

## جبران‌سازی تغییرات دما در دستگاه سنجش حجم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات

سید علی سلیمانی ایوری<sup>۱\*</sup> و سید هادی قادری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده مهندسی برق و رباتیک

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۹/۲۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۲/۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۰

### چکیده

حجم‌سنج آکوستیک از محفظه مکانیکی، کنترل‌کننده و رایانه تشکیل شده است. محفظه مکانیکی خود شامل دو محفظه مرجع و اندازه‌گیری است که با پرده یک بلندگو از هم جدا شده‌اند. جسم مورد نظر درون محفظه اندازه‌گیری قرار گرفته، توسط بلندگو تغییر حجمی درون دو محفظه ایجاد می‌گردد و با میکروفون تغییرات فشار هوا اندازه‌گیری می‌شود. پس از جمع آوری اطلاعات، با استفاده از قوانین ترمودینامیک حجم جسم محاسبه می‌گردد. سرعت بالا در اندازه‌گیری، هزینه کم و دقت قابل قبول از ویژگی‌های دستگاه ساخته شده است. دستگاه وابستگی شدید به تغییرات دمای محیط دارد که آزمون‌ها، این حساسیت به دما را مربوط به محفظه مکانیکی نشان می‌دهد. کنترل دمای محیط، استفاده از میکروفون‌های اندازه‌گیری به همراه قطعات خاص، استفاده از حجم مرجع در هر بار اندازه‌گیری و جبران‌سازی دما راه‌های مقابله با تغییرات دما هستند. جبران‌سازی دما روشی کم هزینه است که این مقاله به آن می‌پردازد. برای این منظور، حسگر دما روی محفظه مکانیکی قرار گرفته، با تغییرات کند دمای محیط، اطلاعات لازم از میکروفون‌ها و حسگر دما دریافت و ثبت شده است. پس از جمع آوری داده‌ها با استفاده از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات، تابعی استخراج و توسط آن جبران‌سازی دما انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد با این روش می‌توان با تغییرات دما به خوبی مقابله کرد و اندازه‌گیری دقیق‌تری ارائه نمود.

**کلمات کلیدی:** اندازه‌گیری حجم؛ جمع آوری اطلاعات؛ بهینه‌سازی ازدحام ذرات؛ جبران‌سازی دما.

## Compensation of temperature variation in a volume-meter device using particle swarm optimization algorithm

S.A. Soleimani Ivary<sup>1\*</sup> and S.H. Ghaderi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Assoc. Prof., Dept. of Electrical and Robotics Eng., Shahrood University of Tech., Shahrood, Iran

<sup>2</sup>Assist. Prof., Dept. of Mechanical Eng., Shahrood University of Tech., Shahrood, Iran

### Abstract

The acoustic volume-meter device is sensitive to the variation of temperature. This temperature sensitivity is found to be originated from the mechanical part of the device. To deal with the negative effects of temperature variations temperature compensation is a cost effective method. A temperature sensor is included in the mechanical part and is connected to the interface board and the data from microphones and this sensor is recorded simultaneously. Based on the collected data and the particle swarm optimization algorithm, a function is derived that compensates the effect of temperature. The results indicate that the using the presented method, the inaccuracies due to the temperature variations can be significantly reduced and a conduct more accurate measurement.

**Keywords:** Volume measurement; Data acquisition; PSO algorithm; Temperature compensation.

## ۱- مقدمه

روش‌های گوناگونی 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 ناشی از آن می‌باشد. در [۱ و ۲] روش‌ها و ابزاری برپایه اصل اولیه ترمودینامیک که دو سیال با فشار و دمای یکسان، حجم مخصوص یکسانی دارند، جهت اندازه‌گیری حجم ارائه شده است. در [۳] روش و دستگاهی برای اندازه‌گیری حجم مایع درون یک محفظه پیش‌نهاد شده است. در این دستگاه تغییر حجم به وسیله جابجایی پرده بلندگو و تغییر فشار ناشی از آن به وسیله یک میکروفون، اندازه‌گیری می‌شود و بوسیله 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 بوسیله آن می‌توان حجم هوای درون یک محفظه را اندازه گرفت. در این دستگاه، دو محفظه وجود دارد که بوسیله یک پرده از یکدیگر جدا شده‌اند. جابجایی این پرده تغییر حجمی را در دو محفظه بوجود 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 می‌شود و با استفاده از آن حجم هوای درون محفظه مشخص می‌گردد. در [۵] روش و دستگاهی ارائه شده است که می‌توان با استفاده از آن حجم اجسامی مانند بدن انسان را اندازه گرفت. این دستگاه دارای یک محفظه بسته است 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 هلم-هولتز 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 با فرکانس تشدید اندازه‌گیری شده رابطه خطی دارد. ایشی [۶] نیز روش و دستگاهی 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 پرده‌ی یک بلندگو از یکدیگر جدا شده‌اند. 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 با یکدیگر رابطه‌ای خطی دارند و با تنظیم کردن دستگاه برای دو حجم مرجع می‌توان حجم اجسام دیگر را اندازه گرفت. وی هم چنین تأثیر عوامل متعددی نظیر فرکانس صوت، حجم فضای خالی درون محفظه و تعداد نمونه‌ها را بر دقت اندازه‌گیری حجم بررسی نموده است [۷]. کاربرد این دستگاه برای اندازه‌گیری حجم یک محفظه بسته نیز پیش‌نهاد شده است [۸]. هم چنین می‌توان این دستگاه را برای اندازه‌گیری خودکار حجم وزنه‌ها و نمونه‌ها با دقت بالا مورد استفاده قرار داد [۹]. ایشی هم چنین 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 می‌کند که فشار دو سر آن برابر فشار دو محفظه بوده و درون این لوله، فشار به صورت 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]. جین و همکارانش براساس روش صوتی به حجم سنجی پرداخته و وزن‌های ۱ الی ۲۰ کیلوگرم را با دقت خوبی اندازه‌گیری نموده‌اند [۱۱]. تریجو کاربردی جدید از دستگاه حجم سنج ارائه داده است [۱۲]. در [۱۳] یک روش جدید برای تعیین چگالی مواد با استفاده از یک گاز مرجع ارائه شده است. هم چنین در [۱۴] دستگاهی ارائه شده‌است که براساس وزن سنجی هیدروستاتیکی، حجم و چگالی یک جسم را تعیین می‌کند. نکته قابل توجه اینکه این مراجع در رابطه با تغییرات دما بحثی به میان نیاورده و به نظر می‌رسد اندازه‌گیری‌ها در این دستگاه‌ها در دمای ثابت و کنترل شده انجام شده است. از طرف دیگر الگوریتم اندازه‌گیری باعث می‌شود تغییرات دمایی تأثیر کمی در عمل کرد دستگاه داشته باشد. به عبارت دیگر در هر بار اندازه‌گیری، حجم مرجع نیز اندازه‌گیری می‌شود. حال اگر قرار باشد حجم مرجع در اندازه‌گیری‌ها دخالت نداشته باشد و حجم سنجی با سرعت بیشتری انجام گیرد، دستگاه بایستی نسبت به زمان و دما تغییرات نداشته باشد.

در این روابط، زیرنویس  $r$  و  $m$  به ترتیب نشان‌دهنده محفظه مرجع و محفظه اندازه‌گیری و  $V, P$  و  $\gamma$  به ترتیب بیانگر فشار، حجم و نسبت گرماهای ویژه هوا 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. با فرض

$$\begin{cases} P_{0_r} = P_{0_m} = P_0 \\ \gamma_r = \gamma_m = \gamma \\ \Delta V_r = -\Delta V_m = \Delta V \end{cases}$$

می‌توان نوشت.

$$-\frac{\Delta P_r}{\Delta P_m} = \frac{V_m}{V_r} \Rightarrow V_m = V_r \left( -\frac{\Delta P_r}{\Delta P_m} \right) \quad (3)$$

به این ترتیب با داشتن نسبت فشار در دو محفظه می‌توان نسبت حجم هوای درون محفظه‌ها را اندازه گرفت. در حجم سنج آکوستیک ارائه شده برای اندازه‌گیری این تغییر فشارها از دو میکروفون استفاده شده است. آن قسمت از امواج خروجی دو میکروفون که نشان دهنده 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 دامنه موج‌های خروجی دو میکروفون را می‌توان به صورت خطی به نسبت فشار دو محفظه مربوط ساخت.

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

ثابت  $k$  از این جهت وارد معادله شده است تا 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 خطی 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 [۹ و ۱۰].

رسیدن به چنین دستگاهی بسیار مشکل است ولی می‌توان تا اندازه‌ای به آن نزدیک شد. مقاله حاضر تلاشی در این زمینه است.

در ادامه، بخش ۲ دستگاه اندازه‌گیری حجم را معرفی می‌کند. در بخش ۳، مشخصات دستگاه بررسی شده، نقاط قوت و ضعف آن مشخص می‌گردد. در بخش ۴، الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات و در بخش ۵ روش پیش‌نهادی برای جبران‌سازی دما معرفی می‌گردد و بخش ۶ به نتیجه‌گیری می‌پردازد.

## ۲- دستگاه اندازه‌گیری حجم

این دستگاه از دو بخش مکانیکی و الکترونیکی تشکیل شده است که در ادامه هر یک مختصر توضیح داده می‌شود [۲۰]. حجم‌سنج آکوستیک، که در شکل ۱ دو کاربرد آن نشان داده شده است، از محفظه مرجع<sup>۱</sup> و محفظه اندازه‌گیری<sup>۲</sup> که به وسیله پرده بلندگو از یکدیگر جدا شده‌اند، تشکیل شده است. جسم مورد نظر روی پایه<sup>۳</sup> قرار گرفته سپس محفظه اندازه‌گیری روی آن قرار می‌گیرد. با اعمال سیگنال به بلندگو، پرده بلندگو 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 اینکه انحراف ضریب تراکم‌پذیری کمتر از ۰.۰۰۱ 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 گرمای ویژه هوا می‌باشند. در نتیجه، در محفظه مرجع رابطه ۱ و در محفظه اندازه‌گیری رابطه ۲ حاکم است.

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

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

<sup>1</sup> Reference Container

<sup>2</sup> Measuring Container

<sup>3</sup> Base

باشد که فرکانس‌های ۲۰ الی ۲۰۰ هرتز را به خوبی تقویت نماید.

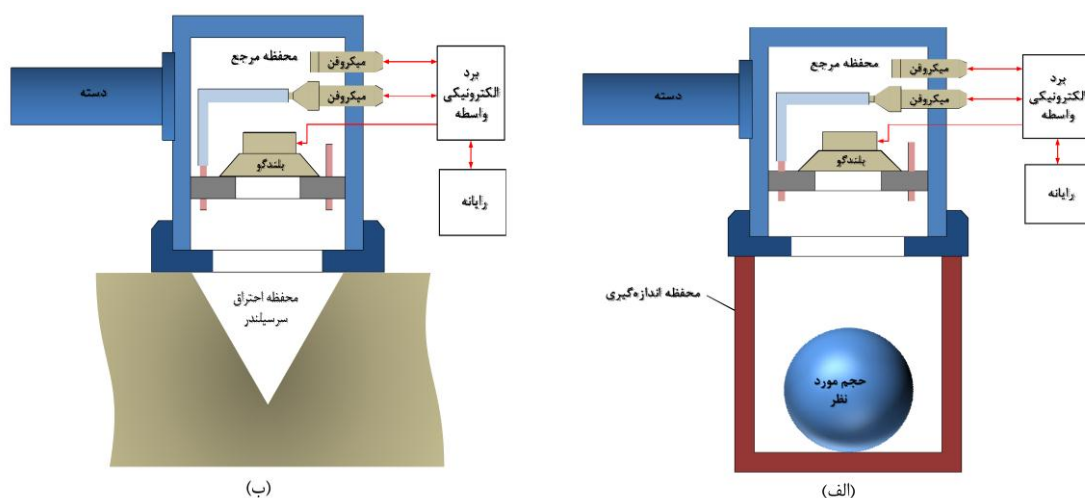
### ۳- بررسی مشخصات دستگاه

پس از ساخت دستگاه، پایداری فرکانسی موج سینوسی اعمالی در مدت ۲۴ ساعت بررسی و اطمینان حاصل شد که این فرکانس ثابت است. اندازه‌گیری‌ها و تحلیل‌هایی برای انتخاب بهترین فرکانس کاری انجام شد و فرکانس ۴۵ هرتز انتخاب گردید [۲۰]. تعداد نمونه‌ها در هر زمان تناوب موج سینوسی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از آن بود که اگر در هر زمان تناوب ۳۲ نمونه انتخاب شود، اندازه‌گیری دقت لازم را خواهد داشت [۲۰]. اتصال فیزیکی پایه و محفظه اندازه‌گیری باید به درستی صورت گیرد. عدم صیقلی بودن سطح تماس این دو، تکرارپذیری آزمایش‌ها را با مشکل مواجه می‌کند، لذا سعی گردید سطح تماس صیقلی گردد.

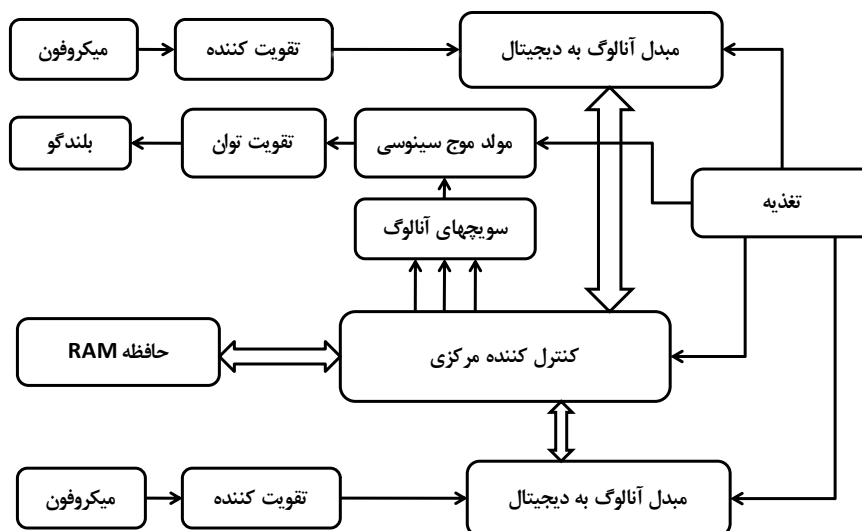
### ۳-۱- بررسی خطی بودن دستگاه

در آزمایشی ۷ ساچمه با حجم یکسان انتخاب و یکی یکی داخل محفظه قرار داده شده و اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. انتظار آن است که با زیاد نمودن ساچمه‌ها، حجم اندازه‌گیری شده به صورت خطی زیاد شود. میزان خطی بودن دستگاه

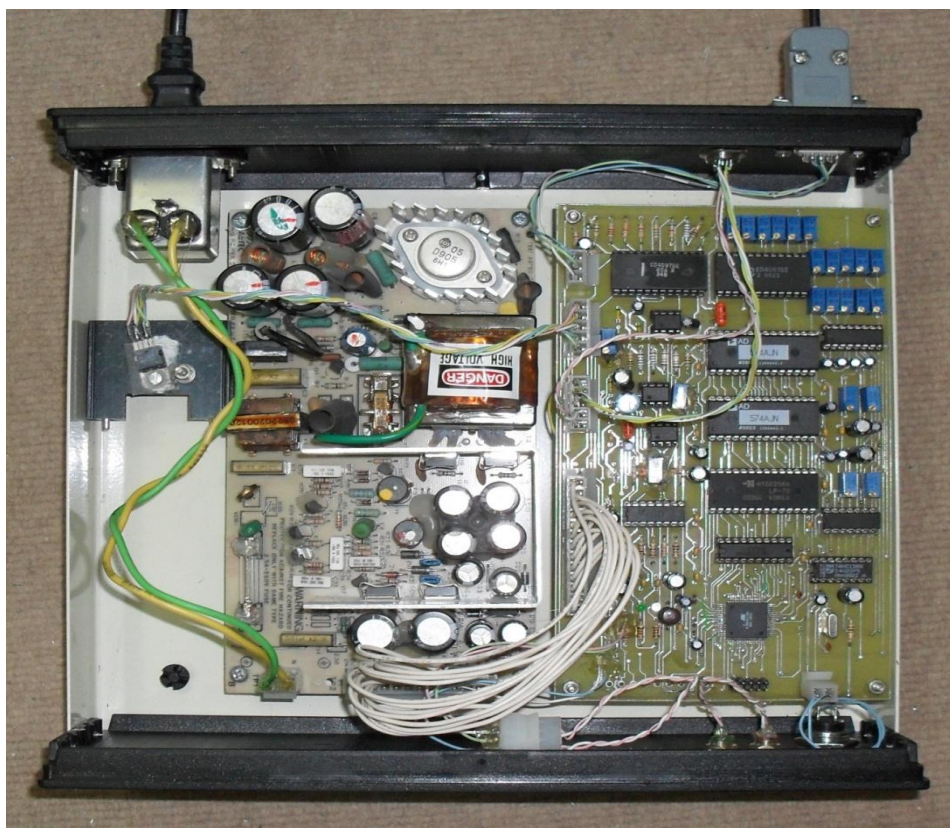
برد الکترونیکی دستگاه بایستی دارای خصوصیات زیر باشد؛ با کامپیوتر ارتباط داشته و بتواند اطلاعاتی را ارسال و دریافت نماید و در صورت لزوم اطلاعات دریافتی را ذخیره نماید. موجی سینوسی را با دامنه و فرکانس قابل انتخاب، تولید، تقویت و به بلندگوی قرارگرفته در سیستم مکانیکی اعمال نماید. دو سیگنال دریافتی از میکروفون‌های قرار گرفته در سیستم مکانیکی را تقویت نموده، با دقت خوبی به دیجیتال تبدیل کرده و برای کامپیوتر ارسال نماید. علاوه بر سیگنال دریافتی از میکروفون‌ها، باید موج سینوسی اعمال شده به بلندگو را به دیجیتال تبدیل نموده، برای کامپیوتر ارسال نماید. آهنگ نمونه برداری و زمان نمونه برداری قابل انتخاب داشته باشد. دارای نرم افزار مناسبی باشد که به راحتی بتوان از وضعیت سیستم مطلع و اطلاعات دریافتی را نمایش داده، ذخیره کرد و سپس پردازش نمود. نمودار جعبه‌ای قسمت الکترونیک در شکل ۲ و مدار ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است. تقویت سیگنال میکروفون‌ها، تبدیل آنها به دیجیتال با دو عدد مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۲ بیتی، تولید موج سینوسی با فرکانس قابل تغییر، طراحی برد سخت‌افزار، مونتاژ قطعات، عیب‌یابی سخت‌افزار، پاسخ فرکانسی مدار و برنامه‌های نوشته شده روی سخت‌افزار و کامپیوتر جهت جمع آوری اطلاعات مطمئن از مواردی است که مد نظر قرار گرفته است [۲۰]. با توجه به تحلیل مکانیکی دستگاه [۲۰]، فرکانس کاری باید حدود ۴۵ هرتز باشد، در نتیجه بایستی پاسخ فرکانسی مدارهای الکترونیکی به نحوی



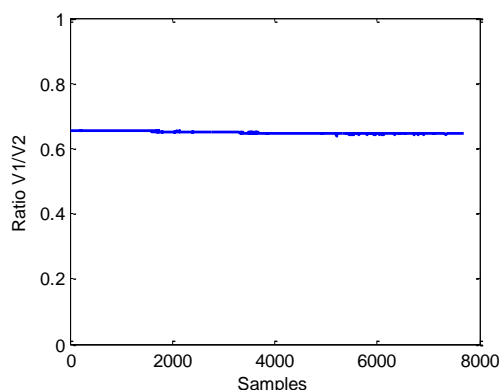
شکل ۱- کاربرد دستگاه در اندازه‌گیری (الف) حجم جسم توپر و (ب) ظرفیت یک محفظه



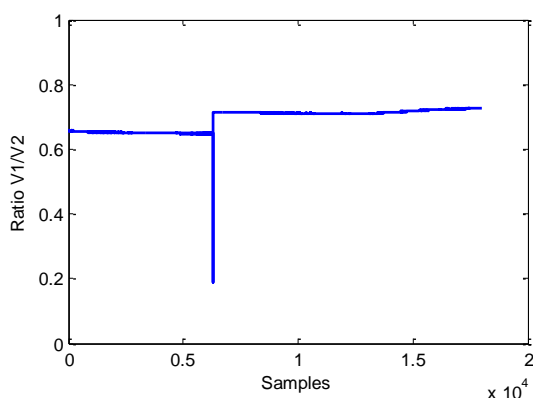
شکل ۲- نمودار جعبه‌ای بخش الکترونیک سیستم تعیین حجم



شکل ۳- نمایی از الکترونیک دستگاه اندازه‌گیری حجم

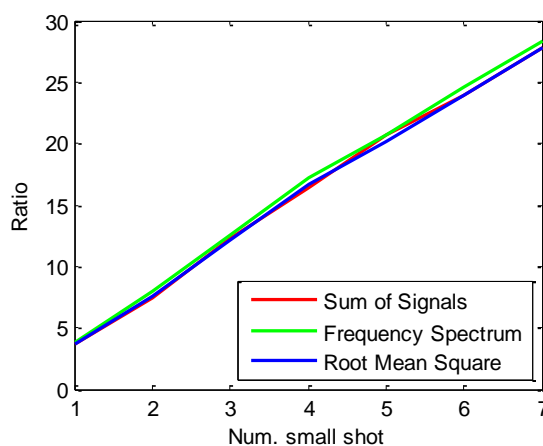


شکل ۵- نسبت فشار اندازه‌گیری شده به مدت طولانی



شکل ۶- نسبت فشار با تغییر حجم داخل محفظه

به ازاء سه روش محاسباتی مختلف برای بیان نسبت فشارها در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل نسبت دو مجموع سیگنال اندازه‌گیری شده، نسبت اندازه طیف فرکانسی دو سیگنال و نسبت RMS<sup>۱</sup> دو سیگنال، نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد، دو روش نسبت دو مجموع و نسبت دو مقدار RMS خروجی میکروفون‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند و پاسخ خطی نسبتاً مطلوبی ارائه می‌دهند.



شکل ۴- میزان خطی بودن حجم اندازه‌گیری شده با زیاد شدن حجم داخل محفظه

با ثابت بودن دما از نتایج آزمایش قبل می‌توان برای اندازه‌گیری حجم مجهول طبق الگوریتم زیر استفاده کرد:

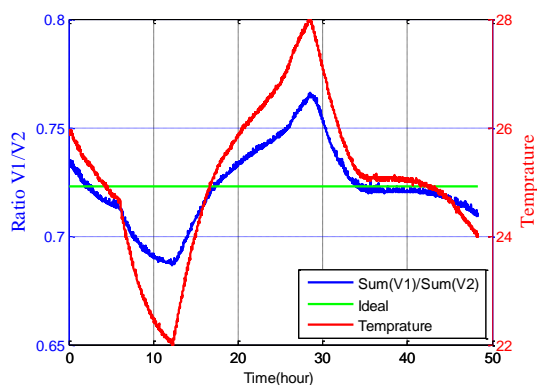
- ۱- ابتدا با محفظه خالی نسبت فشار دو محفظه نسبت به هم سنجیده می‌شود. ۲- با قرار دادن حجم مرجع در محفظه اندازه‌گیری، نسبت فشار دو محفظه نسبت به هم اندازه‌گیری می‌شود. وجود این دو اندازه‌گیری به مفهوم تنظیم نمودن دستگاه براساس مشخصات فعلی دستگاه است.
- ۳- با بیرون آوردن حجم مرجع و جایگذاری آن با حجم مجهول، اندازه‌گیری دیگری صورت می‌گیرد. با داشتن این سه اندازه‌گیری می‌توان حجم جسم مجهول را طبق رابطه ۵ تعیین کرد. از آنجایی که سطح جسم در میزان حجم مؤثر است، در این آزمون‌ها بایستی ظاهر حجم مرجع و حجم جسم مجهول مشابه هم باشند و مناسب آن است حجم جسم مرجع تقریباً نصف حداکثر حجم مجهول قابل اندازه‌گیری باشد.

### ۳-۲- تغییرات نسبت به زمان

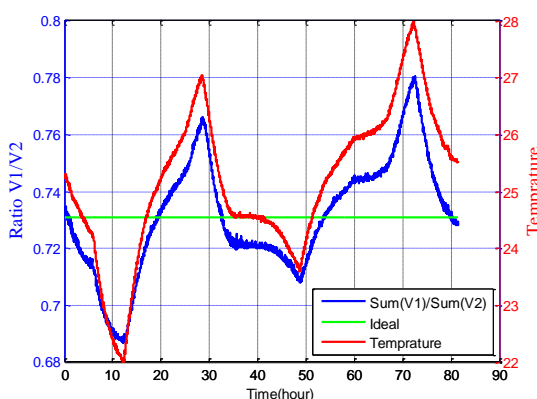
شکل ۵ نسبت فشار اندازه‌گیری شده در دو محفظه را با گذشت زمان نشان می‌دهد. در این شکل محور عمودی نسبت دو فشار و محور افقی شماره اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. هر اندازه‌گیری حدود ۲۰ ثانیه طول کشیده و فاصله بین اندازه‌گیری‌ها ۳۰ ثانیه است. این شکل نشان می‌دهد سیستم نسبت به زمان حساسیت کمی دارد. البته چون در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

<sup>۱</sup> Root Mean Square

سیگنال‌هایی به جای ورودی‌های میکروفون به مدار اعمال می‌گردد. نتایج اندازه‌گیری‌ها در حین تغییرات دما نشان می‌دهد بخش الکترونیک نسبت به تغییرات دما حساسیت چندانی ندارد. سپس با اتصال قسمت مکانیکی به قسمت الکترونیک، اندازه‌گیری مجدداً انجام شده و شکل ۹ به دست آمده است. این شکل نشان می‌دهد محفظه‌ها و میکروفون-های قرار گرفته در آن‌ها به شدت به دما وابسته هستند. برای جبران‌سازی روش‌های متعددی هم‌چون شبکه عصبی، تقریب توابع و ... وجود دارد. این مقاله از روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای تعیین ضرایب یک تابع جبران‌ساز کمک می‌گیرد.



شکل ۷- تغییرات خروجی دستگاه به ازاء تغییرات دمای محیط به ازاء اندازه‌گیری اول



شکل ۸- تغییرات خروجی دستگاه به ازاء تغییرات دمای محیط به ازاء اندازه‌گیری دوم

### ۳-۳- تغییرات نسبت به دما

از آنجایی که در حین اندازه‌گیری احتمال تغییر دما وجود دارد. از مشخصه اصلی یک دستگاه اندازه‌گیری خوب، عدم حساسیت آن به دما است. دستگاه ساخته شده نسبت به دما حساسیت داشته و بایستی به روشی آن را بر طرف نمود. دو اندازه‌گیری در مدت طولانی با تغییرات دمایی بین ۲۲ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد انجام شده و نتایج ثبت شده است. این دو اندازه‌گیری در شکل ۷ و شکل ۸ نشان داده شده است. در این دو شکل که زمان اندازه‌گیری آنها ۴۸ و ۸۲ ساعت است، تغییرات دما با رنگ قرمز و تغییرات نسبت فشار با آبی و مقدار مطلوب نسبت فشار با رنگ سبز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نسبت فشار دو محفظه وابستگی شدیدی به تغییرات دما دارد. در ادامه از این دو اندازه‌گیری برای آموزش و آزمایش جبران‌ساز استفاده شده است.

### ۳-۴- اصلاح عمل‌کرد دستگاه

چهار روش برای اصلاح عمل‌کرد دستگاه پیشنهاد می‌گردد. روش اول این است که اندازه‌گیری در محیطی با دمای ثابت انجام گیرد. روش دوم آن است که در هر اندازه‌گیری، 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. روش سوم استفاده از میکروفون‌های اندازه‌گیری و قطعات خاص می‌باشد. روش چهارم و پیشنهادی این است که دما نیز اندازه‌گیری شده و تأثیر آن در پاسخ سیستم لحاظ گردد و به عبارت دیگر جبران‌سازی دما صورت گیرد. این روش هزینه کمتری داشته و قابل انجام است. جبران‌سازی دما در [۱۵-۱۷] برای عمل‌کرد بهتر سیستم‌های مکانیکی پیشنهاد شده است. در این جبران‌سازی‌ها گاهی از شبکه‌های عصبی نیز استفاده شده است.

همان‌طور که اشاره شد، دستگاه به طور کلی از دو قسمت الکترونیک و مکانیک تشکیل شده است. مشخصات قطعات الکترونیکی و مکانیکی دستگاه به دما وابسته‌اند. اما اینکه کدام بخش تأثیر بیشتری از دما می‌پذیرد اندازه‌گیری-های عملی آنرا نشان می‌دهد. ابتدا قسمت الکترونیک دستگاه از مکانیک جدا شده، توسط یک مدار مقاومتی ساده،

شود. اولین مقدار بهینه، بهترین مقدار شخصی هر ذره  $P_{best}$  می‌باشد که بهترین موقعیتی است که تاکنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است و دومین مقدار بهینه، بهترین مقدار سراسری که با  $G_{best}$  نشان داده می‌شود، بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط جمعیت ذرات به دست آمده است. بعد از هر تکرار، الگوریتم PSO بر دار سرعت جدید را به صورت معادله ۶ بروز رسانی می‌کند.

$$v_i^{n+1} = wv_i^n + c_1 \eta (x_i^{P_{best}} - x_i^n) + c_2 r_2 (x^{G_{best}} - x_i^n) \quad (6)$$

که در آن  $w$  ضریب اینرسی،  $c_1$  فاکتور بهترین جواب محلی و  $c_2$  فاکتور بهترین جواب عمومی است. ضرایب یادگیری  $c_1$  و  $c_2$  معمولاً در بازه  $[0, 2]$  اختیار می‌شوند.  $r_1$  و  $r_2$  اعداد تصادفی حاصل از توزیع یکنواخت در بازه  $[0, 1]$  هستند. همگرایی الگوریتم شدیداً به ضریب اینرسی وابسته است و به صورت دینامیک در بازه  $[0, 9/10]$  انتخاب می‌شود که به صورت خطی در طی روند تکامل جمعیت کاهش می‌یابد. در ابتدا بزرگ می‌باشد تا امکان یافتن جواب‌های خوب در همان مراحل اولیه فراهم شود و در مراحل پایانی کوچک بودن  $w$  همگرایی بهتری را سبب می‌شود. در این مقاله این مقدار را بر اساس تعداد تکرار با معادله ۷ تعیین شده است که مقدار  $W_{initial}$  برابر با  $0,9$  می‌باشد.

$$W(t) = W_{initial} - \frac{0,5 \times iteration}{\max iteration} \quad (7)$$

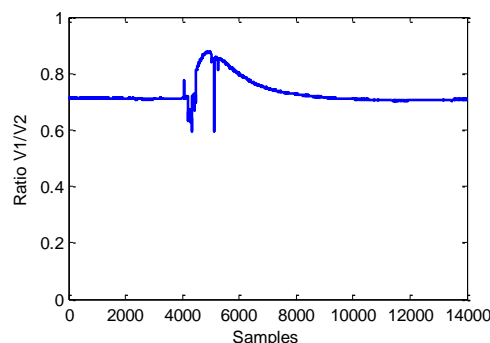
سرعت ذره‌ها در هر بعد، محدود به حداکثر سرعت  $V_{max}$  است که چگونگی حرکت ذره‌ها در فضای جستجو را مشخص می‌کند. اگر  $V_{max}$  خیلی کوچک باشد، ممکن است ذره‌ها به خوبی در فضاهای مناسب محلی کاوش نکنند و در بهینه محلی به دام بیفتند. از سویی دیگر، اگر این مقدار بیش از حد زیاد باشد، ممکن است ذرات در فضاهای دور از جواب حرکت کنند.

در نهایت ذرات به سوی موقعیت جدید، با توجه به معادله ۸ حرکت می‌نمایند.

$$x_i^{n+1} = x_i^n + v_i^{n+1} \quad (8)$$

#### ۵- الگوریتم پیش‌نهادی برای جبران‌سازی دما

برای جبران‌سازی اثر دما، علاوه بر ثبت نسبت فشار در دو محفظه، دمای محفظه مکانیکی نیز اندازه‌گیری می‌شود. سپس توسط الگوریتم بهینه‌سازی PSO تابعی استخراج می-



شکل ۹- نسبت فشار در آزمون دما برای بخش الکترونیک و مکانیک

#### ۴- الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات

الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO) برای اولین بار توسط ابره‌ارت و کندی در سال ۱۹۹۵ مطرح شد. PSO یک الگوریتم محاسبات تکاملی مبتنی بر قوانین احتمال، الهام گرفته از طبیعت و براساس تکرار می‌باشد و یکی از الگوریتم‌های بسیار پرکاربرد در زمینه بهینه‌سازی استاتیک و دینامیک می‌باشد [۱۸ و ۱۹]. در این الگوریتم، ذرات به طور محلی با هم همکاری می‌نمایند و رفتار آنها باعث همگرایی در نقطه‌ای نزدیک به جواب بهینه سراسری می‌شود. هر ذره در این الگوریتم خودمختاری نسبی دارد و می‌تواند در سراسر فضای جواب حرکت کند و با سایر ذرات همکاری داشته باشد. تفاوت عمده‌ی این الگوریتم با الگوریتم‌هایی چون ژنتیک در این است که اعضای جامعه از وضعیت سایر اعضا و یا بهترین عضو جامعه باخبر هستند و نتیجه به دست آمده توسط آنها را در تصمیم‌گیری‌های خود لحاظ می‌کنند. هم‌چنین اعضا، بهترین نتیجه خود در طی اجرای الگوریتم را به یاد داشته، همواره سعی می‌کنند تا آنرا نیز در تصمیمات خود دخالت دهند. به همین دلیل، در صورتی که اشتباهی رخ دهد و تصمیم بدی بگیرند، به زودی آنرا جبران می‌کنند. به این ترتیب، اعضای جامعه می‌توانند به راحتی محدوده اطراف خود را جستجو کنند، بدون آنکه نگران خراب‌تر شدن نتیجه باشند.

هر ذره با دو بردار موقعیت  $\bar{x}_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,M})$  و سرعت  $\bar{v}_i = (v_{i,1}, v_{i,2}, \dots, v_{i,M})$  مدل می‌شود.  $M$  بیانگر بعد هر ذره می‌باشد. اجزاء در هر تکرار، بنابر جدیدترین بردار سرعت، از موقعیتی به موقعیت‌های دیگر می‌روند. بردار سرعت هر ذره با استفاده از دو مقدار بهینه بروز رسانی می-



اجرای برنامه جهت خطای کمتر،  $m$  برابر ۳ انتخاب شده است. جدول ۱ پارامترهای مورد نیاز الگوریتم PSO را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای الگوریتم PSO

پارامتر	مقدار
تعداد تکرار	۲۰۰
جمعیت	۱۰۰
ضریب اینرسی	[۰/۴ - ۰/۹]
ضریب $C_1$	۲
ضریب $C_2$	۲

پس از آموزش در این مرحله، چند جمله‌ای زیر به دست می‌آید.

$$P(t) = 0.0493 - 0.0040 * t - 0.0013 * t^2 - 0.00004 * t^3$$

### ۵-۲- فاز آزمایش

پس از استخراج چند جمله‌ای، داده‌های شکل ۸ جهت آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت خروجی از رابطه ۱۶ به دست می‌آید.

$$y = \hat{y} + P_0 + P_1 t + P_2 t^2 + P_3 t^3 + \varepsilon \quad (16)$$

در این رابطه  $\hat{y}$  نمونه‌های اندازه‌گیری شده،  $P_0$  الی  $P_3$  ضرایب تعیین شده در مرحله آموزش،  $\varepsilon$  خطا و  $y$  خروجی مطلوب است و انتظار می‌رود یک خط مستقیم بوده و تغییرات نداشته باشد، به عبارت دیگر  $\varepsilon$  صفر باشد. نتیجه به دست آمده در شکل ۱۰ با رنگ سبز نشان داده شده است. در واقع در این شکل با جبران‌سازی، نمودار آبی به نمودار سبز تبدیل شده است. در نتیجه به این وسیله می‌توان خروجی مطلوبی داشت. البته در عمل سعی می‌گردد تغییرات دمایی کم باشد تا اثر تغییرات دما در اندازه‌گیری به حداقل برسد.

### ۶- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا دستگاه حجم سنج آکوستیک معرفی شد 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 بایستی اندازه‌گیری‌ها را در محیط کنترل شده انجام داد و یا ترتیبی اتخاذ نمود که

شود که ترکیب آن با نسبت فشار اندازه‌گیری شده، اثر تغییرات دما جبران شود و نسبت فشار ثابتی به ازای دماهای مختلف به دست آید. این مهم در دو فاز آموزش و آزمایش صورت می‌گیرد.

### ۵-۱- فاز آموزش

در این فاز از داده‌های شکل ۷ استفاده می‌شود. نسبت فشار نمونه‌های به دست آمده از اندازه‌گیری با  $\hat{y}$  نشان داده شده است.

$$\hat{y} = \hat{y}_0 + \hat{y}_1 + \dots + \hat{y}_N \quad (9)$$

که در آن  $N$  تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری شده است. مقدار متوسط داده‌ها از رابطه ۱۰ به دست می‌آید و این برابر مقدار ایده‌آل فرض می‌شود. مقدار ایده‌آل نسبت فشار، در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد است.

$$Mean = \frac{\sum_j \hat{y}_j}{N} \quad (10)$$

بایستی رابطه ۱۱ بین سیگنال اندازه‌گیری شده، متوسط آن و چند جمله‌ای اضافه شده برقرار باشد. در صورت عدم تساوی، خروجی نامطلوب خواهد بود. در واقع سعی می‌شود، حاصل اندازه‌گیری در دمایی غیر از ۲۵ درجه سانتیگراد با جبران‌سازی که صورت می‌گیرد برابر مقدار متناظر با ۲۵ درجه سانتیگراد باشد. به عبارت دیگر  $P(t)$  در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد باید مقدار صفر داشته باشد.

$$\hat{y} + P(t) = Mean \quad (11)$$

که در آن  $P(t)$  یک چند جمله‌ای است که به صورت رابطه ۱۲ بیان می‌شود.

$$P(t) = P_0 + P_1 t^1 + \dots + P_m t^m \quad (12)$$

اما در دنیای واقعی رابطه ۱۳ حاکم خواهد بود و همیشه خطایی وجود خواهد داشت. هدف این است که این خطا کم و کمتر شده و در نهایت به صفر برسد که عملاً غیر ممکن است.

$$\hat{y} + P(t) + e = Mean \quad (13)$$

باتوجه به روابط ۱۲ و ۱۳ می‌توان روابط ۱۴ و ۱۵ را نوشت.

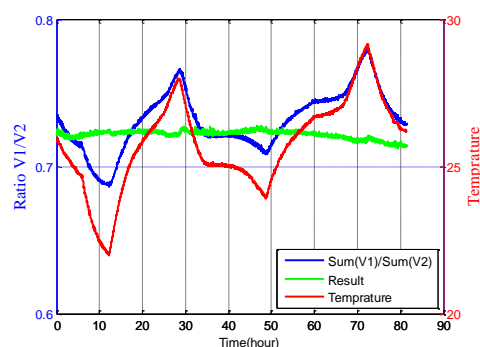
$$e = Mean - \hat{y} - P(t) \quad (14)$$

$$e = Mean - \hat{y} - P_0 - P_1 t^1 - \dots - P_m t^m \quad (15)$$

وظیفه الگوریتم PSO تعیین ضرایب  $P_0$  الی  $P_m$  است به نحوی که خطا ( $e$ ) به سمت صفر میل کند. با چند بار

- [9] Ueki M, Kobata T, Ueda K, Ooiwa A (2007) Automated volume measurement for weights using acoustic volumeter. IMEKO 20th TC3, 3rd TC16 and 1st TC22 Inter. Conf. Cultivating metrological knowledge.
- [10] Torigoe I, Ishii Y (2001) Acoustic bridge volumeter. Trans. of the Society of Instr. Con Eng E-1(1): 164–170.
- [11] Jian W, Cai CQ, Yue Z, Hu MH, Wang XL, Yao H, Zhong RL (2012) Investigation on measurement method of weight volume based on acoustics. Advanced Materials Research 487: 816–820.
- [12] Torigoe I, Segami T and Date M (2009) Acoustic capacity, volume, and surface area measurement method. Patent application No: US 2009/0217749 A1.
- [13] Choi IM, Woo SY, Lee YJ (2008) New density determination method using a reference gas. Metrologia 45(5): 524.
- [14] Sukhon R, Tulasombut V, Laopornpichayanuwat W, Pangviwat T, Mitaree M (2011) Measurement of the volume and density of weight by hydrostatic weighing method. Siam Physics Congress SPC2011.
- [15] Wu H, Yang JG and Wang XS (2007) Synthetically modeling of thermal error and grinding force induced error on a precision NC cylindrical grinding machine. Advanced Materials Research Vols 24-25: 243–248.
- [16] Liangyu C, Weiguo G, Dawei Z, Hongjie Z, Lin H (2011) Thermal error compensation for telescopic spindle of CNC machine tool based on SIEMENS 840D System. Trans Tianjin Univ 17: 340–343.
- [17] Mekid S, Ogedengbe T (2010) A review of machine tool accuracy enhancement through error compensation in serial and parallel kinematic machines. Int J Precision Technology 1, Nos. 3/4.
- [18] Kennedy J, Eberhart R (1995) Particle swarm optimization. IEEE Inter. Conf. on Neural Networks: 1942–1948.
- [19] Li C, Yang S (2009) An adaptive learning particle swarm optimizer for function optimization. IEEE Cong. On Evolutionary Computation, CEC '09.

[۲۰] سید علی سلیمانی ایوری، سید هادی قادری و احسان حاجی اسماعیلی (۱۳۹۰) طراحی و ساخت دستگاه سنجش حجم با استفاده از امواج صوتی و مقابله با تغییرات دما در اندازه‌گیری حجم، اولین کنفرانس بین‌المللی آکوستیک و ارتعاشات (ISAV2011)، ۳۰ آذر و ۱ دی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.



شکل ۱۰- جبران سازی نسبت فشار با تغییرات دما

دما جبران سازی شود. جهت جبران سازی از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات کمک گرفته شد. در فاز آموزش تابعی غیرخطی استخراج شد و در فاز آزمایش این تابع مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است، روش ارائه شده به خوبی جوابگو بوده و می‌توان دقت حجم سنجی را با وجود تغییرات دما بهبود داد.

### قدردانی

نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شاهرود به جهت حمایت مالی این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### مراجع

- [1] Hardway AV, Etal JR (1963) Method for precise volume determination. US Patent No. 3,113,448.
- [2] Turner PL (1978) Method and apparatus for determining the volume of a condensed material sample, US Patent No. 4,112,738.
- [3] Parker NW (1984) Sonic pressure volume measuring device. US Patent No. 4,474,061
- [4] Pond JB (1985) Volume measurement system. US Patent No. 4,561,298.
- [5] Hwai-Ping S, Cutberto G, Dean CW, William GD (1987) Method and apparatus for acoustically measuring the volume of an object. US Patent No. 4,640,130.
- [6] Ishii Y (1998) Acoustic device for measuring volume difference. U.S. Patent No. 5,824,892.
- [7] Kobata T, Ueki M, Ooiwa A, Ishii Y (2004) Measurement of the volume of weights using an acoustic volumeter and the reliability of such measurement. Metrologia 41: S75–83.
- [8] Ishii Y, Ishii J (2005) Measuring device for volume of engine combustion chamber. Patent Application No. US 2005/0178191 A1.