مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۳/پاییز ۱۳۸۷/ص ۱۳۴-۱۲۳

تشخیص پسته‌های پوک از مغزدار با استفاده از انعکاس و پردازش صدا در دو حوزه زمان و فرکانس

امین رستمی، احمد غضنفری مقدم*، سیامک طالبی و سید جواد سجادی**

* نگارنده مسئول، نشانی: کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص. پ. ۱۳۳-۷۶۱۶۹، تلفن: ۳۲۰۲۶۲۶(۰۳۴۱)، پیام‌نگار: aghazanfari@mail.uk.ac.ir

** به‌ترتیب کارشناس ارشد؛ دانشیار؛ استادیار دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ و دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید باهنر کرمان.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۸

چکیده

پسته مهم‌ترین محصول صادراتی غیر نفتی ایران محسوب می‌شود؛ وجود پسته‌های پوک در میان پسته‌های مغزدار، باعث افت کیفیت و قیمت محصول می‌شود. در پایانه‌های فراوری پسته، معمولاً پسته‌های پوک را از پسته‌های مغزدار با روش شناوری در آب یا با استفاده از دستگاه‌های مکانیکی جدا می‌کنند که روش‌های مکانیکی دقت بالایی ندارند و روش شناوری نیز احتمال انتقال قارچ را از پسته‌های آلوده به پسته‌های غیر آلوده بالا می‌برد. در مقالهٔ حاضر روشی مبتنی بر آنالیز انعکاس صدای برخورد پسته با صفحه‌ای فولادی در دو حوزهٔ زمان و فرکانس پیشنهاد شده است. برای این کار، دستگاهی مرکب از یک جعبهٔ آکوستیک متصل به رایانهٔ شخصی تهیه شد. ابتدا نمونه‌هایی از دانه‌های پسته بر اساس اندازه به سه گروه درشت، متوسط، و ریز تفکیک و سپس هر گروه بر اساس وزن به دو گروه پوک و مغزدار تقسیم شد. انعکاس صدای هر برخورد از طریق میکروفن به رایانه منتقل و در دو حوزهٔ زمان و فرکانس آنالیز شد. شناسایی رایانه‌ای بر اساس روش نزدیک‌ترین فاصله به میانگین صورت گرفت. بهترین نتایج برای گروه درشت به‌دست آمد. در این جداسازی دقت ۹۸/۷۵ درصد برای تشخیص پسته‌های درشت پوک و ۸۲/۵۰ درصد برای تشخیص پسته‌های درشت مغزدار به‌دست آمد. نتایج به دست آمده از دقت تشخیص برای گروه‌های دیگر نیز نسبتاً مناسب بود. حداقل دقت جداسازی برای دانه‌های متوسط مغزدار، معادل ۶۲/۷۵ درصد به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی

آکوستیک، پردازش صدا، پسته پوک، پسته مغزدار، جداسازی

مقدمه

پسته محصولی است مخصوص مناطقی با آب و هوای خشک؛ پسته در مناطق خاورمیانه، ایالات متحده، و کشورهای مدیترانه‌ای کشت می‌شود. که تولید این محصول به‌طور چشمگیری طی ۲۰ سال گذشته در این مناطق افزایش یافته است (Kashaninejad *et al.*, 2006). ایران و آمریکا دو کشور عمدهٔ تولید کننده پسته محسوب می‌شوند (Polat *et al.*, 2007). ایران با تولید بیش از ۲۵۰۰۰۰ تن در سال ۲۰۰۳ و صادرات ۱۱۵۳۳۵ تن به کشورهای مختلف در سال ۲۰۰۲ (Kashaninejad *et al.*, 2006)، بزرگترین کشور در تولید و صادرات این محصول به‌شمار می‌آید. وجه تمایز ارقام پسته در شکل ظاهری و کیفیت آنهاست، در ایران بیش از ۶۰ رقم پسته شناخته شده است (Mahmoudi *et al.*, 2006). پس از برداشت

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

پسته، باید بلافاصله عملیات فراوری این محصول شامل تمیز کردن، پوست‌گیری، و خشک‌کردن دنبال شود تا کیفیت پسته حفظ و از آلودگی آن به افلاتوکسین جلوگیری شود.

جداسازی پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار یکی از عملیات فراوری پسته به‌شمار می‌آید. پستهٔ پوک که عاری از مغز کامل است و این مغز قابل استفاده نخواهد بود. مغز پسته به دلایل مختلف از جمله کمبود مواد غذایی، گردافشانی ناقص، و مناسب نبودن شرایط جوی به‌خوبی رشد نمی‌کند و باعث به‌وجود آمدن پسته پوک می‌شود. میزان پستهٔ پوک، یکی از شاخص‌های قیمت‌گذاری این محصول در بازار است به‌طوری‌که هرچه درصد پوکی پسته در یک واحد مشخص بالا رود میزان قیمت آن واحد کاهش می‌یابد.

پسته‌های مغزدار ممکن است دهن باز، دهن نیم باز، یا دهن بسته باشند، درحالی که پسته‌های پوک دهن بسته‌اند؛ از این رو در ظاهر تفاوتی بین پسته‌های پوک و پسته‌های مغزدار دهن بسته وجود ندارد و تنها اختلافشان در جرم یا جرم در واحد حجم (چگالی) آنهاست؛ بنابراین عملیات جداسازی پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار دهن بسته که از لحاظ شکل ظاهری یکسان هستند و ممکن است پس از مرحله خشک‌کردن صورت بگیرد، مهم و مشکل می‌شود. روش‌هایی متعدد برای جداسازی پسته‌های پوک اجرا شده است، از جمله استفاده از جریان هوا، شناورکردن پسته در آب، و به‌کارگیری سیستم‌های مکانیکی است، که اصل کلی در این روش‌ها وجود اختلاف جرم و یا اختلاف چگالی بین دو گروه پستهٔ پوک و مغزدار است.

اخیراً توجه زیادی به روش‌های هوشمند جداسازی پسته معطوف شده است از جمله استفاده از شبکه‌های عصبی توسط غضنفری و ایروداياراج (Ghazanfari & Irudayaraj, 1996) استفاده از ماشین بینایی توسط پیرسون و اسلاتر (Pearson & Slaughter, 1996). یکی از روش‌های هوشمندی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته استفاده از انعکاس صداست؛ محققان توانسته‌اند به کاربردهای بسیاری از این روش در علوم کشاورزی و غیره دست یابند. پیرسون (Pearson, 2001) برای تشخیص پسته‌های دهن بسته از پسته‌های دهن باز از این روش بهره برد؛ او صدای برخورد[1] پسته با یک سطح مشخص را برداشت و آن را پردازش کرد و نتایج چشمگیرتری نسبت به روش جداسازی مکانیکی به‌دست آورد؛ پیرسون با سرعت ۴۰ پسته در ثانیه توانست با دقت ۹۷ درصد (با ۲ درصد افزایش نسبت به نوع مکانیکی) پسته‌های پوک را جدا کند. ستین و همکاران (Cetin *et al.*, 2004) برای جداسازی پسته‌های دهن باز و دهن بسته از تکنولوژی بازشناسی صدا[2] کمک گرفته‌اند. پیرسون و همکاران (Pearson *et al.*, 2005) برای جداسازی گندم‌های آفت زده و خراب (سوراخ دار که موجب کاهش کیفیت آرد می‌شوند) از گندم‌های سالم و کامل از تکنیک صدای برخورد بهره جستند. محمودی و همکاران (Mahmoudi *et al.*, 2006)، چگونگی درجه‌بندی ارقام صادراتی پستهٔ ایران (کله قوچی، اکبری، بادامی، و احمدآقایی) را با استفاده از پردازش صدای برخورد آنها در دو حوزهٔ زمان و فرکانس بررسی کردند، مشخصه‌های استخراجی از پردازش‌ها را به‌عنوان ورودی شبکه‌های عصبی در نظر گرفتند، و دقت درجه‌بندی را برای چهار رقم پسته به‌طور میانگین، ۹۷/۵۱ درصد به‌دست آوردند. دیزما آیگلسیاس و همکاران (Diezma Iglesias *et al.*, 2004) نیز از انعکاس صدای ضربه برای تشخیص کیفیت داخلی هندوانه بهره بردند و توانستند هندوانه‌های سالم

1- Impact Acoustic
2- Voice Recognition

را از هندوانه‌های دارای شکاف یا حفرهٔ بزرگ در قسمت گوشت‌دار یا از هندوانه‌های کال، نارس یا ضرب‌دیده تشخیص دهند. دی بلی و همکاران (De Blie *et al*., 2000) به کمک انعکاس صدای برخورد، روند تغییر در میزان سفتی دو رقم گلابی (Conference & Doyenne) را قبل و بعد از برداشت بررسی کردند تا بهترین زمان برداشت را تخمین بزنند.

تشخیص و جداسازی پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار به لحاظ شکل ظاهری و اندازهٔ یکسان آنها با دستگاه‌های غربالی ممکن نیست و استفاده از روش‌های غوطه‌وری نیز باعث آلودگی پسته به قارچ مولد افلاتوکسین می‌شود. در این تحقیق امکان این جداسازی با استفاده از پردازش سیگنال‌های صوتی به‌دست آمده از برخورد پسته‌ها با سطحی فولادی در دو حوزهٔ زمان و فرکانس بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی پسته

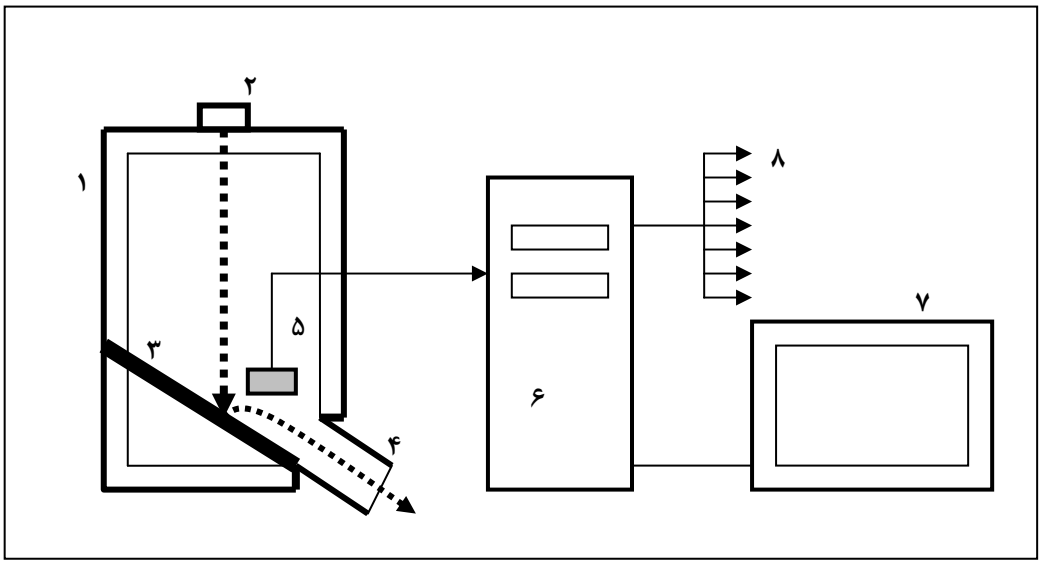
در این تحقیق از پستهٔ رقم اوحدی استفاده شد که در شهریور ۱۳۸۵ از باغ‌های اطراف شهر کرمان برداشت شده بودند. برای اجرای آزمایش‌ها، پسته‌ها باید به دو گروه پوک و مغزدار تفکیک می‌شدند. پسته‌ها در اولین مرحله با استفاده از کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر، بر اساس اندازه (میانگین قطر متوسط هندسی) به سه گروه درشت، متوسط، و ریز تقسیم شدند (در کارگاه‌های فراوری همین عمل با غربال‌های استوانه‌ای دوار اجرا می‌شود)، پس از آن بر اساس اختلاف جرم، دو گروه پوک و مغزدار به‌دست آمد، به‌طوری که برای هر یک از گروه‌های درشت، متوسط و ریز به‌صورت جداگانه جرم پسته‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم سنجیده شد تا در هر گروه پسته‌های پوک از مغزدار جدا شدند؛ بنابراین شش گروه پسته و هر گروه شامل ۵۰ عدد پسته، برای اجرای آزمایش آماده شد. این شش گروه عبارت‌اند از: پسته‌های درشت پوک، پسته‌های درشت مغزدار، پسته‌های متوسط پوک، پسته‌های متوسط مغزدار، پسته‌های ریز پوک، پسته‌های ریز مغزدار.

شرح دستگاه

برای گرفتن و انتقال سیگنال‌های صوتی به رایانه از یک جعبه آکوستیک و یک میکروفون (Altec Lansing ABM 100i) متصل به رایانه استفاده شد. جعبهٔ آکوستیک از سه قسمت عمده بدنه، صفحه برخورد و میکروفن تشکیل شده است (شکل ۱). بدنه جعبهٔ آکوستیک اتاقکی است از جنس چوب به ابعاد ۵۰۰×۳۵۰×۲۵۰ میلی‌متر که دیواره‌ها، کف، و سقف آن با یونولیت به ضخامت ۵۰ میلی‌متر پوشیده شده است تا در مقابل صدای محیط عایق باشد. برای انتخاب جنس و شیب صفحهٔ برخورد، از میان صفحات فولادی و سرامیکی و شیب‌های ۲۰ و ۷۰ درجه، آزمایش‌های متفاوتی انجام شد که سرانجام با آنالیز نتایج به‌دست آمده بر اساس طرح فاکتوریل ۲×۲، صفحه برخورد فولادی با ابعاد ۱۰×۱۵۰×۲۰۰ میلی‌متر و شیب ۷۰ درجه نسبت به سطح افق برای استحصال داده‌ها انتخاب شد (Rostami, 2007). میکروفن در فاصله ۳۰ میلی‌متری از سطح برخورد تعبیه شد تا انعکاس صدای برخورد پسته با صفحهٔ شیب‌دار را به رایانه منتقل کند و ضبط شود. از یک رایانهٔ شخصی مجهز به کارت صدا برای ضبط و پردازش سیگنال صوتی استفاده شد. دانه‌های پستهٔ هر گروه تک‌تک از روزنهٔ بالای جعبه

روی صفحهٔ فولادی داخل جعبه آکوستیک رها می‌شدند تا صدای حاصل از برخورد آنها با صفحهٔ برخورد، به رایانه منتقل و در آنجا پردازش شود. آزمایش برای هر گروه (شامل ۵۰ دانه) چهار مرتبه تکرار شد.

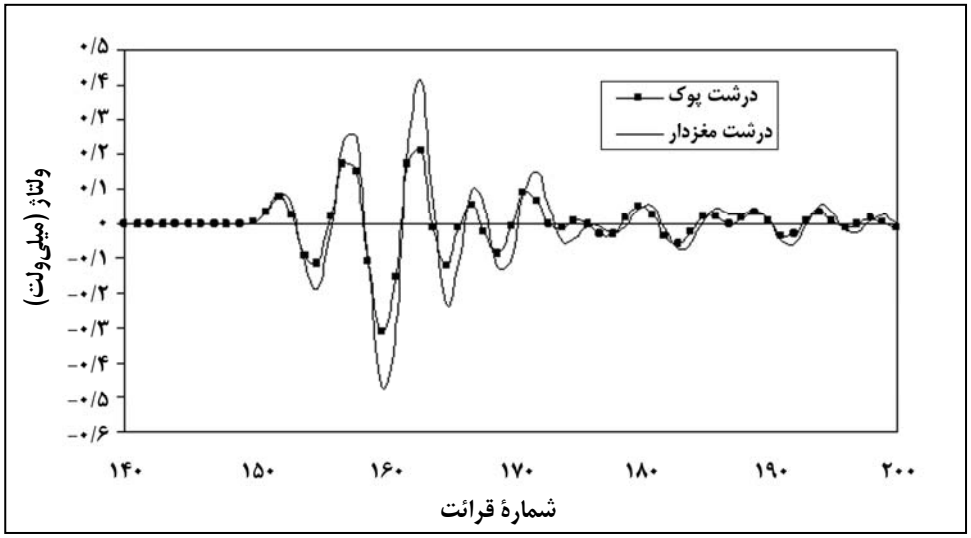
سیگنال استحصال شده، برداری n عضوی است (n تعداد نمونه برداشت شده از یک سیگنال) که شامل ولتاژهای خروجی از میکروفن است. روند استحصال داده به‌طور خودکار توسط برنامهٔ نوشته شده به کمک نرم‌افزار MATLAB7.1 با نرخ نمونه‌برداری ۴۴۱۰۰ هرتز و ولتاژ آستانه ۰/۰۱ ولت صورت گرفت. پس از استحصال داده، سیگنال‌ها در دو حوزهٔ زمان و فرکانس پردازش و ارزیابی شدند.



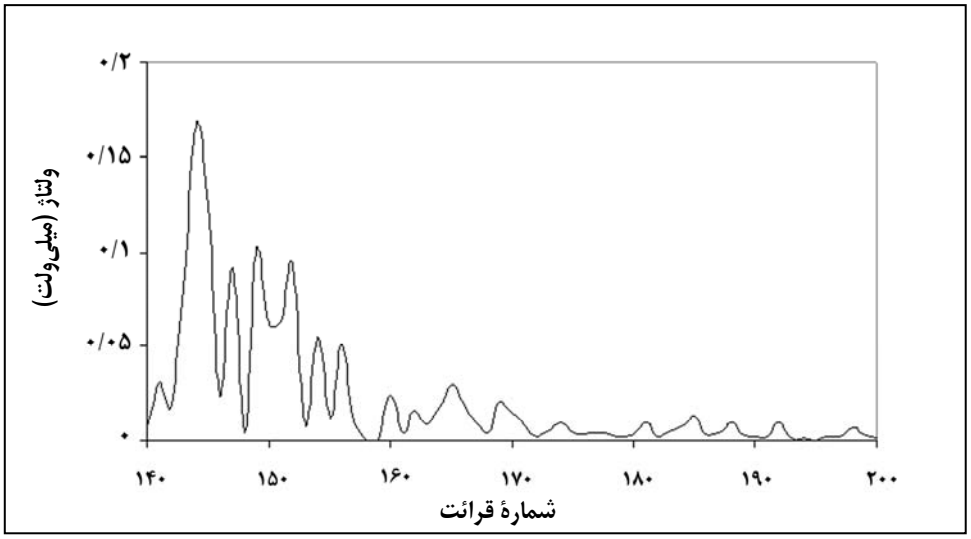
شکل ۱- دستگاه طراحی شده برای ضبط و پردازش صدا،
۱) جعبه آکوستیک، ۲)مجرای ورودی، ۳) صفحهٔ برخورد، ۴) دهانهٔ خروج، ۵) میکروفن،
۶) رایانه، ۷) نمایشگر، ۸) سیگنال خروجی

پردازش و شناسایی در حوزه زمان

در حوزهٔ زمان مقدار ولتاژ تولید شده پس از هر برخورد در فواصل زمانی مشخص ضبط می‌شود و بنابراین هر سیگنال به‌صورت مقادیری از ولتاژ در زمان‌های مختلف است (شکل ۲). برای تعیین حدود فواصل زمانی احتیاج به یک ولتاژ آستانه است تا از لحظهٔ رسیدن ولتاژ سیگنال به ولتاژ آستانه تا چند ده یا چند صد نمونه پس از آن، سیگنال توسط رایانه نمونه‌برداری یا اصطلاحاً ضبط شود. برای انتخاب مشخصه‌ای جهت پردازش سیگنال در حوزهٔ زمان، تنها از مقادیر مثبت سیگنال (یک سو شده) استفاده شد. یک سیگنال یک سو شده که در این تحقیق اساس پردازش در حوزهٔ زمان است، در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۲– نمونه‌ای از سیگنال‌های ضبط شده دو گروه پسته‌های پوک و مغزدار



شکل ۳- نمونه‌ای از یک سیگنال یک سو شده

برای بررسی امکان تشخیص پستهٔ پوک از مغـزدار در حوزهٔ زمان از سیگنال‌های یک سو شده، دو نـوع مشخـصه به شرح زیر استخراج شد: ۱) میانگین بیشینه: ایـن مقـدار برای هر سیگنال عبارت است از میانگین مقادیر ۲۰ ولتـاژ در دو طرف مقدار بیشینه هر سیگنال. ۲) بـردار میـانگین پنجره‌هـا: در ایـن روش بـا بررسـی نمـودار، هـر سـیگنال متشکل از ۴۰۰ نقطه به ۸ فاصلهٔ مساوی که هر فاصله یک پنجره نامیده می‌شود، تقسیم و میانگین ولتـاژ هـر پنجـره محاسبه شد؛ در نتیجه هر سیگنال به یک بردار ۸ عـضوی تقلیل یافت. سیگنال میـانگین در حقیقـت یـک مـاتریس

یک بعدی (بردار) است که در آن فقط مقدار ولتاژ متوسط در لحظه‌های مختلف قرار دارند و هر میانگین نماینده گروه است.

پردازش و شناسایی در حوزهٔ فرکانس

سیگنال حوزهٔ زمان پس از اجرای تبدیل فوریه سریع حوزهٔ فرکانس انتقال می‌یابد و پس از این انتقال فرکانس‌های غالب سیگنال قابل شناسایی می‌شوند. با استفاده از تبدیل سریع فوریه[1] می‌توان سرعت پردازش را بالا برد. تبدیل سریع فوریه به‌صورت زیر بیان می‌شود (Proakis & Manolakis, 1996):

$$X(k)=\sum_{n=0}^{N-1}x(n)e^{-j2\pi kn/N} \qquad k=0,1,2,...,N-1 \qquad (۱)$$

که در آن، $x(n)$= تابع سیگنال در حوزهٔ زمان؛ $X(k)$= تابع سیگنال در حوزه فرکانس؛ و N= تعداد نمونه‌های برداشت شده از سیگنال است. قبل از اجرای تبدیل فوریه لازم است طیفی از سیگنال حوزه زمان با استفاده از تابع هنینگ ویندو[2]، انتخاب شود (Proakis & Manolakis, 1996) و این کار با رابطه زیر قابل اجراست:

$$w[n]=\begin{cases}0.5-0.5\cos(2\pi./m), & 0\le n\le m\\ 0, & otherwise\end{cases} \qquad (۲)$$

که در آن، n= تعداد نمونه‌های نمونه‌برداری یا تعداد قرائت‌هاست. نتیجهٔ تبدیل فوریه سریع نشان‌دهندهٔ تغییرات فرکانس‌هاست.

روش تشخیص

با استفاده از این دو نوع مشخصه، گروه پسته‌ها با روش نزدیک‌ترین فاصله[3] تعیین شد. در این روش برای هر گروه پسته و برای هر مشخصهٔ مورد نظر یک میانگین محاسبه می‌شود. منظور از فاصله در این تحقیق، اختلاف مطلق بین سیگنال مجهول و سیگنال مرجع است که با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$Db_i=\sum_{j=1}^{n}(Rb_j-M_{ij})^2 \qquad (۳)$$

$$Df_i=\sum_{j=1}^{n}(Rf_j-M_{ij})^2 \qquad (۴)$$

که درآن، Rb= سیگنال مرجع گروه پسته‌های پوک؛ و Rf= سیگنال مرجع گروه پسته‌های مغزدار؛ M= نشان‌دهنده بردار مجهول؛ i= تعداد سیگنال‌ها یا پسته‌های مجهول؛ j = تعداد اعضای ماتریس (تشکیل شده از چندین بردار سیگنال)؛ و n = تعداد نمونه‌هاست. بعد از محاسبهٔ Df و Db، درصورتی‌که $Db_i < Df_i$ باشد، پستهٔ مجهول پوک و اگر $Df_i < Db_i$ باشد پستهٔ مجهول مغزدار طبقه‌بندی می‌شود.

نتایج و بحث

میانگین و انحراف معیار قطر متوسط هندسی و همچنین میانگین و انحراف معیار وزن گروه‌های مختلف پسته در جدول ۱ درج شده است. جدول نشان می‌دهد که از نظر اندازه (میانگین قطر متوسط هندسی) بین پسته‌های پوک مغزدار در هر گروه تفاوتی عمده وجود ندارد ولی از نظر وزنی، پسته‌های پوک کاملاً سبک‌تر از پسته‌های مغزدار هستند از همین شاخص برای جداسازی از طریق غوطه‌ورسازی در آب یا دستگاه‌های پنوماتیک استفاده شده است.

1- Fast Fourier Transform 2- Hanning Window 3- Nearest Distance Method

جدول ۱ - میانگین و انحراف معیار قطر متوسط هندسی و وزن پسته‌های درشت، متوسط، و ریز

گروه	نوع	میانگین قطر متوسط هندسی (میلی‌متر)	میانگین وزن (گرم)
پسته‌های درشت	پوک	۱۴/۶۶± ۰/۴۸	۰/۹± ۰/۲۷
	مغزدار	۱۵/۵۳± ۰/۴۴	۱/۴۱± ۰/۱۵
پسته‌های متوسط	پوک	۱۳/۳۰± ۰/۴۵	۰/۸± ۰/۱۹
	مغزدار	۱۳/۴۰± ۰/۶۰	۱/۰۰± ۰/۱۵
پسته‌های ریز	پوک	۱۱/۹۱± ۰/۵۰	۰/۴۲± ۰/۱۰
	مغزدار	۱۲/۰۰± ۰/۳۹	۰/۷۴± ۰/۱۱

نتایج حاصل از پردازش سیگنال در حوزهٔ زمان

با استخراج مشخصهٔ میانگین بیشینه برای سیگنال‌ها در حوزهٔ زمان و مقایسهٔ میانگین بیشینهٔ سیگنال مجهول با آنها، نتایجی نسبتاً مطلوب برای تشخیص سیگنال‌های مجهول حاصل شد که در جدول ۲ نشان داده شده است. با مشاهده جدول، مشخص می‌شود که بهترین دقت در تشخیص پسته‌های پوک از مغزدار برای گروه متوسط حاصل شده است.

جدول ۲- درصد دقت تشخیص پستهٔ پوک از مغزدار با استفاده از مقدار میانگین بیشینهٔ سیگنال در حوزهٔ زمان

	پسته‌های درشت		پسته‌های متوسط		پسته‌های ریز	
	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار
تشخیص پسته‌های پوک	۵۵/۰	۴۵/۰	۷۵/۰	۲۵/۰	۴۷/۵۰	۵۲/۵۰
تشخیص پسته‌های مغزدار	۵۰/۰	۵۰/۰	۳۷/۲۵	۶۲/۷۵	۴۰/۰	۶۰/۰

با محاسبهٔ بردار میانگین پنجره‌ها برای سیگنال‌ها در حوزه زمان و با اجرای روش نزدیک‌ترین فاصله بین مقادیر سیگنال مجهول و سیگنال مرجع هر گروه، پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار در گروه‌های مختلف با دقت‌هایی مشخص از یکدیگر تشخیص داده شدند. نتایج حاصل از اجرای این روش در حوزهٔ زمان در جدول ۳ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که میزان دقت تشخیص پسته‌های درشت پوک از بقیه گروه‌ها بیشتر

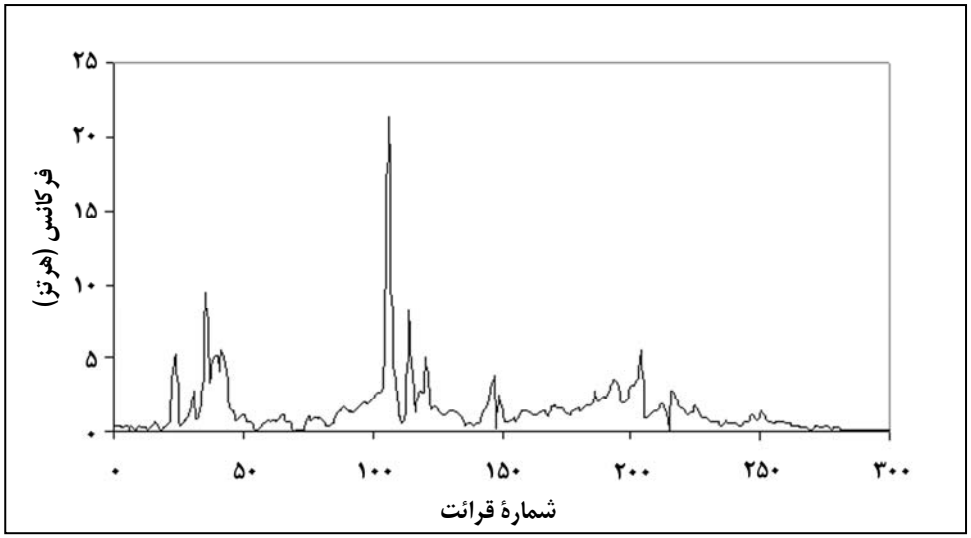
است که در واقع نتایج این گروه، نسبتاً مطلوب است. به‌دلیل یکسان بودن تقریبی مغز در پسته‌های پوک و فضای خالی بیشتر در داخل پسته، چگالی پسته‌های درشت پوک از پسته‌های متوسط و ریز پوک کمتر است و همین عامل باعث افزایش دامنه صدای پسته‌های درشت پوک می‌شود.

جدول ۳- درصد دقت تشخیص پستهٔ پوک از مغزدار با روش نزدیک‌ترین فاصله در حوزهٔ زمان

	پسته‌های درشت		پسته‌های متوسط		پسته‌های ریز	
	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار
تشخیص پسته‌های پوک	۹۸/۷۵	۱/۲۵	۵۰/۰	۵۰/۰	۷۴/۳۷	۲۵/۶۳
تشخیص پسته‌های مغزدار	۱۷/۵۰	۸۲/۵۰	۴۱/۲۵	۵۸/۷۵	۳۸/۱۳	۶۱/۸۷

نتایج حاصل از پردازش سیگنال در حوزهٔ فرکانس

پس از انتقال سیگنال‌ها از حوزهٔ زمان به فرکانس و استحصال بزرگی فرکانس غالب یا همان مقدار بیشینه برای سیگنال‌ها (شکل ۴)، نتایج حاصل از تشخیص بر اساس مقایسهٔ مقادیر بیشینه سیگنال‌های مجهول با مقادیر بیشینه سیگنال‌ها در حوزهٔ فرکانس، در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- سیگنال انتقال یافته از حوزهٔ زمان به حوزهٔ فرکانس (نشان‌دهندهٔ بزرگی فرکانس غالب)

جدول ۴- درصد دقت تشخیص پستهٔ پوک از مغزدار با استفاده از مقدار بیشینهٔ فرکانس غالب

	پسته‌های درشت		پسته‌های متوسط		پسته‌های ریز	
	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار
تشخیص پسته‌های پوک	۶۰/۰	۴۰/۰	۶۷/۵۰	۳۲/۵۰	۶۱/۲۵	۳۸/۷۵
تشخیص پسته‌های مغزدار	۷۰/۰	۳۰/۰	۳۱/۲۵	۶۸/۷۵	۷۰/۰	۳۰/۰

در این تشخیص پسته‌های متوسط مغزدار بهتر شناسایی شده‌اند ولی در مجموع نتایج خوبی به‌دست نیامده است که نشان می‌دهد استفاده از مقادیر بیشینهٔ سیگنال‌ها در حوزهٔ فرکانس یا همان بزرگی فرکانس غالب، شاخصی مناسب برای تشخیص پستهٔ پوک از مغزدار نیست. دلیل نامناسب بودن این شاخص، تغییرات بیش از حد مقادیر بیشینه از یک سیگنال به سیگنال دیگر و همچنین برخورد تصادفی پسته با صفحه برخورد است. برای بررسی این موضوع، ضریب تغییرات برای مقادیر بیشینه محاسبه شد و این مقادیر بین ۱۵ تا ۲۸ درصد متفاوت است که از تغییرات بیش از حد این مشخصه در سیگنال‌ها حکایت دارد.

همچنین، با محاسبهٔ بردار میانگین پنجره‌ها برای سیگنال‌ها در حوزهٔ فرکانس و با اجرای روش نزدیک‌ترین فاصله بین مقادیر سیگنال مجهول و سیگنال مرجع هر گروه، پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار در گروه‌های مختلف تشخیص داده شدند؛ که نتایج حاصل در جدول ۵ نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که میزان دقت تشخیص پسته‌های درشت پوک از بقیه گروه‌ها بیشتر است. دلیل این موضوع همان است که در بالا ذکر شد: کمتر بودن چگالی پسته‌های درشت پوک از پسته‌های متوسط و ریز پوک که همین امر سبب افزایش فرکانس‌های صدای پسته‌های درشت پوک شده است.

جدول ۵- درصد دقت تشخیص پستهٔ پوک از مغزدار با روش نزدیک‌ترین فاصلهٔ در حوزه فرکانس

	پسته‌های درشت		پسته‌های متوسط		پسته‌های ریز	
	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار	پوک	مغز دار
تشخیص پسته‌های پوک	۸۰/۰	۲۰/۰	۷۰/۰	۳۰/۰	۸۰/۰	۲۰/۰
تشخیص پسته‌های مغزدار	۲۰/۰	۸۰/۰	۴۰/۰	۶۰/۰	۳۵/۰	۶۵/۰

مقایسهٔ تشخیص در دو حوزهٔ زمان و فرکانس

نتایج حاصل از تشخیص پسته پوک از مغزدار با روش اجرا شده در دو حوزهٔ زمان و فرکانس نشان می‌دهد که بالاترین دقت تشخیص پستهٔ ریز پوک ۸۰/۰، ریز مغزدار ۶۵/۰، متوسط پوک ۷۵/۰، و متوسط مغزدار ۶۲/۷۵ درصد است؛ همچنین، پسته‌های درشت پوک با دقت ۹۸/۷۵ درصد و پسته‌های درشت مغزدار با دقت ۸۲/۵۰ درصد، از یکدیگر تشخیص داده شدند. پس از مشاهده و مقایسهٔ نتایج، مشخص شد که برای پسته‌های ریز روش نزدیک‌ترین فاصله در حوزهٔ فرکانس دارای بیشترین دقت

تشخیص است و بهترین دقت تشخیص برای پسته‌های متوسط با استفاده از مقدار میانگین بیشینه سیگنال در حوزهٔ زمان حاصل شده است. برای پسته‌های درشت بالاترین دقت تشخیص از روش نزدیک‌ترین فاصله در حوزهٔ زمان به‌دست آمده است. با بررسی نتایج معلوم می‌شود که پردازش در حوزهٔ زمان موفق‌تر از پردازش در حوزهٔ فرکانس است و تشخیص پسته‌های پوک از مغزدار در گروه درشت، به‌دلیل چگالی کمتر و فضای خالی بیشتر در داخل پسته‌های پوک، از دقت بالاتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از پردازش رایانه‌ای انعکاس صوت حاصل از برخورد دانه‌های پسته با صفحهٔ فولادی، پسته‌های پوک از پسته‌های مغزدار تمایز داده شدند. سیگنال‌های صوتی در دو حوزهٔ زمان و فرکانس ارزیابی شدند. پس از مشاهده و مقایسهٔ نتایج حاصل از تشخیص پسته پوک از مغزدار با روش اجرا شده در دو حوزهٔ زمان و فرکانس مشخص شد که پردازش در حوزهٔ زمان نسبت به پردازش در حوزه فرکانس موفق‌تر است. بهترین نتیجهٔ از گروه پسته‌های درشت به‌دست آمد که پسته‌های پوک در این گروه با دقت ۹۸/۷۵ درصد و پسته‌های مغزدار با دقت ۸۲/۵۰ درصد تشخیص داده شدند. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با استفاده از پردازش انعکاس صدا می‌توان پسته‌های پوک را از مغزدار تشخیص داد و در فراوری نهایی پسته این روش را مکمل روش‌های معمول غوطه‌ورسازی در آب یا پنوماتیکی قرار داد. با این روش امکان جداسازی پسته‌های درشت، در مقایسه با پسته‌های ریز، به دو گروه پوک و مغزدار بیشتر است و چون در بازار تقاضا برای پسته‌های درشت بیشتر است لذا این روش و سیستم مورد استفاده احتمالاً مورد توجه و قابل قبول خواهد بود.

مراجع

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.

De Belie, N., Schotte, S., Lammeryn, J., Nicolai, B. and De Baerdemaeker, J. 2000. Firmness changes of fruit before and after harvest with the acoustic impulse response technique. J. Agric. Eng. Res. 77 (2): 183-191.

Diezma Iglesias, B., Ruiz-Altisent, M. and Barreiro, P. 2004. Detection of quality in seedless Watermelon by acoustice impulse response. Bio. Eng. 88(2): 221-23.

Ghazanfari, A. and Irudayaraj, J. 1996. Grading pistachio nuts using a neural network approach. Trans. ASAE. 39(6): 2319-2324.

Kashaninejad, M., Mortazavi, A., Safekordi, A. and Tabil, L. G. 2006. Some physical properties of pistachio (Pistacia vera L.) nut and its kernel. J. Food Eng. 72, 30-38.

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. Bio. 3, 371-376.

Pearson, T. C. 2001. Detection of pistachio nuts with closed shells using impact acoustics. Appl. Eng. Agric. 17, 249-253.

Pearson, T. C. and Slaughter, D. C. 1996. Machine Vision detection of early split pistachio nuts. Trans. ASAE. 39(3): 1203-1207.

Pearson, T. C., Cetin, A. E. and Tewfik, A. H. 2005. Detection of insect damaged wheat kernels by impact acoustics. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. ICASSP. 5, 649-652.

Polat, R., Gezer, I., Guner, M., Dursun, E., Edogan, D. and Bilim, H. C. 2007. Mechanical harvesting of pistachio nuts. J. Food Eng. 79, 1131-1135.

Proakis, J. G. and Manolakis, D. G. 1996. Digital Signal Processing. Prentice Hall, Inc. New Jersey. USA.

Rostami, A. 2007. Distinguishing blank from kernelled pistachio nuts by impact acoustics in time and frequency domain. M.Sc. Thesis. Dep. Agricultural Machinery Shahid Bahonar University. Kerman. Iran. (in Farsi)

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.3/Autumn 2008/P: **123-134**

Identification of Full and Empty Pistachio Shells Using a Sound Processing Approach in Time and Frequency Domains

A. Rostami, A. Ghazanfari Moghadam*, S. Talebi and S. J. Sajadi

* Corresponding Author: Associate Professor, Shahid Bahonar University, P. O. Box: 76169-133, Kerman, Iran, E-mail: aghazanfari@mail.uk.ac.ir

Pistachio nuts are the major non-oil export agricultural commodity in Iran. The existence of empty shells among the shells with kernels reduces the quality of the nuts and, consequently, their market value. In pistachio processing plants, empty shells are generally separated from shells with kernels by the flotation method. But this method is not precise and may encourage the growth of fungi in the nuts. This research investigated an identification method based on sound reflection analysis. A sample of pistachio nuts was divided according to size into large, medium and small groups. Each group was further divided into empty and full shells. A sound box and PC computer were prepared to detect and analyze the echoes of the impacts of each of the nuts as it drops onto a steel plate. The impact echoes were recorded and the echo signals analyzed in both time and frequency domains using a nearest distance classification approach. The best results were obtained for the large sized nuts with 98.75% accuracy for detecting empty shells and 82.8% for detecting full shells. The classification results were also good for other classes, with the lowest accuracy rating being 62.75% for medium-sized full shells.

Key Words: Acoustics, Empty Shells, Shells with Kernels, Sorting, Sound Processing