

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ناخندان با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی مصنوعی

محمود امید*، اصغر محمودی، مهدی علی اکبری و اسدالله اکرم**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۴۱۱۱، تلفن: ۰۲۶۱)۲۸۰۸۱۳۸، پیام‌نگار: omid@ut.ac.ir

** به‌ترتیب دانشیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران؛ استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه تبریز؛ دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد؛ و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۸/۷/۲۵

چکیده

در این تحقیق با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی مصنوعی، یک دستگاه هوشمند برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان طراحی و پیاده‌سازی شد. این سیستم شامل سه بخش تغذیه، تشخیص صوتی، و حذف پسته معیوب (ناخندان) به کمک یک سیستم نیوماتیکی است. صفات پسته‌های خندان و ناخندان، ناشی از برخورد هر یک به صفحه فولادی، توسط یک میکروفون که در زیر صفحه تعبیه شده، اندازه‌گیری و برای ذخیره و پردازش‌های بعدی از طریق کارت صدا به کامپیوتر منتقل می‌شود. برای ارزیابی سیستم، از پسته رقم کله‌قوچی استفاده شد. پسته‌های مذکور توسط سیستم تغذیه تک تک روی صفحه فلزی سقوط می‌کنند. با محاسبه دامنه سیگنال در حوزه زمان و فاز و چگالی طیف توان (انرژی سیگنال) سیگنال صوتی حاصل از مولفه‌های تبدیل فوریه سریع در حوزه فرکانس، صفات لازم برای بردار ورودی شبکه عصبی به دست آمد. به کمک روش آماری تجزیه به مولفه اصلی، هفت مولفه از کل ۲۵۴۸ مولفه (با ۹۹/۷۳ درصد کاهش صفات) برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان انتخاب شد. بیش از ۴۰ شبکه عصبی، هر کدام با تعداد نرون‌های مختلف در لایه مخفی برای تعیین ساختار بهینه، آموزش داده شدند. برای تعیین تعداد بهینه نرون‌ها در لایه مخفی، کمترین میانگین مربع خطا شبکه برای داده‌های اعتبارسنجی در نظر گرفته شد. در نهایت مدل بهینه شبکه عصبی با ساختار ۲-۱۲-۷ به دست آمد. درصد جداسازی صحیح (CSR) یا دقت این سیستم در جداسازی پسته‌های خندان، ناخندان و نیمه خندان پسته رقم کله‌قوچی به ترتیب ۹۷/۳، ۹۶/۷ و ۹۳/۱ درصد است.

واژه‌های کلیدی

پسته، تبدیل فوریه سریع، تجزیه به مولفه اصلی، جداسازی، شبکه عصبی مصنوعی، صوت

مقدمه

مکانیکی است. جداسازی نهایی و بازرسی قبل از بسته‌بندی نیز دستی یا با کاربرد دستگاه‌های الکترومکانیکی است. ارقام مختلف پسته ممکن است به دلایل گوناگون با هم مخلوط باشند از جمله در کشت درهم یا در مراحل برداشت، انتقال، یا

پسته، چه با دست برداشت شود یا با تکاننده باید بعد از پوست‌کنی، خشک و جداسازی شود. جداسازی اولیه پسته‌های با کیفیت پایین معمولاً با شناور کردن آنها در آب و استفاده از جداکننده‌های

انبارداری. جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان به علل اقتصادی و مشتری پسندی اهمیت ویژه‌ای دارد. به دلیل نزدیک بودن ابعاد و ویژگی‌های مرفولوژیکی بسته‌ها و نیز خواص نوری آنها، جداسازی به کمک سیستم‌های مکانیکی و دستگاه‌های الکترونوری نمی‌تواند کارایی بالایی داشته باشد. بازرسی و جداسازی دستی نیز دشوار است و گاهی نتایج مطلوب در پی ندارد.

در طبقه‌بندی محصولات کشاورزی نظیر سیب، پرتقال، گوجه‌فرنگی، و کشمش، اخیراً سیستم‌های ماشین بینایی به کار گرفته شده‌اند که قابلیت پردازش خصوصیات مختلف محصول را با بازدهی بالا دارند. غضنفری و ایرودیاراج (Ghazanfari & Irudayaraj, 1996) برای جداسازی چند نوع پسته ایرانی بر اساس شکل حاصل از تصاویر دو بعدی، از تکنیک غیر پارامتری تطبیق رشته‌ای^۱ استفاده کردند. بر اساس نتایج حاصل از طبقه‌بندی، دقت جداسازی پسته‌های ارقام کله قوچی، اکبری، اوحدی خندان، و اوحدی ناخندان به ترتیب برابر ۹۰، ۹۴، ۸۸ و ۹۰ درصد بود. غضنفری و همکاران (Ghazanfari et al., 1996) برای جداسازی چهار رقم پسته ایرانی از سیستم ماشین بینایی و طبقه‌بندی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. دقت جداسازی برای پسته کله قوچی، اکبری، اوحدی خندان، و اوحدی ناخندان به ترتیب برابر ۹۶/۰، ۹۷/۳، ۹۳/۳ و ۹۷/۳ درصد بود.

در سال‌های اخیر از آزمون‌های آکوستیکی یا صوتی (آزمون غیر مخرب) به طور فزاینده در کشاورزی استفاده شده است. گارسیا و همکاران (Garsia-Ramos et al., 2003) از این تکنیک برای درجه بندی محصولات و تعیین رسیدگی یا سفتی میوه‌ها و دی کتلانتره (De Ketelaere et al., 2000)

از آن برای جداسازی تخم‌مرغ شکسته استفاده کردند. آمده و همکاران (Amoodeh et al., 2006) از یک حسگر صوتی برای تشخیص رطوبت غلات استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، شدت صوت متناسب با رطوبت دانه بود. پیرسون (Pearson, 2001) برای جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان رقم کرمان، از داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صوت در حوزه زمان و آنالیز تشخیصی^۲ استفاده کرد و دقت آن را در حدود ۹۷ درصد گزارش داد. ستین و همکاران (Cetin et al., 2004) نیز از تکنیک تشخیص صدا برای جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان استفاده کردند. این محققان در طبقه‌بندی پسته‌ها، از ترکیب خطی بردارهای مل-سپستروم^۳ و مولفه‌های اصلی حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)^۴ داده‌های حاصل از نمونه‌برداری صوت در حوزه زمان استفاده کردند. دقت سیستم در حدود ۹۹ درصد بود. محمودی و همکاران (Mahmoudi et al., 2006) برای طبقه‌بندی ارقام مختلف پسته یک سیستم هوشمند off-line را با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی طراحی و ارزیابی کردند. این محققان با استفاده از دستگاه ساخته شده، آزمایش‌هایی به صورت off-line برای طبقه‌بندی چهار رقم پسته صادراتی ایران یعنی کله قوچی، اکبری، بادامی، و احمد آقایی انجام دادند. خصوصیات ارقام از تجزیه و تحلیل سیگنال دریافتی در حوزه زمان و در حوزه فرکانس و نیز از روش آماری تجزیه به مؤلفه اصلی استخراج شد.

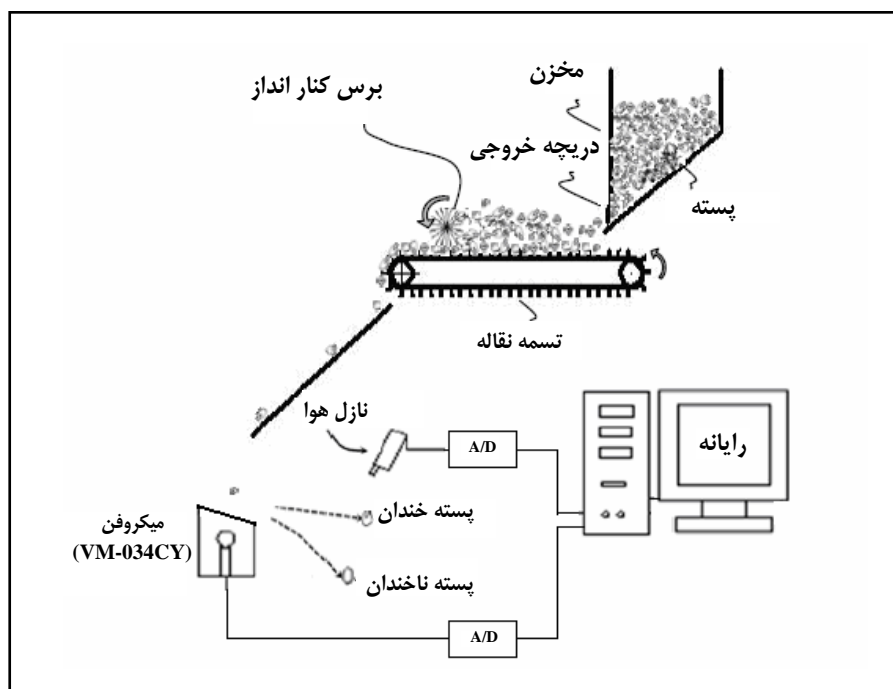
هدف از این تحقیق طراحی، پیاده‌سازی، و ارزیابی یک سیستم هوشمند on-line جهت جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان با تلفیق تکنیک‌های صوتی و شبکه عصبی مصنوعی است.

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ...

خندان و نیم دیگر ناخندان مغزدار) به صورت تصادفی انتخاب و تک تک از طریق سیستم تغذیه خوراک‌دهی شد (شکل ۱).

مواد و روش‌ها

از رقم پسته صادراتی کله‌قوچی در این بخش از تحقیق استفاده شد. در مجموع، ۳۲۰۰ پسته (نیمی



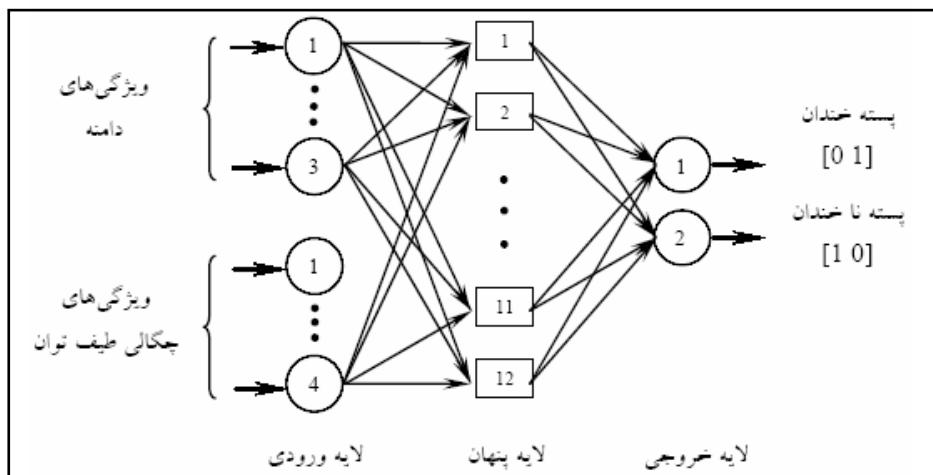
شکل ۱- شمایی از سیستم تغذیه سورتر آکوستیکی

برخورد پسته با صفحه فلزی و ارسال آنها به رایانه از یک میکروفون الکترونیک باناسونیک (VM-034CY) استفاده شد. جهت حذف نویزهای محیطی میکروفون زیر صفحه فلزی و داخل محفظه، عایق نصب شد. دیواره این محفظه چوبی و داخل آن از پشم شیشه پر شده است. جهت حذف بیشتر نویزهای محیط و ضبط فقط سیگنال‌های حاصل از برخورد پسته با صفحه فلزی، از یک حسگر پیزوالکتریک نصب شده روی سطح برخورد استفاده شد. با برخورد پسته با این سطح حسگر پیزوالکتریک یک ولتاژ تحریک تولید و توسط مدار واسط به رایانه ارسال می‌کند و در نتیجه، برنامه مربوط فعال و سیگنال دریافت شده توسط میکروفون، در رایانه ضبط می‌شود.

سورتر طراحی شده شامل واحد تغذیه، واحد تولید صوت، و واحد حذف نیوماتیکی است. واحد تغذیه از یک مخزن، تسمه نقاله سلول‌دار، برس کنار انداز، و موتور الکتریکی تشکیل شده است. پسته‌ها بعد از خروج از مخزن و قرارگیری داخل سلول‌های تسمه نقاله از زیر برس کنار انداز عبور می‌کنند. برس کنار انداز با حرکت دورانی در خلاف جهت حرکت تسمه نقاله پسته‌های اضافی روی تسمه نقاله را کنار می‌زند و سبب می‌شود که سلول‌های تسمه نقاله فقط با یک پسته از زیر آن عبور کنند و تک تک روی سطح فلزی بریزند. صفحه فلزی از جنس استیل براق شده با ابعاد ۱۴۰×۱۴۰ میلی‌متر و ضخامت ۱۵ میلی‌متر انتخاب شد، جهت دریافت سیگنال‌های تولید شده ناشی از

برحسب ولت، نمونه‌برداری و در حوزه فرکانس به کمک تبدیل فوری سریع، چگالی طیف توان، اندازه و فاز سیگنال محاسبه شد. به منظور جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان، از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه شامل یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی، مطابق شکل ۳ استفاده شد (Mahmoudi *et al.*, 2006). این شبکه‌ها پس از پیشنهاد الگوریتم پس انتشار توسط راملهارت و همکاران (Rumelhurt *et al.*, 1986) در واقع تولدی دوباره یافتند. این شبکه‌ها عموماً به الگوریتم پس انتشار خطا مشهورند زیرا خطای خروجی مدل به عقب و به داخل سیستم برگردانده می‌شود تا شرایط تجدید و تنظیم وزن‌های لایه‌های مخفی فراهم آید. در این حالت با تصحیح پیوسته خطا، وزن‌های مناسب برای سیستم به دست می‌آید. در این تحقیق از الگوریتم یادگیری نزول گرادیان با مومنتوم (GDM)^۱ استفاده شده است که به افزایش سرعت یادگیری بدون داشتن نوسان منجر می‌شود. جزئیات بیشتر در این خصوص در هایکین (Haykin, 1999) یافت می‌شود.

داده‌های حاصل از سیگنال‌های صوتی در حوزه زمان در حالت on-line برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی در رایانه ذخیره می‌شوند. در این آزمایش‌ها، از هر سیگنال ۵۰۰ نمونه ولتاژ نمونه‌برداری شد. برای دستیابی و ذخیره اطلاعات حاصل از برخورد پسته‌ها به صفحه فلزی و حذف پسته‌های ناخندان در حالت on-line، یک مدار واسط الکترونیکی طراحی شد. به این ترتیب که با تشخیص ناخندان بودن پسته‌ها توسط برنامه طراحی شده، رایانه رله الکتریکی مدار واسط را فعال می‌کند که به تبع آن شیر سولنوئیدی (Bestell-Nr., MV-4.1.8S) فعال می‌شود و با جریان هوا، پسته ناخندان از جریان پسته‌های خندان جدا خواهد شد. برای داده‌برداری، محاسبه، آموزش، و حذف پسته‌های ناخندان، از کدهای نوشته شده در MATLAB استفاده شد. جزئیات کامل مراحل طراحی سورترو، انتخاب حسگرها، واحد تغذیه، مدار واسط، مدار نیوماتیکی و کدهای برنامه در پایان‌نامه علی اکبری (Aliakbari, 2009) موجود است. در حوزه زمان مقادیر پیک (peak) دامنه سیگنال،



شکل ۲- توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی (ANN) سیستم جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان

1- Radient Descent with Momentum (GDM)

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ...

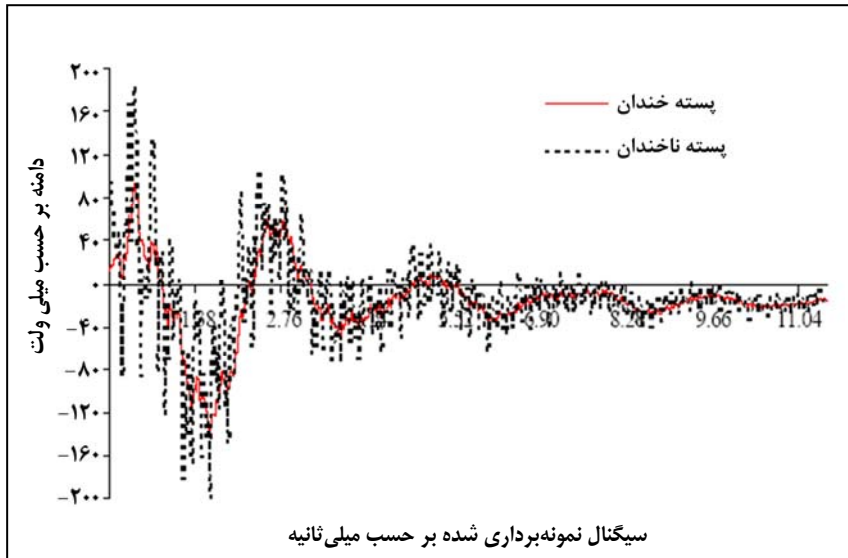
حوزه زمان با ۵۰۰ نمونه برای یک پسته خندان و یک پسته ناخندان نشان داده شده است. در مجموع، اطلاعات مربوط به ۱۶۰۰ پسته خندان و ۱۶۰۰ پسته ناخندان بدین صورت جمع‌آوری و در رایانه ذخیره شد. در حوزه فرکانس بر مبنای تبدیل فوریه سریع (FFT)^۱ و به کمک نرم‌افزار MATLAB، برای هر سیگنال، چگالی طیف توان، اندازه و فاز سیگنال صوتی محاسبه شد. در شکل ۴، منحنی اندازه تبدیل فوریه سریع مربوط به پسته‌ها نشان داده شده است.

کلیه ویژگی‌های فوق، به غیر از اندازه تبدیل فوریه سریع که اطلاعات آن در نمودار چگالی طیف توان نهفته است، برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان در نظر گرفته شدند. با در نظر گرفتن سه عامل دامنه، ناز، و چگالی طیف توان، ۵۰۰ داده برای دامنه، ۱۰۲۴ داده برای فاز، و ۱۰۲۴ داده برای چگالی طیف توان خواهیم داشت. اگر هر یک از این داده‌ها را یک ویژگی در نظر بگیریم، برای هر پسته ۲۵۴۸ ویژگی خواهیم داشت. به سبب تقارن زوج برای چگالی طیف توان و تقارن فرد برای فاز می‌توان نصف داده‌های مرتبط با چگالی طیف توان و نصف داده‌های مرتبط با فاز را حذف کرد. در این حال تعداد ویژگی‌ها برای هر پسته به ۱۵۲۴ کاهش خواهد یافت.

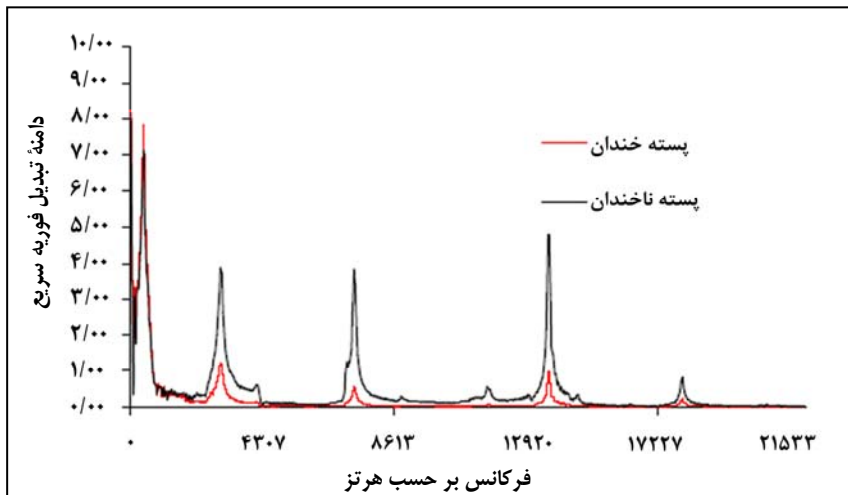
در شکل ۲، برای لایه ورودی ۷ نرون نشان داده شده است که هر کدام بیان‌کننده یک ویژگی انتخابی است. برای افزایش سرعت یادگیری سیستم در حالت زمان واقعی تنها یک لایه پنهان برای شبکه در نظر گرفته شد. لایه خروجی با توجه به خندان یا ناخندان بودن پسته‌ها، شامل دو نرون است که بیان‌کننده مقادیر مطلوب است. برای تعیین تعداد نرون‌ها در لایه میانی، به ازای تکرارهای ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، و ۲۰۰ میزان حداقل میانگین مربعات خطا برای داده‌های اعتبارسنجی شبکه در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج حاصل، مقادیر به دست آمده برای شبکه با ۱۲ نرون در لایه پنهان از حداقل انحراف معیار برخوردار است و نتایج آن ثبات بیشتری دارد. با کاهش تعداد نرون‌ها به کمتر از ۱۲، مقدار میانگین مربعات خطا افزایش می‌یابد. با افزایش تعداد نرون‌ها به بیشتر از ۱۲، کاهش معنی‌دار در میزان میانگین مربعات خطا مشاهده نشد.

برای انتخاب ورودی شبکه، ویژگی‌های سیگنال صوتی حاصل از برخورد پسته به صفحه فلزی، در حوزه زمان و فرکانس مدنظر قرار گرفت. در حوزه زمان مقادیر پیک دامنه سیگنال (Amplitude) بر حسب ولت نمونه‌برداری شد. در شکل ۳، منحنی دامنه سیگنال در

1- Fast Fourier Transform (FFT)



شکل ۳- منحنی دامنه سیگنال در حوزه زمان برای پسته رقم کله قوچی با ۵۰۰ نمونه



شکل ۴- سیگنال انتقال یافته از حوزه زمان به حوزه فرکانس با استفاده

از دامنه تبدیل فوریه سریع

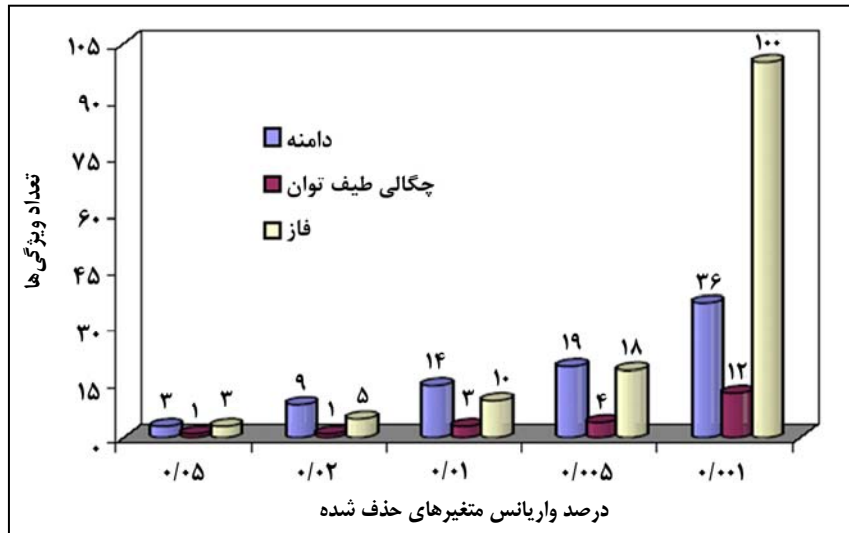
داده‌های نرمال شده صورت گرفت. نتایج به دست آمده از این روش و تأثیر متقابل میزان واریانس ویژگی‌های صرف نظر شده و تعداد مولفه‌های اصلی باقیمانده در شکل ۵ نشان داده شده است. برای یافتن حداقل تعداد مولفه‌های ورودی شبکه، که بالاترین دقت جداسازی را

این حجم از ویژگی‌ها برای تشخیص و سورت کردن پسته‌ها بسیار بالاست از این رو برای کاهش تعداد ویژگی‌ها یا استخراج ویژگی‌های مؤثر از روش آماری تجزیه به مولفه‌های اصلی استفاده شد. تجزیه به مولفه‌های اصلی توسط نرم افزار MATLAB روی

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ...

سرانجام بهترین ترکیب انتخابی با در نظر گرفتن حداقل تعداد ویژگی‌ها و کمترین مقدار میانگین مربعات خطا، شامل ۷ ویژگی است. در این ترکیب، ۳ ویژگی دامنه و ۴ ویژگی چگالی طیف توان قرار دارد. نسبت کاهش ۲۵۴۸ ویژگی به ۷ ویژگی برابر ۹۹/۷۳ درصد است.

داشته باشد، ۴۳ ترکیب از مولفه‌های فوق به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده شدند. در تمامی شبکه‌ها تعداد نرون‌ها در لایه ورودی بین ۱ تا ۱۴۸ با توجه به شکل ۵ تغییر داده شدند، درحالی‌که ۱۲ نرون برای لایه پنهان و دو نرون برای لایه خروجی در نظر گرفته شد.



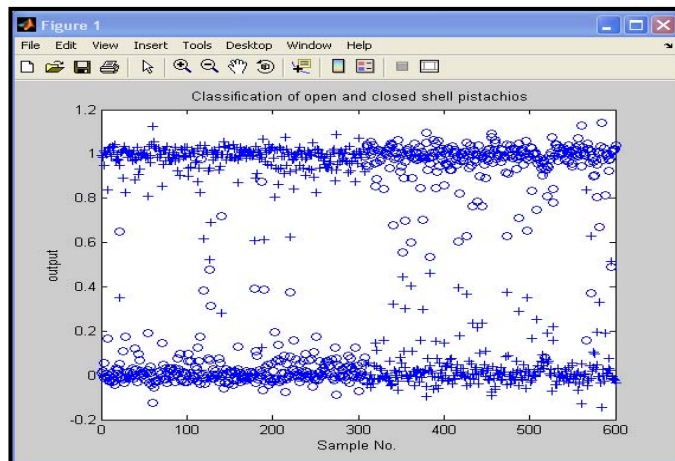
شکل ۵- تأثیر متقابل میزان واریانس ویژگی‌های حذف شده و تعداد مؤلفه‌های اصلی باقیمانده

آموزش شبکه، خروجی شبکه عدد صحیح بین صفر و یک نخواهد داشت. نتایج خروجی به ازای داده‌های آزمایشی برای شبکه ۲-۱۲-۷ در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اکثر خروجی‌ها نزدیک به صفر یا یک هستند. درحالی‌که نتیجه نهایی خروجی باید به صورت یک عدد باینری (۰ یا ۱) باشد. بنابراین، هر نقطه باید فقط یک مقدار صفر یا یک داشته باشد. جهت تبدیل مقادیر فوق به صفر و یک، کدی به برنامه اضافه شد. بر مبنای کد نوشته شده، در صورتی که جزء اول از جزء دوم بزرگتر باشد، زوج مذکور به [۰ و ۱]، یعنی پسته خندان تغییر می‌یابد و گرنه به [۱ و ۰]، یعنی پسته ناخندان تبدیل می‌شود. درحالی‌که در خروجی درایه‌های اول و دوم با هم مساوی باشند، این حالت نیز باید به عنوان طبقه‌بندی نادرست در نظر گرفته شود. نتیجه حاصل

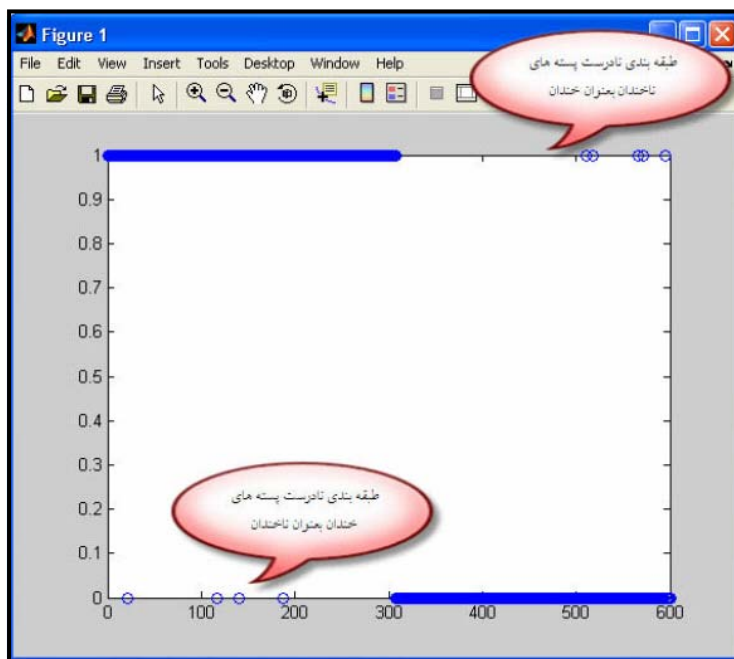
نتایج و بحث

برای طراحی شبکه‌های عصبی، از جعبه ابزار شبکه عصبی نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. برای آموزش بهتر شبکه و جلوگیری از حفظ کردن الگوهای داده‌ها توسط شبکه، در کدهای مربوط به آموزش و آزمون شبکه تغییراتی داده شد. در این حالت، داده‌ها قبل از آموزش شبکه به حالت تصادفی توزیع می‌شوند. جهت ارزیابی عملکرد شبکه در طبقه‌بندی صحیح و دقت آن در تشخیص خندان یا ناخندان بودن پسته‌ها، داده‌های آزمایشی به عنوان ورودی به شبکه داده شدند. از آنجا که داده‌های خروجی شبکه به صورت باینری (دو مقداری) انتخاب شده بودند (پسته‌های خندان با [۰ و ۱] و پسته‌های ناخندان با [۱ و ۰]) نتایج خروجی به صورت یک زوج عدد در بازه [۰ ۱] است. همچنین به خاطر کاربرد تابع سیگموئید، در

از تبدیل درایه‌های اول و دوم به صفر و یک، در شکل ۷ نشان داده شده است. نمونه‌ها از ۱ تا ۳۰۰ مربوط به پسته‌های ناخندان است. به پسته‌های خندان و شماره‌های ۳۰۱ تا ۶۰۰ مربوط



شکل ۶- خروجی شبکه عصبی ۲-۱۲-۷ به ازای داده‌های آزمایشی



شکل ۷- نتیجه حاصل از تبدیل زوج درایه‌ها به تک رقم صفر و یک و مقادیر طبقه‌بندی نادرست

داده‌برداری، محاسبه، آموزش، و حذف پسته‌های ناخندان، از کدهای نوشته شده در MATLAB استفاده شد. برنامه پس از دریافت ورودی از طریق مدار واسط، محاسبات مربوط به نرمال کردن داده‌ها، برای ارزیابی سیستم طراحی شده در حالت زمان واقعی، ۱۰۰۰ عدد از هر یک از پسته‌های خندان، ناخندان، و نیمه‌خندان توسط واحد تغذیه با سرعت ۳ پسته در ثانیه روی صفحه فلزی سقوط داده شد. برای

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ...

پسته‌های ناخندان و نیمه خندان در این سیستم بیشتر از کلیه سیستم‌های قبلی است. در مورد جداسازی پسته‌های خندان و ناخندان سیستم حاضر و سیستم صوتی ارائه شده توسط پیرسون (Pearson, 2001) نتایج بهتری به دست می‌دهند.

جهت بررسی میزان موفقیت سیستم در جداسازی صحیح پسته‌های خندان و ناخندان در اندازه‌های بزرگ (قطر ۱۳ تا ۱۶ میلی‌متر)، متوسط (قطر ۱۲ تا ۱۴ میلی‌متر) و کوچک (قطر ۱۰ تا ۱۳ میلی‌متر)، آزمایش‌هایی در حالت زمان واقعی با ۳۰۰ پسته برای هر گروه اجرا شد. در جدول ۲ نتایج حاصل از جداسازی بر مبنای اندازه و خندان و ناخندان بودن پسته‌ها برای تحقیق حاضر با نتایج سیستم‌های موجود مقایسه شده‌اند. با توجه به نتایج، اندازه پسته‌ها تاثیر معنی‌داری در تشخیص و جداسازی آنها نداشته است.

تبدیل فوریه سریع، کاهش صفات به کمک تجزیه به مولفه اصلی، ایجاد ماتریس ورودی شبکه، آموزش شبکه، نتیجه نهایی دال بر خندان یا ناخندان بودن پسته را اعلام می‌کند. بر مبنای این تشخیص، هر زمان پسته به ناخندان تشخیص داده می‌شد رله الکتریکی وارد عمل می‌شد و شیر سولنوئیدی را باز و بسته می‌کرد. فرکانس باز و بسته شدن شیر سولنوئیدی استفاده شده ۳ هرتز است. مدت زمان کلیه محاسبات فوق‌الذکر در یک رایانه شخصی با CPU برابر ۱۸۰۰ گیگاهرتز حدود ۰/۰۲ ثانیه طول کشید.

بر اساس آزمایش‌ها، دقت تشخیص پسته‌های خندان، نیمه خندان، و ناخندان به ترتیب ۹۶/۷، ۹۷/۳ و ۹۳/۱ به دست آمد. نتایج حاصل از جداسازی به صورت زمان واقعی برای تحقیق حاضر با نتایج سیستم‌های موجود مقایسه شده‌اند (جدول ۱). با توجه به این نتایج، مشاهده می‌شود که میزان جداسازی

جدول ۱- مقایسه بین نتایج جداسازی سیستم‌های ارائه شده برای جداسازی پسته‌ها بر اساس شکاف پسته

سیستم‌های طبقه‌بندی بر اساس شکاف پسته								
پیرسون (Pearson, 2001)						سورتر ساخته شده در تحقیق حاضر		
سورتر مکانیکی		سورتر تصویری		سورتر صوتی				
ناخندان	خندان	ناخندان	خندان	ناخندان	خندان	ناخندان	خندان	نوع شکاف پسته
(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	(درصد)	
۹۵/۰	۵/۰	۹۳/۲	۶/۸	۹۶/۱	۳/۹	۹۶/۷	۳/۳	ناخندان
۹۲/۰	۸/۰	۳۵	۶۴/۳	۱۵/۰	۸۵/۰	۶/۹	۹۳/۱	نیمه خندان
۳/۰	۹۷/۰	۳/۶	۹۶/۴	۲/۰	۹۸/۰	۲/۷	۹۷/۳	خندان

جدول ۲- مقایسه نتایج جداسازی سیستم‌های صوتی برای اندازه‌های مختلف پسته خندان و ناخندان

پیرسون (Pearson, 2001)		ستین (Cetin, 2004)		نتایج این پژوهش		اندازه پسته (میلی‌متر)
ناخندان	خندان	ناخندان	خندان	ناخندان	خندان	
۹۸/۷	۹۷/۷	۹۵/۴	۹۸/۹	۹۴/۷	۹۶/۷	۱۰-۱۳
۱۰۰	۹۴	۹۷/۹	۹۹/۳	۹۸/۷	۹۸/۰	۱۲-۱۴
۹۸/۳	۹۸/۳	۹۴/۹۶	۹۸/۶	۹۸/۷	۹۷/۰	۱۳-۱۶
۹۸/۸	۹۶/۸	۹۶/۸	۹۸/۹	۹۷/۳۳	۹۷/۲۲	میانگین

نتیجه گیری

خندان ۹۸/۷۰ و ناخندان ۹۸/۲۹ درصد، و در حالت آزمون on-line برای پسته‌های خندان ۹۷/۳ و ناخندان ۹۶/۷ درصد حاصل شد. همچنین، دقت جداسازی سیستم فوق برای پسته‌های نیمه‌خندان ۹۳/۱ درصد است، که در مقایسه با عملکرد سیستم‌های موجود ارائه شده در جدول ۱ قابل قبول خواهد بود. به‌ویژه در خصوص جداسازی پسته‌های نیمه‌خندان در مقایسه با سایر سیستم‌ها، مقادیر بیشتری از پسته‌های نیمه‌خندان را در گروه پسته‌های خندان قرار می‌دهد. این عمل از جنبه اقتصادی قابل توجه است. لازم به ذکر است که سیستم‌های مکانیکی موجود تنها قادر به جداسازی ۸ درصدی پسته‌های نیمه‌خندان در گروه پسته‌های خندان هستند زیرا سوزن‌ها نمی‌توانند به راحتی با این پسته‌ها درگیر شوند (Pearson, 2001). زمان موردنیاز برای تشخیص و حذف پسته‌های ناخندان در حدود ۰/۰۳ ثانیه است. لذا با کاربرد یک شیر سولنوئیدی با دقت ۰/۰۱ ثانیه می‌توان ۲۵ عدد پسته را در ثانیه حذف کرد. این تعداد دقیقاً برابر تعداد پسته‌های قابل حذف در سیستم جداسازی پیرسون (Pearson, 2001) است. با توجه به دقت سیستم ارائه شده، این دستگاه می‌تواند جایگزین مناسبی برای سیستم‌های جداسازی مکانیکی متداول باشد.

در این تحقیق از یک روش نوین مبتنی بر تلفیق تکنیک‌های صوت و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای جداسازی پسته‌های خندان از ناخندان استفاده شده است. خصوصیات دامنه سیگنال در حوزه زمان به همراه چگالی طیف توان در حوزه فرکانس، و کاربرد روش آماری تجزیه به مولفه‌های اصلی برای کاهش ویژگی‌ها، می‌تواند حداقل مولفه‌های مورد نیاز را برای تشخیص سریع نوع خندان یا ناخندانی پسته فراهم کند. در این سیستم، صدمات ناشی از به‌کارگیری سیستم‌های جداسازی مکانیکی متداول موجود (Pearson, 2001)، به سبب فرو رفتن سوزن در مغز پسته‌های خندان، وجود ندارد. ضمناً، سیستم پیشنهادی نسبت به سیستم ماشین بینایی (Ghazanfari *et al.*, 1996) دقت بالاتر و هزینه کمتری دارد. این سیستم به سبب غیر مخرب بودن، به پسته‌های خندان آسیبی وارد نمی‌کند و لذا باعث ارتقاء کیفیت و مشتری‌پسندی بیشتر محصول پسته و افزایش صادرات خواهد شد.

دقت سیستم برای طبقه‌بندی پسته‌های خندان و ناخندان، در حالت آموزش با داده‌های ذخیره شده در حالت on-line قابل قبول بود. دقت جداسازی برای داده‌های آزمون شبکه آموزش یافته برای پسته‌های

مراجع

- Aliakbari, M. 2009. Development and Testing of Feeder Unit for Pistachio Sorting Machine. M. Sc. Thesis. Department of Agricultural Machinery. University of Tehran. Karaj. Iran.
- Amodeh, M. T., Khoshtaghaza, M. H. and Minaei, S. 2006. Acoustic on-line grain moisture meter. *Computers and Electronics in Agriculture*. 52, 71-78.
- Cetin, A. E., Pearson, T. C. and Tewfik, A. H. 2004. Classification of closed and open shell pistachio nuts using voice recognition technology. *Trans. ASAE*. 47(2): 659-664.

سیستم هوشمند جداسازی زمان واقعی پسته‌های خندان و ...

- De Ketelaere, B., Coucke, P. and Baerdemaeker, J. 2000. Eggshell crack detection based on acoustic resonance frequency analysis. *J. Agric. Eng. Res.* 76(2): 157-163.
- Garsia-Ramos, F. J., Ortiz-Canavate, J., Ruiz-Altisent, M., diez, J., Flores, L., Homer, I. and Chavez, J. M. 2003. Development and implementation of an on-line impact sensor for firmness sensing of fruits. *J. Food Eng.* 58, 53-57.
- Ghazanfari, A., and Irudayaraj, J. 1996. Classification of pistachio nuts using a string matching technique. *Trans. ASAE.* 39(3):1197-1202.
- Ghazanfari, A., Irudayaraj, J. and Kusalik, A. 1996. Grading pistachio nuts using a neural networks approach. *Trans. ASAE.* 39(6):2319-2324.
- Haykin, S. 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation.* Prentice Hall. New Jersey.
- Mahmoudi, A., Omid, M., Aghagolzadeh, A. and Borghayee, A. M. 2006. Grading of Iranian's export pistachio nuts based on artificial neural networks. *Int. J. Agric. Biology.* 8(3): 371-376.
- Pearson, T. C. 2001. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. *Appl. Eng. Agric.* 17(2): 249- 253.
- Rumelhurt, D. E., Hinton, G. E. and Williams, R. J. 1986. Learning internal representations by back-propagation errors. *Nature.* 322, 533-536.

An ANN and Acoustic-Based Machine for Sorting Pistachio Nuts

M. Omid*, A. Mahmoudi, M. A. Akbari and A. A. Akram

* Corresponding Author: Associate Professor, Tehran University, P. O. Box: 4111, Karaj, Iran. E-mail: omid@ut.ac.ir

In this study, an intelligent system for sorting closed shell and open shell pistachio nuts, was designed and developed based on combined acoustic and artificial neural network (ANN) techniques. The system included a microphone, PC, material handling equipment and an air reject pneumatic mechanism. The microphone, placed under the steel plate, received sound signals generated by the pistachio nut impact and measured the features extracted from the sound signals of the closed and open shelled nuts. The system was evaluated using the Kaleghouchi variety of pistachio nut. Features necessary for identification were extracted from the analysis of the sound signals in the time and frequency domains by means of fast fourier transform (FFT), power spectral density (PSD) and principle component analysis (PCA). Finally, using PCA, seven features were isolated to separate the pistachio nuts, such as a 99.73% reduction in features. More than 40 different ANNs topologies, each having different numbers of neurons in their hidden layers, were designed and evaluated. The optimal model was selected after several evaluations that minimized mean square error (MSE) and correct separation rate (CSR). The optimal ANN model for this system was a 7-12-2 configuration. The total system accuracy (CSR) for the three pistachio split types (closed shell, open shell and thin split) were 96.7%, 97.3% and 93.1%, respectively.

Key Words: Acoustic, ANN, FFT, PCA, Pistachio, Pneumatic, Separation