

سنجش حجم گردو با استفاده از پارامتر اکوستیکی فشار صدا در لوله امیدانس

نیلوفر باغوردانی
دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک
بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
niloo1112@yahoo.com

فرزاد مهدیه
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک بیوسیستم
دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
1404.farzad@gmail.com

علی ملکی*
استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم
دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد
maleki_ali@iran.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۳

چکیده

آگاهی از حجم محصولات کشاورزی منجر به محاسبه دانسیته آنها می‌شود؛ از اختلاف دانسیته نیز به منظور کنترل کیفیت و بازرسی محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. اما شکل نامنظم بیشتر محصولات کشاورزی، اندازه کوچک بذرها و غلات و طبیعت متخلخل آنهاست که مشکلات متعددی در اندازه‌گیری حجم و جرم مخصوص آنها ایجاد می‌کند. اصولاً برای اندازه‌گیری حجم محصولات کشاورزی روش‌هایی چون روش جابه‌جایی آب، رزوناتور و جز این‌ها وجود دارد. در این مقاله اما، برای نخستین بار در حوزه کشاورزی به منظور رفع محدودیت‌ها و معایب روش‌های معمول از لوله امیدانس برای اندازه‌گیری حجم گردو استفاده شده است. اصول اندازه‌گیری براساس ارتباط حجم گردو و فشار صدا در یک لوله امیدانس استوار است. امواج تولیدی در فرکانس ۲۵۰ هرتز، در سه سطح شکل موج (سینوسی، دندانه اره‌ای و مربعی)، چهار سطح دامنه (۱، ۵، ۹ و ۱۳ ولت) و دو موقعیت قرارگیری میکروفون تهیه شده‌اند. آزمایش‌ها روی نمونه‌های گردو نیز در سه سطح اندازه (ریز، متوسط و درشت) و ۵ تکرار صورت پذیرفته است. نتایج حاکی از آن است که فشار سیگنال‌های صوتی تولیدشده در دامنه ۱ ولت روندی منطقی در مقابل تغییر اندازه گردوها از خود نشان نمی‌دهد و از طرفی در دامنه ۱۳ ولت بهترین همبستگی بین حجم نمونه‌ها و فشار صدا حاصل می‌شود؛ بنابراین استفاده از این دامنه برای سنجش حجم گردوها مناسب است. نتایج مربوط به تخمین مدل‌های رگرسیونی نشان می‌دهد که بهترین مدل نسبت به سایر مدل‌ها با توجه مقدار ضریب ۰/۸۷۲ در دامنه ۱۳ ولت، شکل موج سینوسی و در موقعیت میکروفون ۱ حاصل شده است.

واژگان کلیدی: حجم‌سنجی، لوله امیدانس، گردو، موج صوتی

۱. مقدمه

ناخواسته و جز این‌ها دارد [۱]. در ماشین‌های درجه‌بندی، جداسازی^۱ براساس چگالی نیاز به اطلاع از دو پارامتر حجم و وزن دارد. از طرفی جداسازی میوه‌ها براساس چگالی

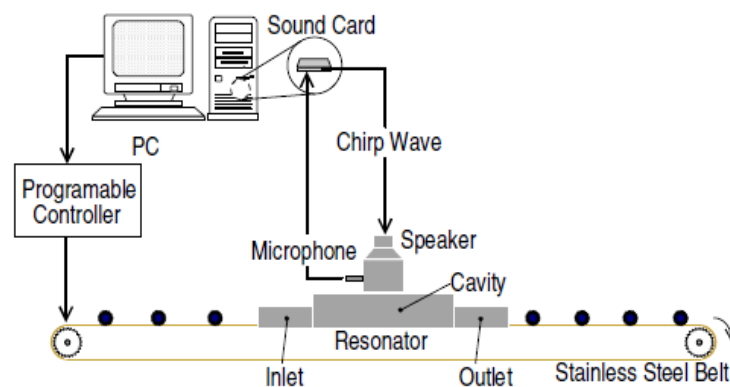
حجم، جرم مخصوص و چگالی مواد غذایی و محصولات کشاورزی کاربردهای متعددی در درجه‌بندی و جدانمودن، طراحی سیلوها و مخازن نگهداری، جدانمودن مواد

دارای دو مزیت است؛ نخست بین چگالی گونه‌های میوه‌ها و میزان مواد جامد محلول ارتباط وجود دارد، علاوه بر این بین چگالی غده‌های سیب‌زمینی و میزان نشاسته آنها نیز رابطه می‌باشد. دیگر تعیین چگالی برای جداسازی میوه‌های سالم از ناسالم بسیار مهم است. مثلاً جداسازی مرکبات یخ‌زده، نارنگی‌های پفکی، میوه‌های با آسیب داخلی ناشی از حشرات، هندوانه با درجه بالایی از پوکی توسط پارامتر چگالی انجام می‌شود [۲].

چگالی از تقسیم جرم محصول به حجم محصول به دست می‌آید. جرم با دقت و سرعت مناسب، بدون نیاز به تماس مستقیم با عوامل مخرب، توسط ترازوهای دیجیتال تعیین می‌گردد. اما تعیین حجم محصولات به سادگی تعیین جرم نیست. به جز در اجسام کاملاً هندسی که می‌توان حجم آنها را از طریق روابط ریاضی محاسبه کرد [۳]. روش‌های معمول برای تعیین حجم مواد، روش جابه‌جایی آب^۲، روش بینایی کامپیوتری^۳، روش استفاده از میانگین هندسی قطر و روش‌های الکتریکی است. برای برخی از این روش‌ها اشکالاتی وجود دارد. برای مثال روش جابه‌جایی آب می

تواند رشد میکروب‌ها را در طی نهدار کردن سطح مواد مورد اندازه‌گیری افزایش دهد، در حالی که روش بینایی کامپیوتری نیازمند استفاده از تجهیزات گران‌قیمت می‌باشد [۴].

برای حل مسائل فوق یک روش کاملاً غیرمخرب^۴ مبتنی بر امواج فرعی تشدیدکننده‌ها از جمله رزوناتور هلمهولتز^۵، در مورد برخی از محصولات کشاورزی مثل سیب و انگور، با دقت مطلوب ($F^2=0/97$) مورد آزمایش قرار گرفته است [۳]. در این روش نیشیزو و همکاران (۲۰۰۱) یک سیستم برخط اندازه‌گیری حجم مبتنی بر رزوناتور هلمهولتز و تشدید فرکانسی صدا را توسعه دادند. یک رزوناتور هلمهولتز متشکل از یک بخش باریک (گلوبی) و بخش گسترده‌ای به نام اتاق (حفره) و اتصال این دو بخش به یکدیگر شبیه به یک بطری می‌شود در این روش یک موج به داخل حفره ارسال می‌شود و از طریق یک میکروفون سیگنال پاسخ ضبط می‌گردد و سپس فرکانس رزونانس استخراج می‌گردد [۵]. در شکل ۱ نمونه‌ای از نمونه نیمه‌صنعتی این رزوناتور مشاهده می‌شود.



شکل ۱. نحوه عملکرد رزوناتور هلمهولتز در تعیین حجم مواد غذایی [۵]

صادق است. وقتی از این دو روش استفاده می‌شود، معمولاً سوراخ‌ها یا ترک‌های ناخواسته را با موم می‌پوشانند تا آب یا گاز به درون آنها نفوذ نکند. در مورد حجم‌سنجی صوتی نیز وقتی سوراخ‌ها یا ترک‌ها با خمیر پوشیده شود، خطای ناشی از این امر مرتفع می‌شود [۳].

اما در میوه‌های شکسته یا سوراخدار خطای حجم‌سنجی به این روش به دلیل نفوذ امواج صوتی به درون شکاف‌ها، که وضعیت پیچیده و غیرقابل پیش‌بینی را به لحاظ فرکانس‌های تشدید ایجاد می‌کند، افزایش می‌یابد. این امر در مورد حجم‌سنجی به روش جابه‌جایی مایع و گاز نیز

از این پژوهش تخمین حجم گردو به‌عنوان یک نمونه از خشکبار کشاورزی با استفاده از اندازه‌گیری فشار صدا در لولهٔ امیدانس است.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش ۹۰ عدد گردوی سنگی (دومین رقم رایج در استان چهارمحال و بختیاری) در سه سطح اندازهٔ گردو (ریز، متوسط و درشت) (مطابق شکل ۲)، سه سطح شکل موج^۶ (سینوسی، مربعی و دندان‌اره‌ای) و پنج سطح دامنه، ۱، ۵، ۹ و ۱۳ ولت انتخاب شد و آزمایش‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه خواص فیزیکی و مکانیکی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه شهرکرد انجام گرفت. گفتنی است مقادیر میانگین حجم برای گردوهای ریز معادل ۱۲/۰۶ سانتی‌متر مکعب، برای گردوهای متوسط ۱۸/۰۳ سانتی‌متر مکعب و برای گردوهای درشت برابر با ۲۲/۵۹ سانتی‌متر مکعب می‌باشد.



شکل ۲. سه اندازهٔ گردو مورد استفاده (ریز، متوسط و درشت)

۲-۱. اندازه‌گیری حجم به روش جابجایی آب

برای به‌دست آوردن حجم واقعی نمونه از روش جابجایی مایع (روش ارشمیدس) استفاده شد. به این منظور ابتدا وزن یک ظرف مدرج محتوی آب مقطر (که در دمای محیط دارای چگالی واحد بود) توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری شد. سپس نمونه به‌گونه‌ای در آب غوطه‌ور شد که با جداره‌های کناری و کف ظرف هیچ تماسی نداشته باشد. وزن گردو غوطه‌ور و ظرف محتوی آب اندازه‌گیری شد. سپس از طریق رابطهٔ ۱ حجم واقعی نمونه اندازه‌گیری شد.

$$V = \frac{W_{bws} - W_{bw}}{\rho_w} \quad (1)$$

اندکایی‌زاده و نوروزی (۱۳۹۳) برای جداسازی با گردو از ماشین بینایی براساس جرم حجمی استفاده و گزارش کردند که از میان سه روش شعاع مؤثر، مجموع المان‌های دیسکی و مساحت سطح، روش مساحت سطح دقت بیشتری دارد [۶]. به‌عبارتی استفاده از صدا در علوم کشاورزی در دههٔ اخیر روندی افزایشی داشته است؛ به‌خصوص در زمینهٔ شیوه‌های غیرمخرب با به‌کارگیری خصوصیات اکوستیکی جهت تعیین سفتی انواع میوه‌ها مطالعات گوناگونی صورت پذیرفته است از جمله لشگری و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر محل ضربه و محل داده‌برداری بر پاسخ فرکانسی سیب‌های گلدن دلشیز و رد دلشیز را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد در محل‌های ضربهٔ مختلف و محل‌های داده‌برداری برای هر دو رقم، فرکانس صدا با روندی صعودی و فشار صدا نیز با روندی نزولی همراه است [۷]. خوشنام و همکاران رسیدگی دو رقم خربزهٔ صادراتی زرد ایوانکی و سوسکی سبز را با روش غیرمخرب پاسخ اکوستیکی تشخیص دادند. نتایج این محققان نشان داد که در طول فصل رشد برای هر دو رقم، تراز فشار صوت، جرم و درصد مواد جامد انحلال‌پذیر روندی صعودی و فرکانس تشدید و مدول الاستیسیته روندی نزولی دارند [۸].

لو و همکاران (۲۰۰۹) قابلیت پاسخ اکوستیکی به ضربه را برای ارزیابی کیفی گوجه‌فرنگی در خلال انبارداری بررسی کردند [۹]. هرناندز گومز و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی قابلیت پاسخ سیگنال اکوستیکی به تغییرات سفتی نارنگی را در دورهٔ انبارداری ارزیابی کردند [۱۰]. نتایج این پژوهشگران نشان داد که تشخیص مرحلهٔ رسیدگی نارنگی با این روش امکان‌پذیر است و آزمون غیرمخرب اکوستیک می‌تواند جایگزین آزمون مرسوم فشردگی برای تعیین سفتی نارنگی و پیش‌بینی عمر انبارداری آن شود. بنابراین با توجه به تحقیقاتی که در حوزهٔ اکوستیک و محصولات کشاورزی صورت گرفته است، هنوز نیاز به روشی که موانع روش‌های فوق را نداشته باشد احساس می‌شود. پس هدف

به طوری که در این رابطه W_{bws} وزن نمونه و ظرف محتوی آب مقطر (gr)، W_{bw} وزن ظرف محتوی آب مقطر (gr)، ρ_w چگالی آب مقطر (gr/cm^3) و V حجم نمونه (cm^3) است. چون با خارج کردن هر یک از نمونه‌ها از ظرف، مقداری از وزن ظرف و آب کاسته می‌شود، لذا اندازه‌گیری وزن ظرف و آب برای هریک از نمونه‌ها به صورت مجزا انجام شد. بنابراین پیش از غوطه‌ور کردن هر نمونه، وزن ظرف و آب به صورت مجزا اندازه‌گیری و ثبت شد [۱۱].

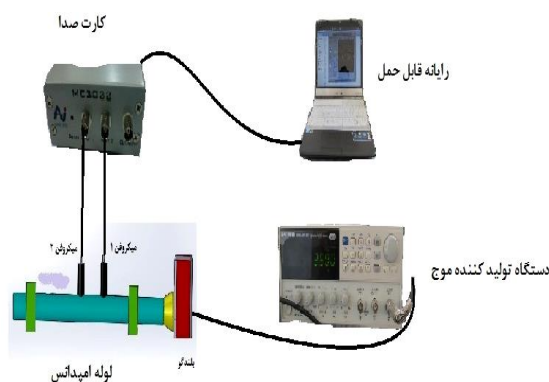
۲-۲. ساخت لوله امیدانس

در این پژوهش برای ساخت لوله امیدانس از لوله پی. پی. وی. سی. با قطر خارجی ۱۲۵ میلی‌متر و قطر داخلی ۱۱۹/۱ میلی‌متر و طول ۱۵۰۰ میلی‌متر استفاده شده است. جنس و شرایط انتخاب لوله با استفاده از استاندارد ملی ایران به شماره ۲-۹۸۰۳ و ASTM:E 1050-10 انتخاب گردید. مطابق استانداردهای مذکور، لوله امیدانس^۸ باید مستقیم، با سطح مقطع یکنواخت (قطر یا سطح مقطع با رواداری $\pm 0/2$ درصد) و با دیواره‌های صلب، هموار و غیرمتخلخل و بدون حفره یا شکاف (به جز در موقعیت میکروفن‌ها) در مقطع آزمون باشد. لوله باید به حد کافی بلند باشد تا موجب پیشرفت موج تخت میان منبع و نمونه شود. نقاط اندازه‌گیری میکروفن باید در میدان موج تخت باشد. در این روش نمونه آزمون روی یک پایه در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از میکروفن اول قرار می‌گیرد (شکل ۳).



شکل ۳. موقعیت قرارگیری گردوها در وسط لوله امیدانس

امواج تخت توسط یک منبع صدا (تصادفی، با توالی شبه‌تصادفی یا تک‌صدا) در لوله ایجاد می‌شود و فشارهای صدا در دو مکان نزدیک نمونه اندازه‌گیری می‌شوند. گفتنی است عایق‌بندی لرزش الاستیکی باید میان لوله امیدانس و قاب بلندگو به کار رود تا از تحریک صدای پیکره‌ای لوله امیدانس جلوگیری شود. همچنین بلندگو باید حداقل به مدت ده دقیقه پیش از اندازه‌گیری راه‌اندازی شود تا دما به پایداری برسد [۱۲-۱۳]. شکل ۳ نمای از تجهیزات و نحوه اتصال آنها را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. نمای از تجهیزات و نحوه اتصال آنها

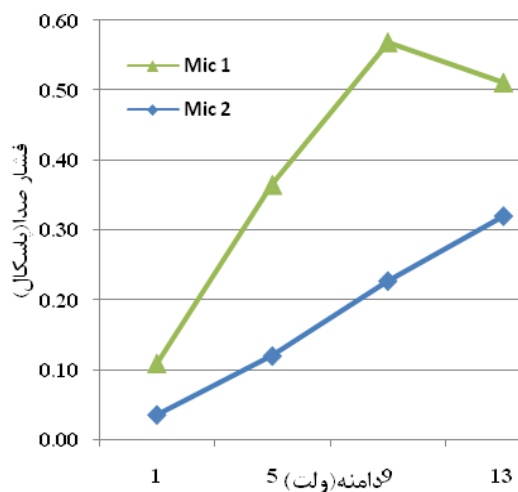
گردوها درون لوله به صورت تک‌تک قرار داده شدند (شکل ۳). پس از گذاشتن نمونه‌ها روی پایه مذکور و بستن انتهای لوله، با استفاده از دستگاه تولیدکننده موج، صدایی با فرکانس ۲۵۰ هرتز تولید و به بلندگو منتقل شد. با استفاده از نرم‌افزار اسکوپ^۹ صدای میکروفن‌های نصب‌شده بر دیواره لوله به مدت ۵ ثانیه و با فرکانس نمونه‌برداری ۴۴۱۰۰ هرتز ضبط شد. سپس داده‌ها با نرم‌افزار متلب^{۱۰} بررسی و تحلیل شدند.

۳. نتایج و بحث

با توجه به اینکه در بدنه لوله امیدانس دو میکروفن، با فاصله ۴۰ سانتی‌متر از نمونه (Mic 1) و فاصله ۲۰ سانتی‌متری (Mic 2) قرار دارند، روند تغییرات مقادیر فشار صدا نسبت به تغییر دامنه سیگنال‌های تولیدی در شکل ۵

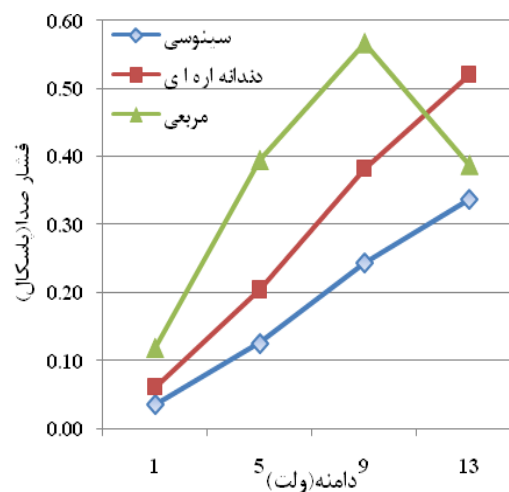
نمایش داده شده است. میکروفن ۱ به دلیل نزدیکی به منبع تولید صدا در کلیه دامنه‌های تحت مطالعه مقادیر فشار صدا بزرگتری را به خود اختصاص داده است، به نحوی که در دامنه‌های ۱، ۵، ۹ و ۱۳ ولت به ترتیب مقادیر فشار صدا برابر با ۰/۱، ۰/۳۶، ۰/۵۶ و ۰/۵۱ پاسکال است؛ این در حالی است که در میکروفون ۲ (نزدیکتر به نمونه‌ها) مقادیر فشار صدا به ترتیب در دامنه‌های ذکر شده عبارت‌اند از: ۰/۰۳، ۰/۱۲، ۰/۲۲ و ۰/۳۲ پاسکال. در میکروفون شماره ۲ با افزایش دامنه مقادیر فشار صدا افزایش یافته است، اما در میکروفون ۱ از دامنه ۹ ولت با افزایش دامنه مقدار فشار صدا روندی نزولی پیموده است و بیشترین اختلاف بین مقادیر فشار صدا در دامنه ۹ ولت برای میکروفون‌ها رخ داده است. شکل ۶ نشان‌دهنده تغییرات فشار صدا در برابر تغییر دامنه برای سه شکل موج مورد مطالعه است. در شکل موج سینوسی و دندان‌اره‌ای با افزایش مقادیر دامنه، فشار صدا افزایش می‌یابد، اما برای شکل موج مربعی بعد از

دامنه ۹ ولت مقادیر فشار صدا کاهش می‌یابد، به عبارتی در این شکل موج با افزایش سطح انرژی حمل شده (افزایش دامنه سیگنال)، به دلیل تداخل امواج و قرار گرفتن امواج ارسالی و بازتابی در فازهای متفاوت در نهایت کاهش سطح فشار صدا مشاهده می‌شود. نتایج بررسی اثر تغییرات فشار صدا در میکروفون اول (نزدیکتر به منبع صدا) نشان می‌دهد که شکل موج‌های سینوسی دارای مقدار فشار ۰/۱۸۳ پاسکال، دندان‌اره‌ای ۰/۴۷۳ پاسکال و مربعی ۰/۵۰۷ پاسکال هستند (شکل ۷). این در حالی است که برای میکروفون دوم (دورتر از منبع صدا) در حالت شکل موج‌های مشابه مقادیر فشار صدا به ترتیب عبارت‌اند از ۰/۱۸۷، ۰/۱۱۰ و ۰/۲۲۷ پاسکال. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج تحلیل اس. پی. اس. نشان‌دهنده کاهش مقدار فشار صدا در شکل موج دندان‌اره‌ای نسبت به دو شکل موج دیگر است. این در حالی است که برای میکروفون اول روندی صعودی طی شده است.



شکل ۶. تغییرات فشار صدا

برای سه شکل موج مورد بررسی در برابر دامنه سیگنال



شکل ۵. روند تغییرات فشار صدا

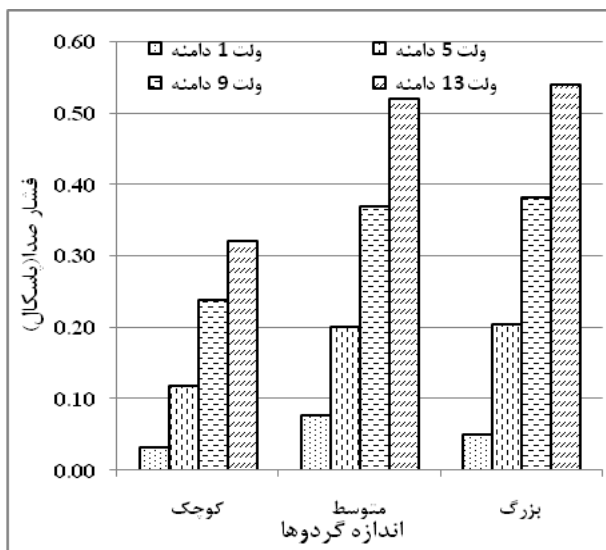
برای دو میکروفن در برابر دامنه سیگنال‌های تولیدی

۳-۱. تأثیر اندازه گردوها بر مقدار فشار صدا

نتایج تغییرات فشار صدا برای چهار سطح دامنه مورد مطالعه در سه سطح اندازه گردوها در شکل ۸ نمایش داده

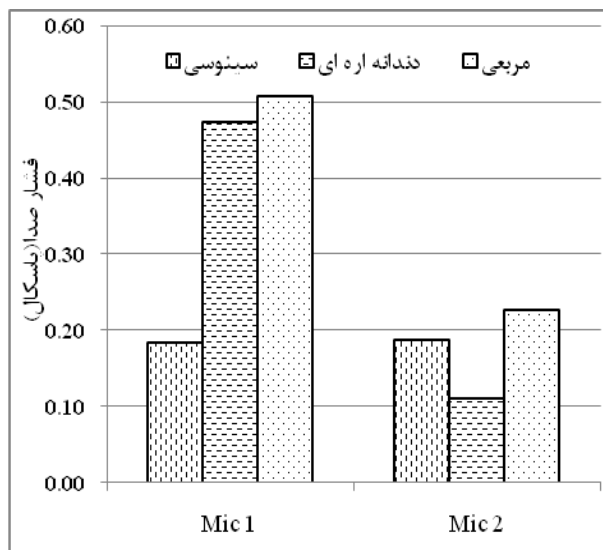
شده است. در دامنه ۱ ولت بیشترین مقدار فشار صدا برابر با ۰/۰۷۵ پاسکال برای گردوهای گروه متوسط و کمترین

مقادیر فشار صدا بیشتر می‌شود که این افزایش اختلاف سبب تسهیل تخمین اندازه گردو از طریق تغییر فشار می‌گردد. مقادیر فشار صدا در دامنه ۹ ولت برابر با ۰/۲۳۶، ۰/۳۶۷ و ۰/۳۸۰ به ترتیب برای اندازه گردوی کوچک، متوسط و بزرگ است، همان‌گونه که بیان شد، با افزایش دامنه اختلاف مقادیر فشار صدا در گروه‌های مختلف گردو بیشتر شده است. این روند افزایشی در دامنه ۱۳ ولت نیز بهبود می‌یابد، به نحوی که برای اندازه گردوی کوچک فشار صدا برابر با ۰/۳۲۱ پاسکال، اندازه گردوی متوسط ۰/۵۱۹ پاسکال و برای اندازه گردوی بزرگ ۰/۵۳۹ پاسکال است.



شکل ۸. تغییرات فشار صدا در دامنه‌های مورد مطالعه برای سه سطح اندازه گردو

مقدار برای گردوهای کوچک، معادل ۰/۰۳ پاسکال به‌وقوع پیوسته است. به عبارتی فشار سیگنال‌های صوتی تولیدشده در این دامنه روندی منطقی در مقابل تغییر اندازه گردوها از خود نشان نمی‌دهند و در نتیجه استفاده از این دامنه برای سنجش حجم گردوها مناسب نیست. در دامنه ۵ ولت برای گردوهای کوچک، متوسط و بزرگ مقادیر فشار صدا به ترتیب برابر با ۰/۱۱۸، ۰/۲۰۰ و ۰/۲۰۳ پاسکال هستند. به عبارتی از این دامنه به بعد با افزایش اندازه گردو، مقادیر فشار صدا روندی صعودی طی می‌کند و در هنگام افزایش اندازه گردوها با افزایش دامنه سیگنال تولیدی اختلاف بین



شکل ۷. تغییرات فشار صدا برای دو میکروفون در حالت سه شکل موج مورد بررسی

اول و دوم مقادیر فشار صدا به ترتیب برابر با ۰/۲۷۲ و ۰/۳۰۸ پاسکال و برای گردوهای گروه بزرگ برابر با ۰/۲۷۴ و ۰/۳۱۱ پاسکال است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با تغییر اندازه گردو مقدار فشار صدا افزایش می‌یابد.

۳-۲. معادلات رگرسیونی خطی

رگرسیون خطی برای مدل‌کردن مقدار یک متغیر کمی وابسته که بر رابطه خطی‌اش با یک یا چند پیشگو بنا شده است، به‌کار می‌رود. مدل رگرسیونی خطی فرض می‌کند که

در شکل ۹ مقادیر تغییر فشار صدا در دو موقعیت میکروفون برای سه سطح اندازه گردو مورد مطالعه پس از تحلیل توسط نرم‌افزار اس. پی. اس. اس. نمایش داده شده است. برای گردوهای گروه کوچک مقدار فشار صدا در موقعیت میکروفون ۱ برابر با ۰/۱۷۵ و برای میکروفون ۲ برابر با ۰/۱۷۷ پاسکال است. به عبارتی در این اندازه گردو تفاوت چشمگیری بین فشار صدا در دو موقعیت میکروفون وجود ندارد، اما این روند برای گردوهای گروه متوسط و بزرگ متفاوت است؛ به‌طوری‌که در گروه متوسط برای میکروفون

یک رابطه خطی (یا خط مستقیم) بین متغیر وابسته و هر پیشگو وجود دارد [۱۴]. در جدول ۱ نتایج مربوط به تخمین مدل رگرسیونی بر داده‌های، فشار و حجم گردو ارائه شده است. نتایج این بخش نشان می‌دهد که در حالتی که دامنه ۱۳ ولت، موج سینوسی و داده‌های فشار صدا مربوط به میکروفن ۱ هستند، بهترین مدل رگرسیونی برای تخمین حجم با استفاده از فشار صدا حاصل شده است. همان‌گونه که از جدول ۱ مشاهده می‌شود، شکل موج سینوسی بهترین دقت برای تخمین مدل را دارد و دو شکل موج دیگر مورد استفاده از دقت چندانی برای تخمین حجم برخوردار نیستند. این در حالی است که در پژوهش ایوانی و مینایی (۱۳۸۶) رابطه $V = 347.669 - 0.0564 \times F$ با عدم قطعیت بیشینه $\pm 1/13$ در برآورد حجم نمونه‌ها از طریق فرکانس تشدید فرعی رزوناتور ارائه نمودند. از طرفی در پژوهش جاریمویاس و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مربوط به استفاده از وسایل الکترونیکی جهت سنجش حجم هندوانه بیانگر این است که دستگاه طراحی شده با حداکثر خطای ۱/۱ درصد مورد اعتماد است و همچنین تغییر جابه‌جایی زاویه‌ای، نمونه حول محور طولی‌اش در سطح ۱ درصد بر مقدار حجم معنادار نبوده است [۱۵].

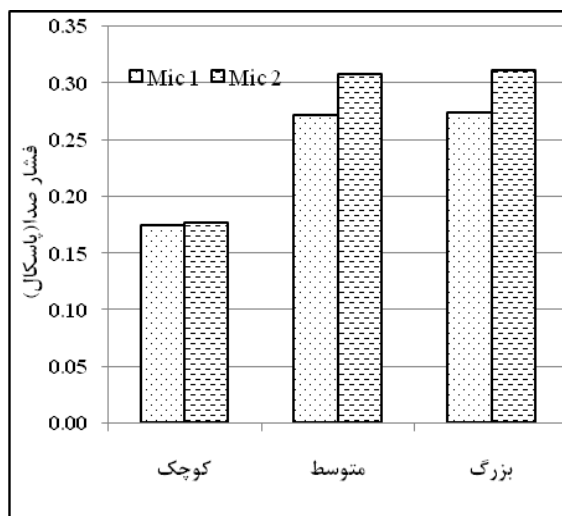
۴. نتیجه‌گیری

با توجه به مشکلات روش‌های موجود برای تخمین حجم محصولات کشاورزی نامنظم از جمله نفوذ آب به بافت مواد، یا تأثیرگذاری بر خواص فیزیکی آنها که باعث شده تا اندازه‌گیری حجم به کمک آب، در مورد برخی مواد و

محصولات قابل استفاده نباشد، برای نخستین بار در این مقاله از روش لوله‌امپدانس و ارتباط بین حجم محصولات کشاورزی و فشار صدا استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که فشار سیگنال‌های صوتی تولیدشده در دامنه ۱ ولت روندی منطقی در مقابل تغییر اندازه گردوها از خود نشان نمی‌دهد و در نتیجه استفاده از این دامنه برای سنجش حجم گردوها مناسب نیست. از طرفی در دامنه ۱۳ ولت بهترین همبستگی بین حجم نمونه‌ها و فشار صدا حاصل شده است. بنابراین برای محاسبه حجم محصولات کشاورزی در خطوط فرآوری و تجهیزات آزمایشگاهی مربوط به تعیین خواص فیزیکی آنها استفاده از دامنه ۱۳ ولت توصیه می‌شود. همچنین در این مقاله ۲۴ مدل رگرسیون خطی برای تخمین رابطه بین حجم و فشار صدا برآورد شد که بهترین مدل رگرسیونی با توجه مقدار ضریب $0/872$ در دامنه ۱۳ ولت حاصل شده است. پیشنهاد می‌شود که رابطه رگرسیون غیرخطی و رگرسیون توانی هم بررسی شوند و به‌جز در مورد محصولات کشاورزی و مواد غذایی، در علوم مرتبط با خاک نیز، اندازه‌گیری حجم خاکدانه‌ها و کلوخه‌ها، به‌صورت دست‌نخورده و بدون تماس با آب دارای اهمیت است. لذا پیشنهاد می‌شود از این سامانه جهت اندازه‌گیری موارد فوق نیز استفاده گردد.

قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه شهرکرد، همچنین همکاری دکتر مجید لشگری، استادیار دانشگاه اراک، تشکر و قدردانی کنند.



شکل ۹. تغییرات فشار صدا برای دو میکروفون در حالت تغییر اندازه گردوها

جدول ۱. نتایج مربوط به تخمین مدل رگرسیونی بر داده‌های، فشار و حجم گردو

ضریب R	مدل رگرسیونی خطی		موقعیت میکروفون	شکل موج	دامنه (ولت)
	ضریب فشار صدا	ضریب ثابت			
-۰/۴۱۵	۱۰۰/۰۲۴	۹/۸۴۰	۱	سینوسی	
-۰/۴۵۷	۸۹/۸۱۳	۹/۸۹۵	۲		
-۰/۴۷۷	۴۴/۱۹۳	۷/۰۱۶	۱	دندانه اره‌ای	۱
-۰/۳۶۷	۱۱۴/۹۰۵	۸/۸۱۴	۲		
-۰/۱۳۵	۳/۶۴۴	۱۰/۷۳۷	۱	مربعی	
-۰/۴۴۲	۱۱۵/۴۱۱	۵/۸۸۰	۲		
-۰/۸۴۱	۹۴/۲۸۰	-۰/۲۰۹	۱	سینوسی	
-۰/۸۲۵	۷۰/۷۲۹	۲/۵۰۰	۲		
-۰/۴۷۹	۲۴/۸۶۵	۳/۰۵۷	۱	دندانه اره‌ای	۵
-۰/۲۵۶	۳۱/۸۱۱	۹/۰۲۳	۲		
-۰/۰۲۹	-۰/۲۵۱	۱۱/۶۰۷	۱	مربعی	
-۰/۰۲۲	۲/۳۲۲	۱۱/۰۸۳	۲		
-۰/۸۶۴	۵۶/۴۴۷	-۲/۰۷۹	۱	سینوسی	
-۰/۸۶۷	۴۲/۶۶۸	-۰/۸۵۴	۲		
-۰/۴۰۳	۱۲/۳۲۴	۳/۷۲۵	۱	دندانه اره‌ای	۹
-۰/۲۰۷	۱۴/۵۴۴	۹/۳۸۷	۲		
-۰/۱۹۰	-۱/۳۴۰	۱۲/۵۵۹	۱	مربعی	
-۰/۱۳۸	۸/۴۶۳	۸/۹۶۲	۲		
-۰/۸۷۲	۳/۸۲۸	-۱/۵۳۸	۱	سینوسی	
-۰/۸۶۸	۲۹/۲۹۲	۱/۳۲۲	۲		
-۰/۳۲۱	۱۰/۹۶۹	۲/۲۲۳	۱	دندانه اره‌ای	۱۳
/۱۵۰	۷/۴۸۹	۹/۹۳۸	۲		
-۰/۱۳۴	-۱/۷۶۰	۱۲/۰۶۷	۱	مربعی	
-۰/۰۶۷	-۲/۴۶۲	۱۲/۴۶۹	۲		

در مدل رگرسیونی جدول V حجم گردو، C ضریب ثابت، α ضریب فشار صدا، P فشار صدا

۵. مآخذ

- [۱] دوستی، آ. "آنالیز یوکی گردو با استفاده از تکنیک‌های پردازش صدا و شبکه عصبی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهرکرد، گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۳۹۰.
- [2] Moreda, G. P., J. Ortiz-Canavate, F. J. Garcia Ramos, M. Ruiz-Altisent. "Non-Destructive technologies for fruit and vegetable size determination." *a review. Journal of Food Engineering*, 2009, pp. 119-136.
- [۳] ایوانی، ا.، س. مینایی. "اندازه‌گیری صوتی حجم گردو، مبتنی بر امواج ایستای تشدیدکننده هلمهولتز." *مجله علوم کشاورزی ایران*، ۳۸، ۱۳۸۶، ص. ۲۱۹-۲۲۶.
- [4] Jarimopas, B., T. Nunak, N. Nunak. "Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables." *Postharvest Biology and Technology*, 2005, pp. 35, 25-31.
- [5] Nishizu, T., Y. Ikeda, Y. Torikata, S. Manmoto, T. Umehara, T. Mizukami. "Automatic, continuous food volume measurement with a Helmholtz resonator." *The CIGR Journal of Scientific Research and Development*, 2001, <http://cigr-ejournal.tamu.edu> (accessed August 31, 2016).
- [۶] اندکایی‌زاده، ک.، ص. نوروزی. "جداسازی گردو براساس جرم حجمی با استفاده از ماشین‌بینایی." *همایش ملی الکترونیکي دستاوردهای نوین در علوم مهندسی و پایه، تهران، مرکز پژوهش‌های زمین‌کاو، ۱۳۹۳.*
- [۷] لشگری، م.، پ. امیری، ع. ملکی. "تأثیر محل اعمال ضربه و داده‌برداری بر پاسخ فرکانسی سیب گلدن دلشیز و ردلشیز." *نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون، ۱۳۹۴.*
- [۸] خوشنام، ف.، ح. مبلی، ر. حسن بیگی بیدگلی، ش. رفیعی، ع. رجبی‌پور، ا. ایوانی. "تشخیص رسیدگی خربزه با روش غیرمخرب پاسخ آکوستیکی." *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*، ۱۳، ۱۳۹۱، ص. ۸۹-۱۰۲.
- [9] Lu, Q., J. Wang, A. Hernández Gómez, A. Garcia Pereira. "Evaluation of tomato quality during storage by acoustic impulse response." *J. Food Process. Pres.*, 2009, pp. 356-370.
- [10] A. Hernández Gómez, A. Garcia Pereira, J. Wang. "Acoustic impulse response potential to measure mandarin fruit ripeness during storage." *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 2006, 15(4), pp. 24-30.
- [11] Mohsenin, N. N. *Physical properties of plant and animal materials*, 3rd ed., Gordon and Breach, Science Publisher Inc, New York. 1980.
- [12] Anonymous, Standard test method for impedance and absorption of acoustical materials using a tube, Two microphones and a digital frequency analysis systems. ASTM: E1050-10. 2010.
- [۱۳] بی‌نام. "آکوستیک: تعیین ضریب جذب صدا و امپدانس در لوله‌های امپدانس، قسمت دوم: روش تابع تبدیل." *استاندارد ملی ایران*، ۲-۹۸۰۳، چاپ اول، ۱۳۸۶.
- [۱۴] افشانی، ع.، م. نوریان، ز. حسینی رامشه، *فرازی بر SPSS*، انتشارات بیشه، چاپ دوم، ۱۳۸۹.
- [15] Jarimopas, B., T. Nunak, N. Nunak. "Electronic device for measuring volume of selected fruit and vegetables." *Postharvest Biology and Technology*, 2005, pp. 25-31.

-
1. sorting
 2. water displacement
 3. computer vision
 4. non-destructive
 5. Helmholtz resonator
 6. waveform
 7. polyvinyl chloride
 8. impedance tube
 9. Scope[®]
 10. Matlab (R2010a)[®]
 11. SPSS[®]