میکروفون، حس کردن و انتقال سیگنال صوتی حاصل از برخورد هسته‌های بادام به سطح فولادی، به قسمت پردازش اولیه است. 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 تبدیل و در یک فایل ذخیره می‌شوند. کارت صدا داده‌های صوتی را به صورت ۱۶ بیتی و با فرکانس کاری ۴۴/۱ کیلوهرتز نمونه‌برداری می‌کند. سیستم پردازش مورد استفاده در این تحقیق یک کامپیوتر لپ‌تاپ با پردازشگر Intel (R) Core (TM)i7-2670QM CPU@2.20 GHz 2.20GHz و ۶ گیگابایت RAM است.

طراحی سامانه جداکننده برخط

بر اثر برخورد هسته بادام به صفحه فلزی واقع در سطح فوقانی محفظه آکوستیک، کامپیوتر وارد محاسبات سیگنال ورودی از طرف میکروفون و شناسایی و طبقه‌بندی نوع بادام از طریق اجرای کدهای نرم‌افزاری می‌شود. بعد از تشخیص

1- Interface
3- Sensor

2- Microcontroller

توسط میکروفون در دامنه^۱ [۱-] ولت، برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی در کامپیوتر ذخیره شدند.

در برنامه جمع‌آوری داده‌ها با نرم‌افزار MATLAB 2012a، کارت صوتی کامپیوتر با فرکانس نمونه‌برداری^۱ ۴۴۱۰۰ هرتز و رزولوشن ۱۶ بیتی به عنوان ورودی آنالوگ و در حالت On trigger تعریف شد و مقدار ولتاژ محرک^۲ برای فعال شدن برنامه‌های مربوط به نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌ها، شیب سیگنال و نام برنامه به عنوان پارامترهای لازم به آن داده شد. به منظور جلوگیری از ایجاد خطای نمونه‌برداری در اثر صداهای محیطی، یک حد آستانه^۳، برابر با ۰/۱ ولت برای ولتاژ تحریک تعریف شد تا بدین ترتیب دریافت داده زمانی فعال شود که خروجی میکروفون بیش از این حد آستانه شود. برای هر سیگنال مقادیر پیک دامنه^۴ برحسب ولت در فواصل زمانی حدود ۰/۰۲۳ میلی‌ثانیه نمونه‌برداری و در داخل یک بردار ذخیره شدند. با توجه به دامنه تغییرات سیگنال‌های صوتی در حوزه زمان، برداری به طول ۱۵۰۰ نقطه داده برای استخراج ویژگی‌های سیگنال در نظر گرفته شد. با تعریف کد حلقه در برنامه MATLAB، داده‌برداری به تعداد نمونه‌های بادام (۱۰۰۰ عدد به ازای هر تیمار آزمایشی) ادامه یافت و سرانجام کلیه بردارها در ماتریسی به ابعاد ۱۵۰۰×۱۰۰۰، برای پردازش‌های بعدی ذخیره شدند.

با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و به کمک تبدیل فوریه سریع^۵ (FFT)، ویژگی‌های چگالی طیف توان، دامنه و فاز^۶ سیگنال در حوزه فرکانس محاسبه شدند. برای تأمین دقت در تبدیل سیگنال از حوزه زمان به حوزه فرکانس، طول FFT برابر ۱۰۲۴ در نظر گرفته شد ولی با توجه به تقارن زوج منحنی چگالی طیف توان و تقارن فرد منحنی فاز، برای کاهش تعداد داده‌های وارده در تحلیل، داده‌های هریک از این دو ویژگی به نصف کاهش داده شد.

ازای عبور هر بادام از انتهای لوله و تشخیص آن توسط حسگر نوری نصب شده، 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 از حسگر نوری به کامپیوتر داده شود. این مدار به عنوان واسط بین کامپیوتر و سامانه جداکننده برخط، دستور لازم را از خروجی کامپیوتر می‌گیرد و پیرو آن سیگنال‌های الکترونیکی را از طریق ترانزیستورهای mosfet به شیر سلونوئیدی انتقال می‌دهد تا مجرای جریان هوای فشرده را برای جدا کردن بادام از مسیر، باز و بسته کند.

بخش نرم‌افزاری سامانه درجه‌بند

پس از حس کردن صدای برخورد بادام با صفحه فولادی توسط میکروفون و انتقال سیگنال صوتی به کارت صدای کامپیوتر، کار بخش نرم‌افزاری سامانه به ترتیب زیر ادامه می‌یابد: پردازش سیگنال (شامل عملیات تبدیل آنالوگ به دیجیتال، فیلتر کردن و نرمال کردن)، استخراج ویژگی‌های سیگنال، اعمال ویژگی‌های سیگنال به سامانه طبقه‌بند به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی و آموزش و ارزیابی شبکه بر مبنای تطابق و هم‌سنجی بین ورودی و هدف تشخیص یعنی نوع کلاس بادام (سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی).

آزمایش‌های برون خط برای شناسایی و طبقه‌بندی نمونه‌های بادام

سه رقم بادام سنگی سهند، نیمه‌کاغذی آذر و کاغذی منقay اصفهان (شکل ۱) و از هر کدام به تعداد ۱۰۰۰ عدد با اندازه‌های مختلف و به طور تصادفی انتخاب گردیدند. نمونه‌های هر رقم به طور مجزا و به صورت تکی و دستی به سطح شیب‌دار واحد تغذیه سامانه داده شد و پس از برخورد به صفحه فولادی، سیگنال‌های صوتی دریافت شده

1- Sampling Frequency
3- Threshold
5- Fast Fourier Transformation

2- Trigger Level
4- Amplitude
6- Phase

آزمایشی است که در طول فرایند آموزش کاربردی ندارد و از آن برای مقایسه مدل‌های مختلف استفاده می‌شود.

آزمایش‌های برخط برای شناسایی و طبقه‌بندی نمونه‌های بادام

در آزمایش برخط نیز برای طبقه‌بندی سه رقم بادام با کلاس‌های مختلف از نظر سختی و ضخامت پوسته، آموزش اولیه شبکه عصبی MLP دولایه با ساختار مناسب به دست آمده در حالت برون‌خط و به کارگیری تابع آموزشی trainlm انجام و از تابع sim برای شبیه‌سازی شبکه در طبقه‌بندی ورودی‌های جدید استفاده شد. این تابع، شبکه و بردار ورودی را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و خروجی شبکه را برمی‌گرداند. خروجی این تابع، یک بردار سطری با سه عضو شامل اعدادی بین صفر و ۱ خواهد بود. پس از مشخص شدن کد خروجی، با استفاده از دستورهای شرطی و کدهای میکروکنترلر، نوع کلاس بادام مشخص و مدار سلونوئید مربوطه بسته می‌شود تا با باز شدن شیر و به جریان افتادن هوای نازل، بادام در مجرای ویژه خود هدایت شود. در صورت نیاز، با دستور pause مدت زمان مکث لازم برحسب ثانیه برای رسیدن بادام به محل جدا شدن تعیین می‌گردد.

نتایج و بحث

نتایج آزمایش‌های برون‌خط برای شناسایی و طبقه‌بندی نمونه‌های بادام

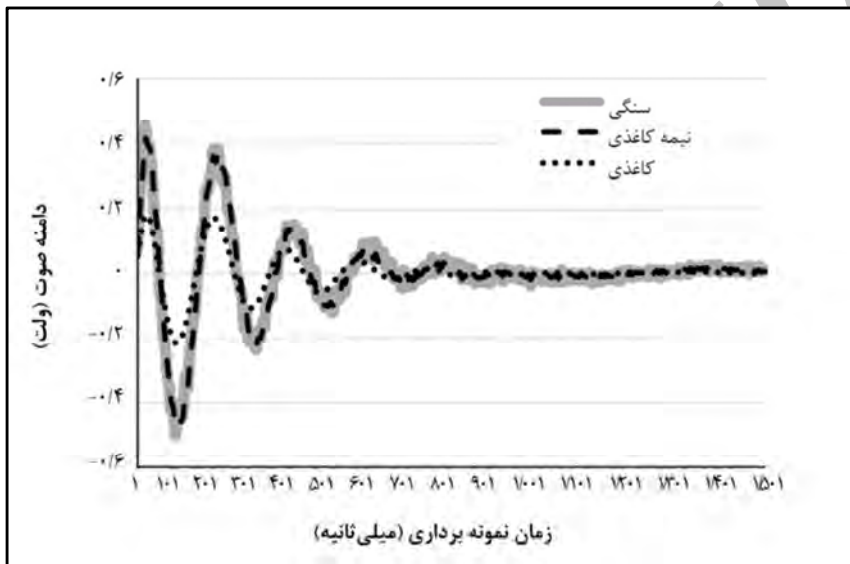
شکل ۳، منحنی میانگین تغییرات دامنه صوت سه رقم بادام از سه کلاس مختلف را در حوزه زمان نشان می‌دهد. از نظر شکل منحنی، هر سه طیف سیگنال مشابه هستند. خصوصاً طیف بادام سنگی و نیمه‌کاغذی احتمالاً به دلیل نزدیک بودن آنها از نظر جرم و سختی پوسته به یکدیگر، کاملاً بر هم منطبق‌اند ولی طیف بادام کاغذی با داشتن پوست نازک و جرم کمتر، دامنه کوتاه‌تری دارد و

با در نظر گرفتن سه عامل اندازه سیگنال در حوزه زمان (۱۵۰۰ ویژگی)، چگالی طیف توان و فاز در حوزه فرکانس، هریک با ۵۱۲ ویژگی، در کل ۲۵۲۴ متغیر برای تشخیص هر نمونه بادام حاصل شد. به علت بالا بودن حجم متغیرهای مورد نظر، از روش آماری تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای کاهش ویژگی‌ها استفاده شد. با تعریف درصد‌های مختلف حذف واریانس در دستور processpca، تعداد متفاوتی از مؤلفه‌های اصلی برای ویژگی‌های دامنه، چگالی طیف توان و فاز سیگنال حاصل شد. برای یافتن تعداد مؤلفه‌ها (متغیرهای ورودی شبکه) با بالاترین دقت جداسازی، ترکیبات مختلفی از مؤلفه‌های به دست آمده، به عنوان ورودی، به شبکه عصبی داده شدند و سرانجام بهترین ترکیب انتخابی، با در نظر گرفتن حداقل تعداد ویژگی‌ها که منجر به کمترین مقدار MSE شود، انتخاب گردید. برای تعیین تعداد بهینه نورون در لایه مخفی شبکه عصبی، تعداد این نورون‌ها از ۱۰ تا ۴۵ با فواصل ۵ تایی تغییر داده شد و در هر سری، ۵ بار شبکه آموزش یافت.

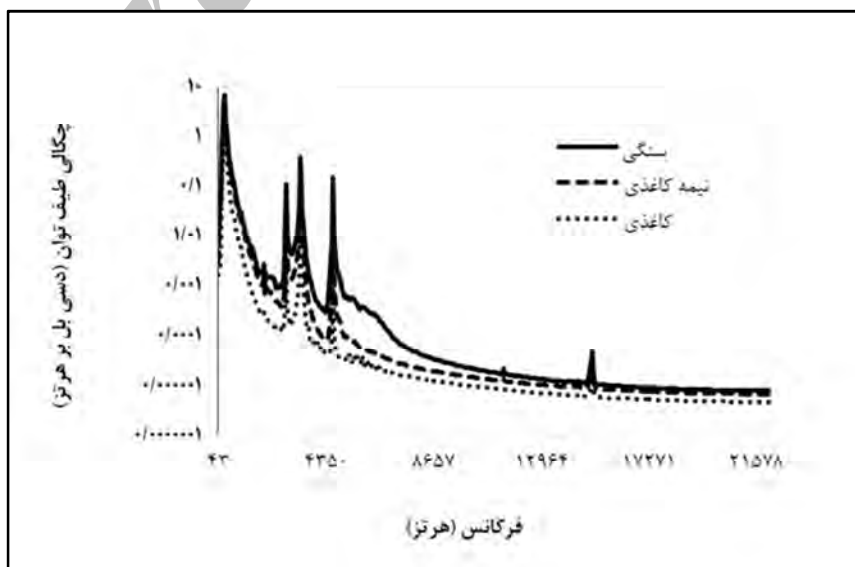
شبکه عصبی مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرسپترون چندلایه (MLP) با روش یادگیری پس انتشار خطا است که به منظور مقایسه عملکرد الگوریتم‌های یادگیری با نام‌های سرعت یادگیری متغیر (gda)، پس انتشار ارتجاعی (rp)، گرادیان توأم مقیاس شده (scg) و الگوریتم LM، هر چهار نوع تابع در فرایند آموزش شبکه به کار گرفته شدند. به منظور جلوگیری از بیش‌برازش، از تکنیک توقف زودرس استفاده شد. در این تکنیک داده‌های موجود به سه زیرمجموعه شکسته می‌شوند. زیرمجموعه اول مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی (۷۰ درصد داده‌ها) است که برای محاسبه گرادیان و به روزرسانی وزن‌ها و بایاس‌ها از آن استفاده می‌شود. زیرمجموعه دوم مجموعه اعتبارسنجی (۱۵ درصد داده‌ها) است. از خطای مجموعه اعتبارسنجی در طول فرایند آموزش برای نظارت بر روال آموزش استفاده می‌شود. زیرمجموعه سوم مجموعه

تبدیل فوریه سریع برای ۱۰۰۰ نمونه از هر رقم نشان می‌دهد. به دلیل وجود تقارن زوج در اندازه و تقارن فرد در فاز سیگنال، فقط نیمه چپ منحنی‌ها یعنی تا طول بردار ۵۱۲ در شکل‌های مذکور نشان داده شده است. به منظور وضوح بیشتر در نشان دادن اختلاف بین چگالی طیف توان ارقام بادام، در شکل ۴ منحنی تغییرات آنها به صورت لگاریتمی نشان داده شده است.

بعد از حدود ۵ میلی ثانیه، نسبت به دو رقم دیگر تأخیر فاز نشان داده است. این تفاوت می‌توانست در تفکیک این نوع بادام از دو نوع دیگر مؤثر باشد، ولی لازم بود تفاوت‌ها در حوزه فرکانس نیز بررسی شود. 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 و شکل ۵، میانگین فاز سیگنال را پس از



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

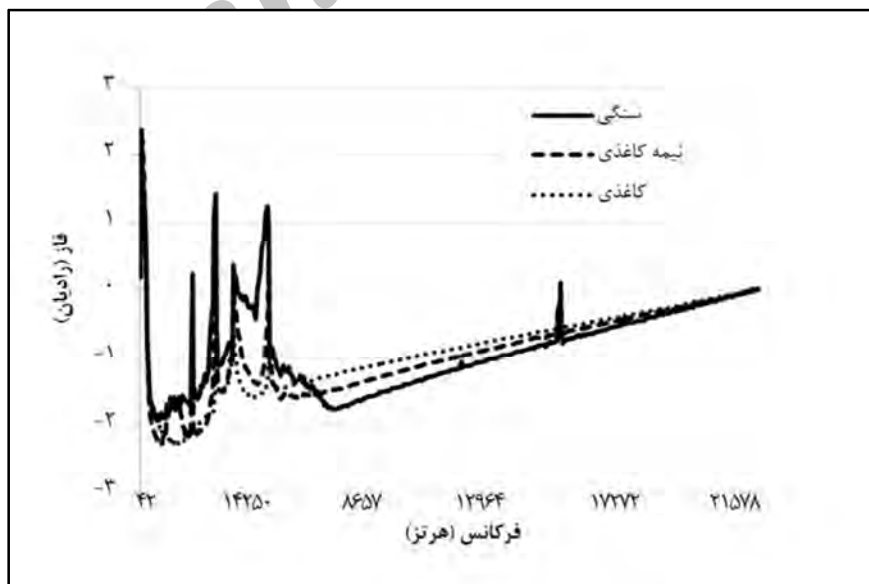


شکل ۴- منحنی لگاریتمی تغییرات چگالی طیف توان سیگنال سه رقم بادام در حوزه فرکانس

باشد. طبق نتایج به دست آمده، تابع آموزشی trainlm با میانگین درصد تشخیص صحیح بالاتر، نسبت به توابع دیگر از دقت بیشتری در طبقه‌بندی ارقام بادام برخوردار است. مدل شبکه عصبی با ساختار ۳-۳۵-۳۷ که در شکل ۶ نشان داده شده است، با میانگین مربعات خطای ۰/۰۲۸ و ضریب همبستگی ۰/۹۸ به عنوان مدل بهینه برای طبقه‌بندی سه رقم بادام سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی تعیین گردید.

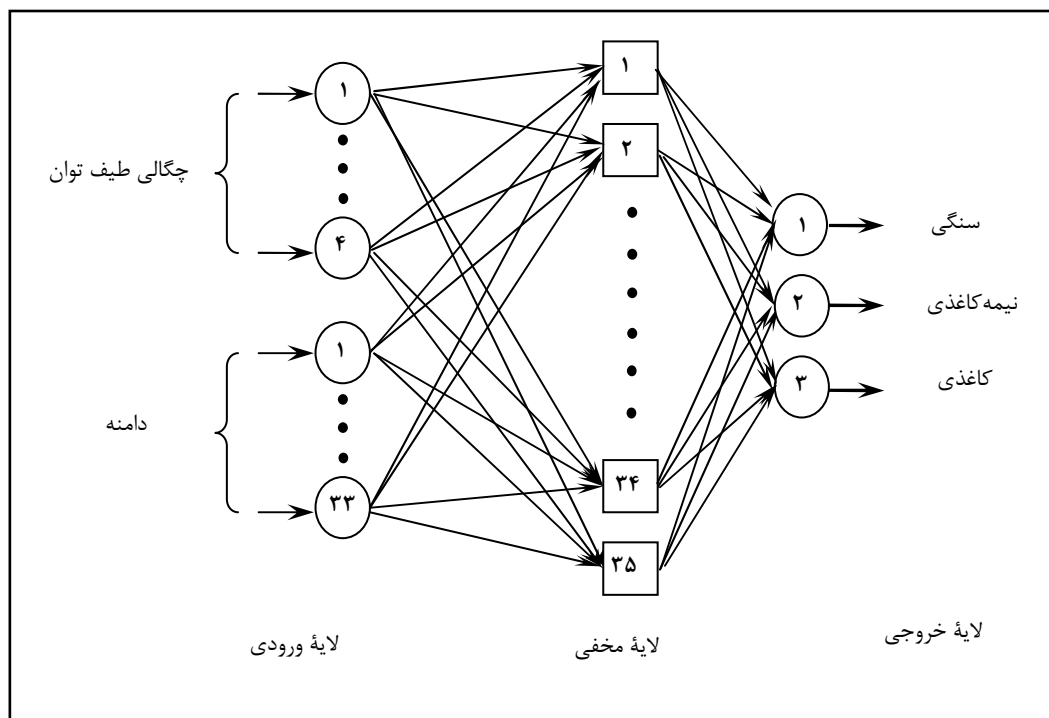
طبق مندرجات ماتریس اغتشاش مربوط به داده‌های آموزشی، از ۱۰۰۰ نمونه بادام سنگی مورد آزمایش، ۹۷۹ بادام، یعنی ۹۷/۹ درصد، صحیح (True positive) و ۱۵ بادام به اشتباه نیمه‌کاغذی و ۶ بادام، کاغذی (False negative) تشخیص داده شد. به همین ترتیب، ۹۸ درصد نمونه‌های بادام نیمه‌کاغذی و ۹۹/۲ درصد بادام کاغذی در کلاس خود به درستی طبقه‌بندی شده‌اند و به طور کلی میانگین طبقه‌بندی صحیح سامانه با داده‌های آموزشی به میزان ۹۸/۴ درصد و با داده‌های اعتبارسنجی به میزان ۹۶/۲ درصد بود.

از شکل‌های فوق مشاهده می‌گردد که ویژگی‌های مختلف سیگنال در حوزه فرکانس از نظر نحوه 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، نیمه‌کاغذی و کاغذی به حسب جرم آن و سخت‌تر بودن پوسته، به ترتیب در قسمت بالاتری نسبت به همدیگر قرار گرفته‌اند و از طرفی با توجه به شکل ۴، در تغییرات اولیه منحنی چگالی طیف توان، بادام کاغذی و نیمه‌کاغذی نسبت به رقم سنگی به ترتیب تمایل بیشتری به سمت فرکانس‌های پایین‌تر دارد و به نظر می‌رسد که صدای بم‌تری نسبت به رقم سنگی ایجاد کرده است. در مورد منحنی فاز شکل ۵، شرایط تغییرات طیف صوتی کمی متفاوت است به طوری که از یک مقدار فرکانس (حدود ۴۵۰۰ هرتز) به بعد، ترتیب قرارگیری منحنی‌های ارقام بادام معکوس شده است. این‌گونه اختلافات در مشخصه‌های سیگنال‌های صوتی می‌تواند عامل تشخیص و شناسایی ارقام مختلف بادام و یا تفکیک آنها از نظر مرغوبیت، به کمک تکنیک‌های هوشمند مثل شبکه عصبی مصنوعی،



شکل ۵- میانگین تغییرات فاز سیگنال سه رقم بادام در حوزه فرکانس

بنابراین، دقت این سامانه مشابه دقت روش آکوستیک است که سایر محققان در طبقه‌بندی محصولات آجیلی دیگر به کار گرفته‌اند و در مقایسه با روش استنتاج فازی که ابراهیمی و ملازاده (Ebrahimi & Mollazadeh, 2010) برای طبقه‌بندی بادام به کار گرفته بودند، این سامانه دقت بیشتری دارد.



شکل ۶- توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی سه رقم بادام

بادام نیمه‌کاغذی از نظر اندازه بسیار غیریکنواخت بودند، احتمال تأثیر تفرق اندازه نمونه‌ها بر میزان خطای تشخیص سامانه وجود دارد. بنابراین، تأثیر غیریکنواختی اندازه نمونه‌ها بر دقت طبقه‌بندی سامانه طی آزمایشی بررسی و انجام شد. برای این کار در یک مرحله، ۴۰۰ بادام در اندازه‌های تقریباً یکسان از هر سه کلاس انتخاب و در مرحله دیگر، ۴۰۰ بادام از هر کلاس به‌طور تصادفی و بدون در نظر گرفتن اندازه آنها به سامانه وارد شد و آزمایش‌های لازم جهت تعیین ساختار شبکه مناسب و اجرای برنامه سامانه در طبقه‌بندی سه رقم به‌طور جداگانه به اجرا درآمد.

نتایج آزمایش‌های برخط برای طبقه‌بندی هسته‌های بادام

برای آزمون سامانه در حالت برخط، از هر کلاس بادام ۱۰۰ عدد به عنوان ورودی‌های جدید به سامانه اعمال و نتایج عملی طبقه‌بندی سامانه بررسی شد. طبق نتایج مندرج در جدول ۲، به رغم نتایج مطلوبی که در حالت برون خط به دست آمد، در حالت برخط قابلیت تشخیص و طبقه‌بندی صحیح سامانه تنها در مورد بادام کاغذی به میزان ۹۵ درصد مطلوب بود و در مورد بادام سنگی و نیمه‌کاغذی به ترتیب با ۸۶ و ۸۲ درصد طبقه‌بندی صحیح، نتیجه مطلوبی حاصل نشد. با توجه به اینکه نمونه‌های بادام سنگی و

جدول ۲- قابلیت طبقه‌بندی صحیح سامانه در آزمون اولیه برخط

خروجی هدف	سنگی	نیمه‌کاغذی	کاغذی	درصد طبقه‌بندی صحیح
سنگی	۸۶	۱۴	۰	۸۶
نیمه‌کاغذی	۱۱	۸۲	۷	۸۲
کاغذی	۱	۴	۹۵	۹۵

تابع trainlm تعیین گردید. برای آزمون سامانه در حالت برخط تحت این شرایط، با وارد کردن ۱۰۰ بادام هم‌اندازه از هر کلاس در سه تکرار به سامانه، نتایج طبقه‌بندی شبکه در شرایط برون خط پس از دو سری آموزش با نتایج ارزیابی سامانه در حالت برخط در جدول ۳ مقایسه گردید.

نتایج طبقه‌بندی سه رقم بادام با نمونه‌های هم‌اندازه

در این حالت ساختار بهینه شبکه عصبی با ۱۲ مؤلفه اصلی مربوط به چگالی طیف توان و ۲۹ مؤلفه دامنه سیگنال و در مجموع ۴۱ ویژگی به‌عنوان ورودی، ۲۵ نورون در لایه مخفی و ۳ خروجی جهت آموزش سامانه با

جدول ۳- نتایج طبقه‌بندی برون خط و برخط نمونه‌های هم‌اندازه بادام

خروجی هدف	سنگی	نیمه‌کاغذی	کاغذی	درصد طبقه‌بندی صحیح برخط	درصد طبقه‌بندی صحیح برون خط
سنگی	۹۰	۹	۱	۹۰	۹۶/۵
نیمه‌کاغذی	۲	۹۵	۳	۹۵	۹۶
کاغذی	۰	۵	۹۵	۹۵	۹۸

برخط مانند سری قبل ولی این بار با ۱۰۰ بادام در اندازه‌های مختلف از هر کلاس تکرار گردید. در این آزمایش نیز نتایج طبقه‌بندی شبکه در شرایط برون خط پس از دو نوبت آموزش با نتایج ارزیابی سامانه در حالت برخط در جدول ۴ مقایسه شده است.

نتایج طبقه‌بندی سه رقم بادام با نمونه‌هایی در اندازه‌های مختلف

ساختار بهینه شبکه در این حالت با مجموع ۷ مؤلفه اصلی چگالی طیف توان و ۲۸ مؤلفه دامنه به عنوان ورودی، ۲۰ نورون در لایه مخفی و سه خروجی انتخاب شد. آزمایش طبقه‌بندی سامانه در حالت

جدول ۴- نتایج طبقه‌بندی برون خط و برخط نمونه‌های بادام با اندازه‌های مختلف

خروجی هدف	سنگی	نیمه‌کاغذی	کاغذی	درصد طبقه‌بندی صحیح برون خط	درصد طبقه‌بندی صحیح برخط
سنگی	۸۲	۱۷	۱	۹۳/۵	۸۲
نیمه‌کاغذی	۷	۷۹	۱۴	۹۳/۳	۷۹
کاغذی	۱	۱	۹۸	۹۸/۵	۹۸

طبقه‌بندی بادام با احتساب میانگین جرم ۳ گرم به ازای هر بادام، ۵۴ کیلوگرم در ساعت خواهد بود که این ظرفیت با افزودن کانال‌هایی به موازات یکدیگر قابل افزایش است.

نتیجه‌گیری

در ارزیابی سامانه درجه‌بند آکوستیک طراحی شده، برای جداسازی ارقام بادام در سه کلاس سنگی، نیمه‌کاغذی و کاغذی، میزان دقت طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی در حالت برون خط به‌طور میانگین ۹۶/۲ درصد است که در حالت برخط به حدود ۸۸ درصد کاهش می‌یابد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که علت احتمالی پایین بودن دقت در طبقه‌بندی، پراکندگی اندازه‌ها یا به عبارتی اختلاف جرم بین نمونه‌های بادام در هر یک از کلاس‌های سنگی و نیمه‌کاغذی است. از این رو برای تفکیک هر چه دقیق‌تر ارقام بادام با این سامانه، قبل از طبقه‌بندی محصول، ضروری است که نمونه‌های هر گروه از نظر اندازه درجه‌بندی شوند و یا با توجه به اینکه شدت ضربه برخورد نمونه‌های بادام با صفحه فولادی و به تبع آن، شدت سیگنال صوتی حاصل، متأثر از نیروی ثقلی آنها است، برای تولید صدای محصول روشی به کار گرفته شود که حتی الامکان نیروی ثقلی در آن دخالت محسوس نداشته باشد.

نظر به ارزانی، سادگی و دقت بالای سامانه آکوستیک در طبقه‌بندی محصولات کشاورزی، چنانچه

با مقایسه تفاوت نتایج طبقه‌بندی برون خط و برخط در جداول ۳ و ۴، نتیجه گرفته می‌شود که اختلاف اندازه نمونه‌های بادام یا به عبارتی اختلاف جرم آنها در ایجاد خطای تشخیص سامانه تأثیرگذار است. چون اختلاف اندازه بین نمونه‌ها در مورد بادام سنگی و نیمه‌کاغذی نسبت به بادام کاغذی بیشتر است، خطای تشخیص و طبقه‌بندی آنها نسبت به نوع کاغذی نیز کاملاً مشهود است. با توجه به اینکه در سامانه آکوستیک به کاررفته در این پژوهش از نیروی ثقلی بادام برای ایجاد ضربه به صفحه فولادی و تولید صدا استفاده شده است، طبیعی است که شدت صوت حاصل، صرفاً مربوط به اختلاف سختی پوسته نیست بلکه متأثر از جرم نمونه‌های بادام نیز هست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه نمونه‌های بادام قبل از جداسازی از نظر اندازه درجه‌بندی شوند، می‌توان در تفکیک ارقام می‌توان به نتایج بهتری دست یافت.

در آزمایش‌های اجرا شده با سامانه برخط طراحی شده، زمان لازم برای تشخیص و جداسازی هر بادام، حدود ۰/۲ ثانیه است که بدین ترتیب در هر ثانیه تعداد ۵ بادام قابل تفکیک است. این میزان سرعت، بسیار کمتر است از آنچه پیرسون (Pearson, 2001) برای طبقه‌بندی پسته (۴۰ پسته در ثانیه) گزارش کرده است. علت احتمالی این مسئله سرعت پایین پاسخ فرکانسی مدار کنترل سامانه است. بنابراین، ظرفیت سیستم در یک کانال واحد برای

محدودیت‌های ناشی از نویز موجود در تجاری‌سازی آن گامی در جهت درجه‌بندی خودکار شرایط محیطی بخش صنعتی را بتوان به خوبی رفع کرد، محصولات کشاورزی و توسعه صادرات کشور برداشته با اعمال تغییراتی در طراحی نمونه اولیه سامانه و خواهد شد.

مراجع

- Aghel, H., Yousefzadeh, S. and Mansouri, H. 2008. The Analysis of effective factors on value of agricultural products experts with emphasis on export standards (pistachio, almond, saffron, date and apple). *J. Econ. Agric. Dev.* 22(1): 125-135. (in Persian)
- Anon. 1991. Unshelled sweet almonds. Annex I: Determination of the moisture content for dry produce (Nuts). United Nations. UNECE Standard DDP-05. New York and Geneva.
- Anon. 2013. FAOSTAT Database. <http://faostat3.fao.org/>(accessed: 25May, 2015).
- Borrell, J. V. R. 2009. Shelling-Separating machine especially for almonds and other soft-shelled nuts. United States Patent Application Publication. Pub. No. US 2009/0301320AL.
- Cetin, A. E., Pearson, T. C. and Tewfik, A. H. 2004a. Classification of closed- and open-shell pistachio nuts using voice-recognition technology. *Trans. ASAE.* 47(2): 659-664.
- 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. International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2004).
- Ebrahimi, E. and Mollazadeh, K. 2010. Integrating fuzzy data mining and impulse acoustic techniques for almond nuts sorting. *Aust. J. Crop Sci. (AJCS).* 4(5): 353-358.
- Eyvani, A. 2008. Walnut acoustic response production and recognition for non-destructive prediction of some physical properties, using artificial neural networks. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tarbiat Modares University. Tehran. Iran. (in Persian)
- Kalkan, H. and Yardimci, Y. 2006. Classification of hazelnuts by impact acoustics. In Proceedings 16th IEEE Signal Processing Society Workshop on MLSP.
- Kalkan, H., Ince, N. F., Tewfik, A. H., Yardimci, Y. and Pearson, T. 2008. Classification of hazelnut kernels by using impact acoustic time-frequency patterns. *EURASIP J. Advances in Signal Processing.* 2008, 1-11.
- Mahmoudi, A. 2006. Development of a suitable algorithm using artificial neural network for sorting of pistachio nuts with closed shells using impact-acoustics. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture. Tehran University. Karaj. Iran. (in Persian)
- Moallemi-Oreh, A. and Minaei, S. 2010. Acoustic tests and its application in agricultural researches. Proceeding of the First National Conference of Mechanization and New Technologies in Agriculture. Feb. 16-18. Ahvaz. Iran. (in Persian)
- Onaran, I., Pearson, T. C., Yardimci, Y. and Cetin, A. E. 2006. Detection of underdeveloped hazelnuts from fully developed nuts by impact acoustics. *Trans. ASAE.* 49(6): 1971-1976.
- 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.
- 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.

- Pearson, T. C. 2001. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. *App. Eng. Agric.* 17(2): 249-253.
- Reshadsedghi, A. Mahmoudi, A. 2013. Detection of almond varieties using impact acoustics and artificial neural networks. *Int. J. Agric. Crop Sci.* 5, 1008-1017.
- 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. *Agric. Sci. Dev.* 3(11): 360-365.

Archive of SID

Construction and Evaluation of Intelligent Acoustic System for Real-Time Grading of Almonds

A. Reshadsedghi^{*}, A. Mahmoudi, V. Azimirad and J. Hajilou

^{*} Corresponding Author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tehran, Iran. Tabriz, Iran. Email: sedghi_al@yahoo.com

Received: 19 June 2015, Accepted: 29 November 2015

This study was conducted to achieve effective and low-cost technology for non-destructive grading of unshelled almonds in real time. A laboratory prototype of an intelligent online impact-acoustic system composed of a feeding unit, acoustical recognition unit, and pneumatic separator with an electronic controller unit was constructed and tested. To evaluate system operation according to almond variety and class (hard, semi-soft, and soft), the effect of an acoustic signal generated by dropping the nuts onto a steel plate was captured by microphone and the amplitude, phase, and power spectral density were extracted from analysis of the sound signal in the time and frequency domains by means of fast Fourier transform. A multilayer perceptron neural network with a LM training function were used in all experiments. The classification accuracy using validation data was about 96.2% in the offline mode, but accuracy decreased to 88% in the online mode. This decrease in accuracy was probably the result of a difference in size and mass of the almond samples in the hard and semi-soft classes.

Keywords: Acoustic, Almond, Artificial Neural Network, Grading System