

# طراحی و ساخت دستگاه سنجش حجم با استفاده از امواج صوتی و حذف اثر تغییرات دما در اندازه‌گیری حجم

سید علی سلیمانی ایوری<sup>۱\*</sup>، سید هادی قادری<sup>۲</sup>، احسان حاجی اسماعیلی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده برق و روباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

<sup>۲</sup> دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

\*solimani\_ali@shahroodut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۸/۰۴

## چکیده

در این مقاله روشی آسان، کم‌هزینه و سریع برای اندازه‌گیری حجم ارائه شده است. برای نیل به این هدف، دستگاهی به نام حجم‌سنج اکوستیک طراحی و ساخته شده است. در این دستگاه، اندازه‌گیری حجم با استفاده از ایجاد تغییرات کوچک در حجم هوا و اندازه‌گیری تغییرات فشار حاصل از آن انجام می‌شود. دیاگرام بلوکی کل سیستم، دقت مبدل آنالوگ به دیجیتال، تعداد نمونه‌ها در یک دوره تناوب، مدت نمونه‌برداری، بررسی پاسخ فرکانسی سیستم، دلایل حساس بودن سیستم به تغییرات دما و نحوه جبران آن و نمایش نمودارهای لازم و نتیجه‌گیری مناسب موضوعاتی است که این مقاله به آنها پرداخته است. این دستگاه از سه بخش کامپیوتر، کنترل کننده و محفظه مکانیکی تشکیل شده است. کامپیوتر وظیفه دریافت و پردازش اطلاعات، کنترل کننده وظیفه کنترل فرکانس، دامنه و تقویت خروجی میکروفون‌ها و دریافت اطلاعات از واحد مکانیکی و ارسال آنها به کامپیوتر را بر عهده دارد. محفظه مکانیکی ساختاری استوانه‌ای داشته که جسم مورد نظر درون آن قرار می‌گیرد با استفاده از یک بلندگو تغییر فشاری درون آن ایجاد و با دو عدد میکروفون تغییرات فشار اندازه‌گیری می‌شود. توسط الگوریتم‌هایی، اطلاعات لازم جمع‌آوری و پردازش‌های متفاوتی روی اطلاعات انجام می‌شود و با استفاده از قوانین ترمودینامیک، حجم جسم محاسبه می‌گردد. سرعت بالا در اندازه‌گیری، هزینه کم، سادگی و دقت قابل قبول، بارزترین ویژگی‌های دستگاه ساخته شده است. اندازه‌گیری و تحلیل‌های مکانیکی و الکترونیکی نشان می‌دهد بهترین فرکانس مورد استفاده ۴۰ هرتز است که در این میان محدودیت اصلی را محفظه مکانیکی ایجاد می‌کند. دو راه برای مقابله با تغییرات دما وجود دارد یک راه کنترل دمای محیط و دیگری جبران آن است. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد مشکل اصلی در محفظه مکانیکی است. به این خاطر، حسگر دما روی محفظه مکانیکی قرار گرفته و با تغییرات کند دمای محیط، اطلاعات لازم از میکروفون‌ها و حسگر دما دریافت و ثبت شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده پردازش شده و با استفاده از روش بهینه‌سازی  $PSO$ <sup>۱</sup> تابعی استخراج شده است که ترکیب آن با سیگنال‌های اندازه‌گیری شده میکروفون‌ها با دقت خوبی می‌تواند اثر تغییرات دما را حذف نماید به نحوی که اندازه‌گیری مستقل از تغییرات دما داشته باشیم.

## واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری حجم، جمع‌آوری اطلاعات، جبران سازی دما، الگوریتم $PSO$

### ۱. مقدمه

به وسیله آن حجم هوای درون محفظه مشخص می‌گردد. با دانستن حجم کل محفظه می‌توان حجم مایع درون آن را به دست آورد. در [۴] نیز روش و دستگاهی ارائه شده است که به وسیله آن می‌توان حجم هوای درون یک محفظه را اندازه گرفت. در این دستگاه دو محفظه وجود دارند که به وسیله یک پرده از یکدیگر جدا شده اند. جابه‌جایی این پرده تغییر حجمی را در دو محفظه به وجود آورده و دو میکروفون در دو محفظه سیگنالی را متناسب با شدت صوت اندازه‌گیری شده ایجاد می‌کنند. این سیگنال‌ها به مقادیری از پیش تعیین شده نسبت داده می‌شوند و با استفاده از آن حجم هوای درون محفظه مشخص می‌گردد. در [۵] روش و دستگاهی ارائه شده

طرح‌ها و روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری حجم ارائه شده است که ایده کلی حاکم بر بسیاری از آنها اعمال تغییر حجم در یک محفظه بسته و بررسی تغییر فشار و یا سایر خواص ترمودینامیکی آن می‌باشد. در [۱ و ۲] روش‌ها و ابزاری بر پایه این اصل ترمودینامیک که دو سیال با فشار و دمای یکسان، حجم مخصوص یکسانی دارند ارائه شده است. در [۳] روش و دستگاهی پیشنهاد شده است که می‌تواند برای اندازه‌گیری حجم مایع درون یک محفظه مورد استفاده قرار گیرد. در این دستگاه تغییر حجمی به وسیله جابه‌جایی پرده بلندگو اعمال شده و تغییر فشار ناشی از آن به وسیله یک میکروفون اندازه‌گیری می‌شود و

سوم، دیگرام بلوکی الکترونیک دستگاه در بخش چهارم، اندازه‌گیری‌ها و آزمایش‌های مختلف در بخش پنجم و مقابله با تغییرات دما و نتیجه‌گیری در بخش‌های ششم و هفتم بررسی خواهد شد.

## ۲. مکانیک دستگاه اندازه‌گیری حجم

حجم‌سنج آکوستیک دارای دو محفظه مجزا، محفظه مرجع<sup>۲</sup> و محفظه اندازه‌گیری<sup>۳</sup> می‌باشد که به وسیله پرده بلندگو از یکدیگر جدا شده اند (شکل ۱). جسم، درون محفظه اندازه‌گیری قرار گرفته و پرده بلندگو به وسیله سیگنالی به حرکت در می‌آید. با پایین آمدن پرده بلندگو حجم محفظه اندازه‌گیری کاهش یافته و حجم محفظه مرجع به همان اندازه افزایش می‌یابد. از آنجا که این فرایند بسیار سریع انجام شده و زمان لازم برای تبادل گرما وجود ندارد، می‌توان آن را فرایندی بی‌دررو در نظر گرفت. برای چنین فرایندی با توجه به این که انحراف ضریب تراکم‌پذیری از عدد یک کمتر از ۰.۰۰۰۱ بوده و با فرض اینکه انرژی درونی هوا تنها به دما وابسته باشد، رابطه  $PV^\gamma = Const.$  برای محفظه‌های مرجع و اندازه‌گیری قابل استفاده خواهد بود که در آن  $V, P$  و  $\gamma$  به ترتیب بیانگر فشار، حجم و نسبت گرماهای ویژه هوا می‌باشند. در نتیجه:

$$\frac{\Delta P_r}{P_{0_r}} + \gamma_r \frac{\Delta V_r}{V_r} = 0 \quad \text{محفظه مرجع} \quad (1)$$

$$\frac{\Delta P_m}{P_{0_m}} + \gamma_m \frac{\Delta V_m}{V_m} = 0 \quad \text{محفظه اندازه‌گیری} \quad (2)$$

در این رابطه زیرنویس‌های  $r$  و  $m$  به ترتیب نشان‌دهنده محفظه مرجع و محفظه اندازه‌گیری هستند. با ترکیب این دو رابطه می‌توان رابطه‌ای را به دست آورد که مستقل از خصوصیات ترمودینامیکی هوا و همچنین تغییر حجم اعمال شده باشد.

$$\begin{cases} P_{0_r} = P_{0_m} = P_0 \\ \gamma_r = \gamma_m = \gamma \\ \Delta V_r = -\Delta V_m = \Delta V \end{cases} \Rightarrow -\frac{\Delta P_r}{\Delta P_m} = \frac{V_m}{V_r} \Rightarrow V_m = V_r \left( -\frac{\Delta P_r}{\Delta P_m} \right) \quad (3)$$

به این ترتیب با داشتن نسبت فشار در دو محفظه می‌توان نسبت حجم هوای درون محفظه‌ها را اندازه گرفت. در حجم‌سنج آکوستیک ارائه شده برای اندازه‌گیری این تغییر فشارها از دو میکروفون استفاده شده است.

است که می‌توان با استفاده از آن حجم اجسامی مانند بدن انسان را اندازه گرفت. این دستگاه دارای یک محفظه بسته می‌باشد که یک بلندگو با قابلیت ایجاد صوتی با فرکانس متغیر و یک میکروفون برای اندازه‌گیری این صوت در جداره آن قرار گرفته است. اصول کار این دستگاه تشدید هلمهولتز و وابستگی فرکانس تشدید محفظه به حجم درون آن است. با ایجاد صوت با فرکانس‌های مختلف و اندازه‌گیری فرکانس تشدید می‌توان حجم جسم را اندازه گرفت. اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهد که حجم اضافه شده به محفظه رابطه خطی با فرکانس تشدید اندازه‌گیری شده دارد. ایشی [۶] نیز روش و دستگاهی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای اندازه‌گیری حجم جسمی که درون محفظه این دستگاه قرار گرفته است مورد استفاده قرار گیرد. در این دستگاه دو محفظه وجود دارد که به وسیله یک پرده بلندگو از یکدیگر جدا شده اند. پرده بلندگو، تغییر حجم هم اندازه‌ای را در این دو محفظه بوجود آورده و دو میکروفون تغییر فشار ناشی از این تغییر حجم یکسان را اندازه‌گیری می‌کنند. قوانین ترمودینامیک حاکم و همچنین اندازه‌گیری‌های انجام شده بیانگر آن است که نسبت فشار در دو محفظه و نسبت حجم فضای خالی آنها رابطه‌ای خطی با یکدیگر دارند و با کالیبره کردن دستگاه برای دو حجم مرجع می‌توان حجم اجسام دیگر را اندازه گرفت. او همچنین تأثیر عوامل متعددی نظیر فرکانس صوت، حجم فضای خالی درون محفظه و تعداد نمونه‌گیری را بر دقت اندازه‌گیری حجم بررسی می‌کند [۷]. کاربرد این دستگاه برای اندازه‌گیری حجم یک محفظه بسته نیز پیشنهاد شده است [۸]. همچنین می‌توان این دستگاه را برای اندازه‌گیری اتوماتیک حجم وزنه‌ها و نمونه‌ها با دقت بالا مورد استفاده قرار داد [۹]. ایشی همچنین شکل دیگری از این دستگاه را پیشنهاد می‌کند که در آن از یک بلندگو برای ایجاد تغییر حجم و یک میکروفون برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌شود. در این دستگاه یک لوله دو محفظه را به هم مرتبط می‌سازد که فشار دو سر آن برابر فشار دو محفظه بوده و درون این لوله فشار بصورت خطی تغییر می‌کند. نقطه‌ای که در آن فشار درون لوله با فشار اولیه یکسان است می‌تواند برای اندازه‌گیری نسبت حجم دو محفظه مورد استفاده قرار گیرد [۱۰]. در این مقاله ساختار مکانیکی دستگاه طراحی شده در بخش دوم و

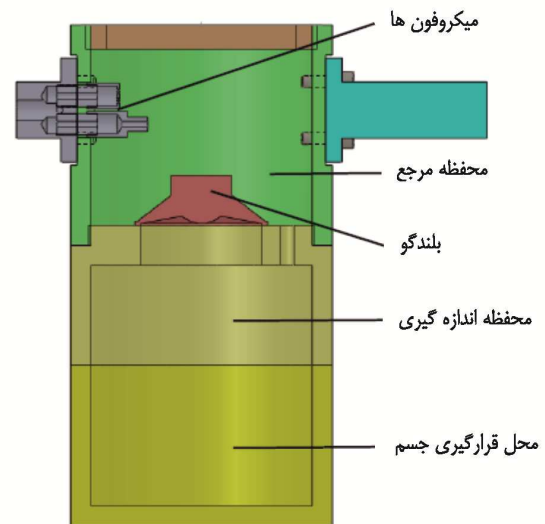
محل قرارگیری میکروفون‌ها اندازه‌گیری شده و نسبت فشار حساب شده است. در این تحلیل وابستگی نسبت فشار به فرکانس بلندگو مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است نسبت فشارهای به دست آمده از تقسیم دامنه فشار در دو محفظه حاصل شده و عملیات تبدیل دیگری بر روی آن صورت نگرفته است. شکل (۲) نتیجه این تحلیل را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل نشان داده شده است، به‌جز محدوده فرکانس  $500\text{Hz}$  که در آن تشدید رخ داده است، وابستگی نسبت فشار به فرکانس مقدار قابل ملاحظه‌ای نمی‌باشد. در این تحلیل بهترین محدوده فرکانس، محدوده‌ای تشخیص داده شده است که در آن نسبت فشار وابستگی کمی به فرکانس دارد، یعنی فرکانس‌های کمتر از  $200\text{Hz}$ . علاوه بر این، نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها بیانگر این است که دقت اندازه‌گیری به حجم دو محفظه وابسته است. زمانی که حجم دو محفظه بزرگ بوده و یا اختلاف حجم زیادی داشته باشند، دقت اندازه‌گیری کاهش می‌یابد. از این رو برای اندازه‌گیری اجسام با حجم کم قطعه‌ای استاندارد نیز درون محفظه اندازه‌گیری قرار می‌گیرد که سبب کاهش حجم محفظه و بهبود نتیجه اندازه‌گیری می‌شود.

#### ۴. الکترونیک دستگاه اندازه‌گیری حجم

الکترونیک دستگاه باید با کامپیوتر ارتباط داشته باشد و بتواند اطلاعاتی را ارسال و دریافت نماید و در صورت لزوم اطلاعات دریافتی را ذخیره نماید. همچنین لازم است موجی سینوسی را با دامنه و فرکانس قابل انتخاب، تولید، تقویت و به بلندگوی قرار گرفته در سیستم مکانیکی ارسال نماید. دو سیگنال دریافتی از میکروفون‌های قرار گرفته در سیستم مکانیکی را تقویت، با دقت خوبی به دیجیتال تبدیل و برای کامپیوتر ارسال نماید. علاوه بر سیگنال دریافتی از میکروفون‌ها، موج سینوسی ارسال شده به بلندگو را به دیجیتال تبدیل و برای کامپیوتر ارسال نماید. نرخ نمونه‌برداری و زمان نمونه‌برداری قابل انتخاب داشته باشد و نرم‌افزار مناسبی داشته باشد که به راحتی بتوان از وضعیت سیستم مطلع شد و اطلاعات دریافتی را نمایش داد و ذخیره و سپس پردازش نمود.

دیگرام بلوکی کلی قسمت الکترونیک در شکل (۳) نشان داده شده است. تقویت سیگنال میکروفون‌ها، تبدیل آنها به دیجیتال با دو دستگاه مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۲

آن قسمت از امواج خروجی دو میکروفون که نشان‌دهنده تغییرات فشار ناشی از حرکت پرده بلندگو می‌باشد، دارای همان شکل و فرکانس سیگنال ورودی بلندگو است که برای نشان دادن آن می‌توان از تبدیل فوریه استفاده کرد. نسبت دامنه‌های موج‌های خروجی دو میکروفون را می‌توان بصورت خطی به نسبت فشار دو محفظه مربوط ساخت.



شکل ۱. شماتیک دستگاه حجم‌سنج آکوستیک

$$R = k \left( - \frac{\Delta P_r}{\Delta P_m} \right) \quad (4)$$

ثابت  $k$  از این جهت وارد معادله شده است که نسبت دقت دو میکروفون نیز در نظر گرفته شده باشد. به این ترتیب حجم جسم مورد اندازه‌گیری،  $V$ ، برابر اختلاف حجم کل محفظه اندازه‌گیری،  $V_{m0}$ ، و حجم هوای این محفظه،  $V_m$ ، خواهد بود.

$$V = V_{m0} - V_m = V_{m0} - \left( \frac{V_r}{k} \right) R = C_1 R + C_2 \quad (5)$$

که در آن  $C_1$  و  $C_2$  ثابت می‌باشند. برای چنین رابطه خطی‌ای می‌توان به وسیله دو آزمایش، یکی با قرار دادن جسمی با حجم مشخص درون محفظه اندازه‌گیری و دیگری با خالی نمودن آن و اندازه‌گیری  $R$  برای این دو حالت، این خط را مشخص نمود و حجم اجسام دیگر را بر اساس این خط به دست آورد [۹۱۰].

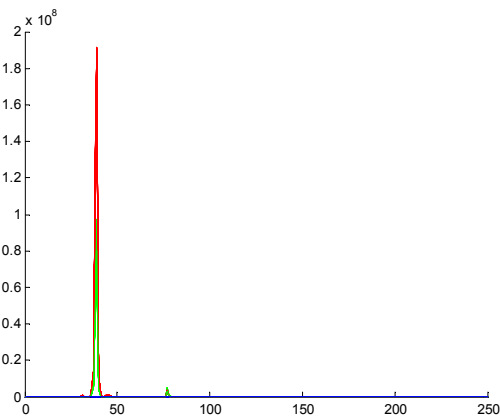
#### ۳. به دست آوردن شرایط کاری مناسب دستگاه

برای تعیین فرکانس مناسب کاری دستگاه، مدلی با ابعاد و شرایط واقعی در نرم‌افزار ANSYS ساخته شده، فشار در

فرکانسی مطلوبی ارائه می‌کند. دستگاه در این فرکانس پاسخ خوبی داشته و با تغییر جزئی فرکانس دامنه خروجی میکروفون‌ها ثابت است.

### ۵.۲. پایداری فرکانسی دستگاه

دومین موردی که می‌بایست بررسی می‌شد پایداری فرکانسی دستگاه بود. اگر با گذشت زمان و تغییرات دما فرکانس موج ارسالی به بلندگو تغییر کند اندازه‌گیری دقیق نخواهد بود. به این دلیل به مدت ۱۲ ساعت موج اعمالی به بلندگو و موج‌های دریافتی از میکروفون‌ها به دیجیتال تبدیل و ذخیره شده است سپس از آنها تبدیل فوریه گرفته و نتایج در شکل (۴) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در طی مدت اندازه‌گیری، تغییری در فرکانس موج اعمالی به بلندگو (قرمز) و موج‌های دریافتی از میکروفون‌ها (سبز) ایجاد نشده است.



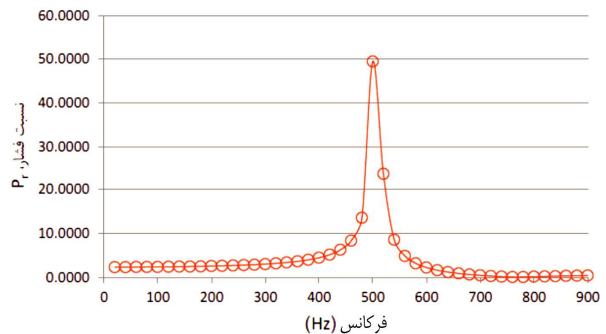
شکل ۴. پایداری فرکانسی دستگاه

### ۵.۳. عملکرد دستگاه با گذشت زمان و تغییر حجم داخل

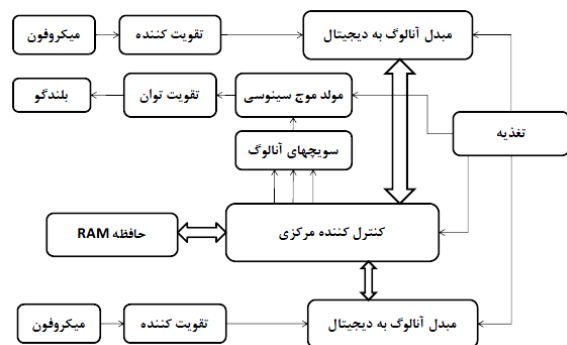
#### محفظه

شکل (۵) نسبت فشار اندازه‌گیری شده در دو محفظه را به ازای گذشت زمان نشان می‌دهد. در این شکل محور عمودی نسبت دو فشار و محور افقی شماره اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. هر اندازه‌گیری حدود ۲۰ ثانیه طول کشیده و فاصله بین اندازه‌گیری‌ها ۳۰ ثانیه است. این شکل نشان می‌دهد سیستم نسبت به زمان حساسیت کمی دارد. البته چون در اندازه‌گیری کنترلی روی دما وجود نداشته است تغییراتی جزئی وجود دارد. در شکل (۶)، حجمی در اندازه‌گیری ۶۲۰۰ داخل محفظه قرار گرفته و تغییرات فشار آن نشان داده شده است.

بیتی، تولید موج سینوسی با فرکانس قابل تغییر، طراحی برد سخت‌افزار، سرهم‌بندی قطعات، عیب‌یابی سخت‌افزار، پاسخ فرکانسی مدار و برنامه‌های نوشته شده روی سخت‌افزار و کامپیوتر جهت جمع‌آوری اطلاعات مطمئن از مواردی است که مد نظر قرار گرفته است. پاسخ فرکانسی باید به نحوی باشد که فرکانس‌های ۲۰ تا ۲۰۰ هرتز را به راحتی تقویت نماید.



شکل ۲. وابستگی نسبت فشار به فرکانس



شکل ۳. دیاگرام بلوکی بخش الکترونیکی سیستم تعیین حجم

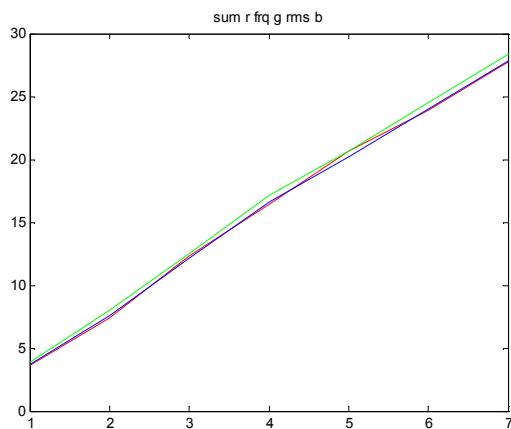
### ۵. اندازه‌گیری‌ها

برای تشخیص و رفع عیب در دستگاه ساخته‌شده، آزمایش‌های زیادی روی آن انجام شده است. تعدادی از این آزمایش‌ها که مربوط به اندازه‌گیری است در ادامه آورده شده است.

#### ۵.۱. انتخاب فرکانس کاری دستگاه

اولین موردی که می‌بایست بررسی می‌شد فرکانس کاری مناسب دستگاه بود. بدین جهت از فرکانس ۲۰ هرتز شروع نموده و با افزایش با گام‌های ۵ هرتزی، اندازه‌گیری‌ها انجام و نتایج ثبت گردید. بررسی نتایج نشان می‌دهد که دستگاه در فرکانس ۴۵ هرتز پاسخ

نماید. برای کم نمودن آن باید سطح تماس درپوش و محفظه کاملاً صیقلی شده و این دو به طور کامل روی هم قرار گیرند.



شکل ۷. میزان خطی بودن حجم اندازه‌گیری شده با زیاد شدن حجم داخل محفظه

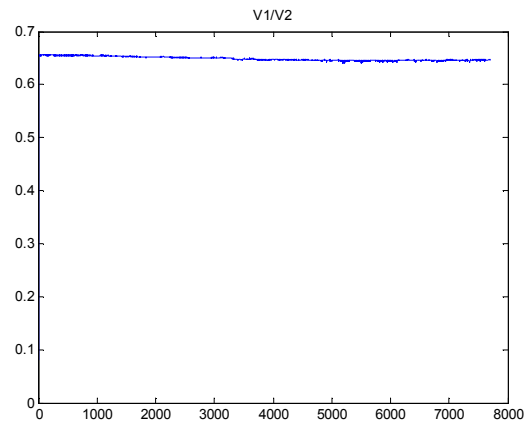
از نتایج آزمایش قبل می‌توان برای اندازه‌گیری حجم مجهول طبق الگوریتم زیر استفاده کرد:  
الف. ابتدا با محفظه خالی نسبت فشار دو محفظه نسبت به هم سنجیده می‌شود.

ب. با قرار دادن حجم مرجع در محفظه اندازه‌گیری، نسبت فشار دو محفظه نسبت به هم اندازه‌گیری می‌شود. وجود این دو اندازه‌گیری به مفهوم کالیبره نمودن دستگاه براساس مشخصات فعلی دستگاه است که نسبت به زمان و دما تغییراتی خواهد داشت.

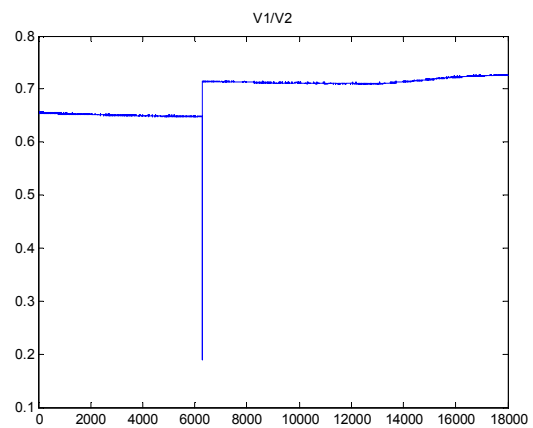
ج. با بیرون آوردن حجم مرجع و جایگذاری آن با حجم مجهول، اندازه‌گیری دیگری صورت می‌گیرد. با داشتن این سه اندازه‌گیری می‌توان حجم جسم مجهول را طبق رابطه ۵ اندازه‌گیری کرد. از آنجایی که سطح جسم در میزان حجم مؤثر است در این آزمایش‌ها باید ظاهر حجم مرجع و حجم جسم مجهول مشابه هم باشند و مناسب آن است که حجم جسم مرجع تقریباً نصف بیشینه حجم مجهول قابل اندازه‌گیری باشد.

#### ۵.۵. بررسی تعداد نمونه‌ها در هر دوره تناوب

همان طور که اشاره شد دستگاه در فرکانس ۴۵ هرتز عملکرد خوبی دارد. برای دیجیتال نمودن آن که با دقت ۱۲ بیت صورت می‌گیرد باید نمونه‌گیری انجام گیرد. لازم است در هر دوره تناوب چند نمونه دریافت گردد تا محاسبات از دقت خوبی برخوردار باشند. اگر تعداد



شکل ۵. نسبت فشار اندازه‌گیری شده به مدت طولانی

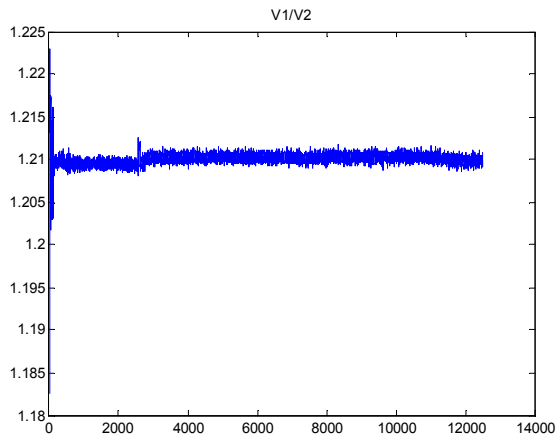


شکل ۶. نسبت فشار با تغییر حجم داخل محفظه

#### ۵.۴. بررسی خطی بودن دستگاه و اندازه‌گیری حجم مجهول

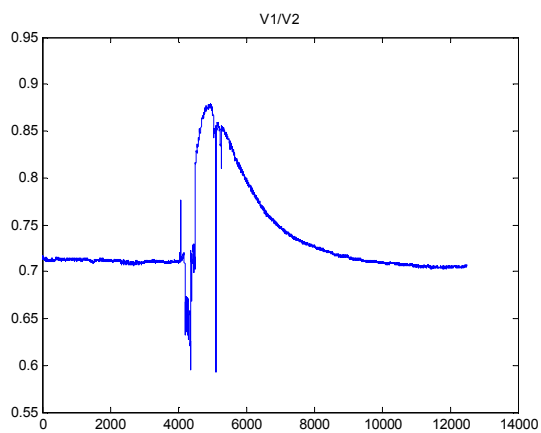
در آزمایش بعدی ۷ ساچمه با حجم یکسان را انتخاب و یکی یکی داخل محفظه قرار می‌دهیم و اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. انتظار داریم با زیاد نمودن تعداد ساچمه‌ها حجم اندازه‌گیری شده به صورت خطی زیاد شود. میزان خطی بودن دستگاه به ازای سه روش مختلف برای بیان نسبت فشارها در شکل (۷) نشان داده شده است. این سه روش نسبت ولتاژ بیشینه ولتاژ اندازه‌گیری شده، نسبت اندازه طیف فرکانسی و مقدار نسبت جذر میانگین مجذور<sup>۴</sup> خروجی میکروفون‌هاست. همان طور این شکل نشان می‌دهد، دو روش نسبت بیشینه ولتاژ اندازه‌گیری شده و مقدار جذر میانگین مجذور دو خروجی میکروفون‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند و پاسخ خطی نسبتاً مطلوبی ارائه می‌دهند. لازم به ذکر است که دستگاه به تغییرات جزئی نیز حساس است. به عنوان مثال ممکن است با برداشتن و جایگذاری مجدد درپوش محفظه شرایط اندازه‌گیری تغییر

نبوده اند). شکل (۸) نشان می‌دهد که اگر فقط قسمت الکترونیکی دستگاه دخالت داشته باشد تغییر دما اثر بسیار کمی بر نسبت حجم‌ها خواهد گذاشت. مقایسه این دو شکل نشان می‌دهد قسمت مکانیکی سیستم به شدت به دما وابسته است و باید توجهات لازم صورت گیرد.



شکل ۸. نسبت فشار در آزمایش دمای قسمت الکترونیکی

برای جبران اثر دما، دمای محفظه مکانیکی اندازه‌گیری و توسط الگوریتم بهینه‌سازی  $PSO$  [۱۲] تابعی استخراج شده است که ترکیب آن با نسبت فشار اندازه‌گیری شده تا اندازه ای جبران شود و نسبت فشار ثابتی به ازای دماهای مختلف به دست آید. پس از استخراج تابع، اندازه‌گیری دیگری انجام و با تابع استخراج شده و ترکیب می‌شود و انتظار می‌رود که نسبت فشار خطی باشد. شکل (۱۰) (نمودار آبی) تغییرات نسبت فشار به ازای تغییرات دما بین  $20^{\circ}C$  تا  $30^{\circ}C$  را نشان می‌دهد.



شکل ۹. نسبت فشار در آزمایش دمای قسمت‌های الکترونیکی و مکانیکی

نمونه‌ها کم باشد نوع ارتباط و سخت افزار ساده‌تر خواهد بود اما دقت پایین خواهد آمد. از طرف دیگر زیاد کردن تعداد نمونه‌ها ارتباط را با مشکل مواجه می‌کند. اندازه‌گیری‌ها با ۲۰، ۲۵، ۳۲ و ۴۰ نمونه در دوره‌تناوب انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد با ۳۲ نمونه دقت خوبی خواهیم داشت و از طرفی سخت افزار به خوبی پاسخگو می‌باشد.

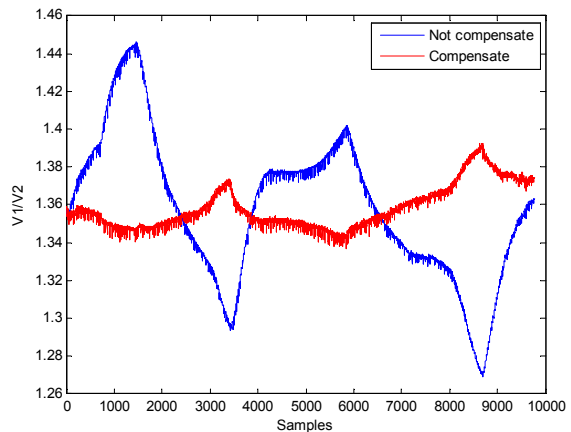
## ۶. اصلاح دما

از مشخصه‌های اصلی یک دستگاه اندازه‌گیری، عدم حساسیت آن نسبت به دما است. در حین کار با دستگاه متوجه شدیم که دستگاه ساخته شده نسبت به دما حساسیت داشته و می‌بایست به روشی آنرا حل نمود. در این راستا سه روش پیشنهاد می‌گردد. روش اول این است که اندازه‌گیری در محیطی با دمای ثابت انجام گیرد. به این منظور، آزمایشگاه خاصی مورد نیاز است که این امر نیز شرایط خاص خود را می‌طلبد و هزینه نسبتاً زیادی خواهد داشت. روش دوم این است که در هر اندازه‌گیری حجم جدید، حجم مرجع نیز اندازه‌گیری شود. در این حالت از آنجایی که در هر اندازه‌گیری، حجم مرجع نیز با دمای فعلی دستگاه سنجیده می‌شود اثر دما در اندازه‌گیری حجم به حداقل خواهد رسید. این روش اندازه‌گیری کاربرد زیادی دارد. روش سوم این است که دما نیز اندازه‌گیری شده و تأثیر آن در پاسخ سیستم لحاظ گردد.

این دستگاه به طور کلی از دو قسمت الکترونیکی و مکانیکی تشکیل شده است. مشخصات قطعات الکترونیکی و مکانیکی دستگاه به دما وابسته اند [۱۱]. اما این که کدام بخش تأثیر بیشتری از دما می‌پذیرد از اندازه‌گیری‌های عملی معلوم می‌شود. محدوده تغییرات دما بین  $20^{\circ}C$  تا  $30^{\circ}C$  منظور شده است. ابتدا قسمت الکترونیکی دستگاه از قسمت مکانیکی آن جدا شده و توسط یک مدار مقاومتی ساده سیگنال‌هایی به جای ورودی‌های میکروفون به بخش الکترونیکی دستگاه اعمال شده است. در حین تغییرات دما، اندازه‌گیری‌ها انجام شده و شکل (۸) به دست آمده است. سپس با اتصال قسمت مکانیکی، اندازه‌گیری دوباره انجام شده و شکل (۹) به دست آمده است (در این آزمایش، گرم شدن به صورت سریع انجام شده است و دو محفظه بالایی و پایینی هم‌دما

- [2] U.S. Patent No. 4,112,738 (issued Sep. 12, 1978)
- [3] U.S. Patent No. 4,474,061 (issued Oct. 2, 1984)
- [4] U.S. Patent No. 4,561,298 (issued Dec. 31, 1985)
- [5] U.S. Patent No. 4,640,130 (issued Feb. 3, 1987)
- [6] U.S. Patent No. 5,824,892 (issued Oct. 20, 1998)
- [7] T. Kobata, M. Ueki, A. Ooiwa, Y. Ishii, Measurement of the volume of weights using an acoustic volumeter and the reliability of such measurement, *Metrologia*, 41(2):S75-83, 2004.
- [8] Pub No.: US 2005/0178191 A1 (issued Aug. 18, 2005)
- [9] M. Ueki, T. Kobata, K. Ueda, A. Ooiwa, Automated volume measurement for weights using acoustic volumeter, *IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 International Conference Cultivating metrological knowledge*, Merida, Mexico, 27th to 30th November, 2007.
- [10] I. Torigoe, Y. Ishii, Acoustic Bridge Volumeter, *Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers*, E-1(1):164-170, 2001.
- [11] M. Dongsheng, C. Zhang, Thermal Compensation Method for CMOS Digital Integrated Circuits Using Temperature Adaptive DC-DC Converter, *IEEE Trans. on Circuits and System - 2: Express Brief*, 2005.
- [12] C. Li, S. Yang, An Adaptive Learning Particle Swarm Optimizer for Function Optimization, *IEEE*, 2009.

نتیجه پس از ترکیب به صورت خط قرمز در شکل (۱۰) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که می‌توان با تعیین یک تابع غیرخطی مناسب به نتیجه بهتری دست یافت. این شکل نشان می‌دهد تغییرات نسبت فشار از ۱٫۳٪ به ۲٫۰٪ به ازای  $1^{\circ}C$  رسیده است. لذا اگر در اندازه‌گیری به طور همزمان از این روش و حجم مرجع کمک گرفته شود به نتایج خوبی می‌توان دست یافت.



شکل ۱۰. جبران نسبت فشار با تغییرات دما

## ۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله به طراحی و ساخت دستگاه حجم‌سنج آکوستیکی پرداخته شد و مسائل و مشکلات مربوط به آن مورد نقد و بررسی قرار گرفت. نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد با روش فوق می‌توان حجم اجسام را نسبت به یک حجم مرجع اندازه‌گیری نمود. همچنین نشان داده شد قسمت مکانیکی دستگاه به شدت نسبت به تغییرات دما حساس بوده و باید اندازه‌گیری‌ها را در محیطی کنترل‌شده انجام داد و یا ترتیبی اتخاذ نمود که اثر حرارت جبران شود. الگوریتم بهینه‌سازی *PSO* جهت استخراج تابعی غیرخطی پیشنهاد شد و تابعی استخراج شد که به کمک آن می‌توان دقت را با وجود تغییرات دما به میزان زیادی بهبود داد.

## پی‌نوشت

1. Particle Swarm Optimization
2. Reference Container
3. Measuring Container
4. RMS (Root Mean Square)

## مراجع

- [1] U.S. Patent No. 3,113,448 (issued Dec. 10, 1963)