مطالعه‌ای بر تاثیر هندسه و جنس گلویی بر بسامد رزونانس رزوناتور هلمهولتز

فروزان شفیعی[۱]، علی ملکی[۲]، محمد مرادی[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد؛ foroozan_73@yahoo.com
[۲] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم ، دانشگاه شهرکرد؛ ali.maleki2002@gmail.com
[۳]استادیار گروه فیزیک، دانشگاه شهرکرد؛moradi@sci.sku.ac.ir

چکیده

رزوناتور هلمهولتز جزء آکوستیکی موثری در بسامدهای پایین است اما در بسامدهای دور از بسامد رزونانس عملکرد آن به سرعت کاهش می‌یابد. بسامد رزونانس هلمهولتز ناشی از ترکیب محفظه و گلویی و جهت‌گیری مرتبط با آن‌هاست. با افزایش طول محفظه و نهایتا افزایش حجم آن، ظرفیت جذب صوت در رزوناتور افزایش می‌یابد اما محدودیت افزایش حجم نیز وجود دارد. مساحت سطح مقطع عبوری، هندسه، جهت‌گیری و سایز گلویی نیز بر بسامد رزونانس هلمهولتز تاثیرگذار است. امتداد گلویی و پر کردن مواد فیبردار داخل محفظه و گلویی رزوناتور بدون تغییر ابعاد محفظه، بسامد رزونانس و افت انتقال را کاهش می دهد. استفاده از گلویی مارپیچ باعث بیشترین افزایش طول در کمترین فضا ممکن می‌شود و با اضافه کردن دور پیچش، فرکانس رزونانس کاهش بیشتری خواهد داشت. تاثیر گلویی امتداد یافته در داخل رزوناتور و گلویی مارپیچ یکسان است با این تفاوت که در گلویی مارپیچ محدودیتی در افزایش طول وجود ندارد. استفاده از گلویی مخروطی ۵۰٪ ضریب جذب صدا را افزایش می‌دهد.

کلمات کلیدی: آکوستیک، بسامد، رزوناتور هلمهولتز، گلویی.

Study on the Effect of Neck Geometry & Material on Helmholtz Resonator Resonance Frequency

Foroozan Shafiei[1], Ali Maleki[2], Mohammad Moradi[3]

1. MSc Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University
2. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Shahrekord University
3. Assistant Professor, Department of Physics, Shahrekord University

ABSTRACT

The Helmholtz resonator is an effective acoustic component at low frequencies, but far from the resonance frequency, its performance decreases rapidly. The Helmholtz resonance frequency is due to composition of chamber, neck and their related orientation. By increasing length of the chamber and eventually increasing its volume, absorption capacity of the resonator increases. There is also a limitation of increasing volume. Cross-sectional area, geometry, position and size of neck also affect the resonance frequency of Helmholtz resonator. Extending neck and filling absorbing materials inside cavity reduces the resonance frequency and transmission loss without changing the volume of cavity. The use of a spiral throat makes the longest possible length in the smallest space, and by adding a twist, more resonance frequency will be reduced. Effect of extending neck inside the resonator and spiral neck is the same, with the exception that there is no limitation in length in spiral neck. The use of tapered neck increases absorption coefficient by 50%.

Keywords: Acoustic, Frequency, Helmholtz resonator, Neck.

۱- فروزان شفیعی. دانشگاه شهرکرد-دانشکده کشاورزی- گروه مکانیک بیوسیستم. تلفن: ۰۳۸-۳۲۳۲۴۴۰۱ نمابر: ۰۳۸-۳۲۳۲۴۴۲۸

۱- مقدمه

توسعه‌ی آزمون‌های آکوستیک در صنعت کشاورزی آنقدر فراگیر شده که به تمامی شاخه‌های کشاورزی به نوعی وارد شده است. مطالعه‌های تئوری و تجربی زیادی در باب ارتقا عملکرد آکوستیکی رزوناتور هلمهولتز انجام شده است (Bi et al., 2012). رزوناتورها از جمله قطعات آکوستیک پرکاربردی هستند که در قرن ۱۹ توسط فیزیکدان آلمانی هرمان فن هلمهولتز اختراع شد و امروزه به عنوان رزوناتورهای ساده هلمهولتز و یکی از مهم‌ترین دستگاه‌های آکوستیکی شناخته می‌شود (Nishizu et al., 2001). یک رزوناتور هلمهولتز متداول از یک محفظه‌ی (پایه‌ی) متصل به گلویی با طول و سطح مقطع بسیار کوچکتر از ابعاد محفظه تشکیل شده است (Tang., 2005). بطری‌ها و ابزارهای رشته‌ای آشناترین نمونه‌های رزوناتور هلمهولتز هستند (Webster & Davis., 2010).

دمیدن یا ضربه زدن به دهانه گلویی باعث تولید یک صوت خواهد شد که بسامد تشدید محفظه را نیز در خود نهان دارد؛ این بسامد تشدید به بسامد تشدید هلمهولتز معروف است (Eyvani & Minaei., 2007). رزوناتورها امواج صوتی با بسامدهای پایین و باند باریک را جذب می‌کنند و همانند دیگر جاذب‌های آکوستیکی دارای یک بسامد حد یا رزونانس هستند که در آن بیشترین ضریب جذب را دارند و معمولا برای کار در همین بسامد خاص طراحی می شوند. رزوناتور هلمهولتز جزء آکوستیکی موثری در بسامدهای پایین است اما در بسامدهای دور از بسامد رزونانس عملکرد آن به سرعت کاهش می‌یابد (Bi et al., 2012). بسامد رزونانس وابسته به ابعاد فیزیکی رزوناتور است. افزایش طول محفظه و نهایتا افزایش حجم باعث افزایش ظرفیت جذب صدا در رزوناتور می‌شود (Tang., 2005). برای دستیابی به فرکانس‌های پایین، رزوناتور باید خیلی بزرگ باشد که چندان مطلوب نیست (Shi & Mak,. 2015). از رزوناتور هلمهولتز برای کاهش نویز بسامد پایین با باند باریک در زمینه‌های صنعتی زیادی استفاده می شود (Bi et al,. 2012). رزوناتور هلمهولتز به عنوان ساکت کننده صدا (سایلنسر) در سیستم های محفظه ای و کانال ها بطور گسترده استفاده می شود. در چندین دهه‌ی گذشته تلاش‌های زیادی برای پیش‌بینی و ارتقا افت انتقال ناشی از رزوناتورها انجام شده است (Tang., 2005). جنس رزوناتورها با توجه به نوع کاربردشان از فلز یا چوب و امروزه بیشتر از مواد پلاستیکی ساخته می‌شوند.

معادله‌ی اساسی فرکانس رزونانس رزوناتور هلمهولتز (معادله‌ی ۱) همانند سیستم جرم و فنر کلاسیک است.

$$\mathcal{F}c = \frac{C}{2\pi}\sqrt{\frac{An}{Leff.V}} \qquad (۱)$$

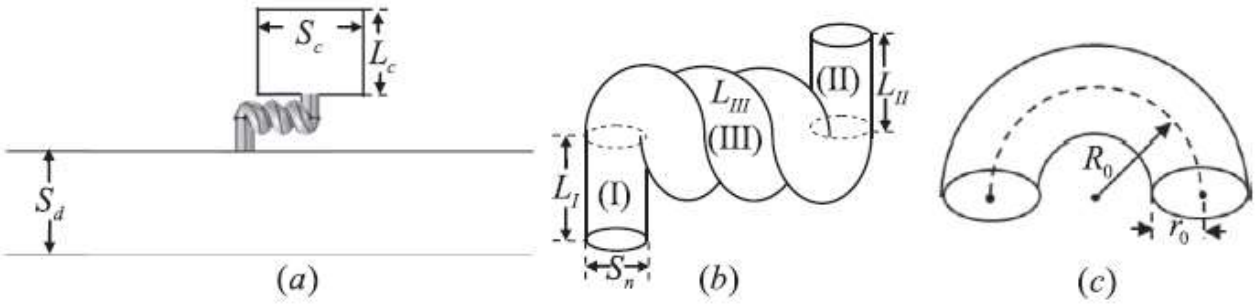
بسامد رزونانس هلمهولتز ناشی از ترکیب محفظه و گلویی و جهت‌گیری مرتبط با آن‌هاست. مساحت سطح مقطع عبوری، هندسه، جهت‌گیری و سایز گلویی بر بسامد رزونانس هلمهولتز تاثیرگذار است. در رزوناتورهای بدون گلویی و فقط دارای رزونه نشان داده شده که موقعیت روزنه، بسامد رزونانس را تغییر می‌دهد درحالیکه شکل روزنه چندان موثر نیست. هم‌چنین نرخ طول به قطر و حجم محفظه روی بسامد رزونانس و مشخصه‌های افت انتقال تاثیرگذار است. افت انتقال رزوناتور هلمهولتز در فرکانس‌های پایین افزایش می‌یابد (Bi et al,. 2012). بیشترین جذب یا افت انتقال صدا در نزدیکی فرکانس رزونانس اتفاق می‌افتد و گستره‌ی اثر آن به مقاومت امپدانس آکوستیکی بستگی دارد (Tang,. 2005). به دلیل محدودیت در فضا، گلویی رزوناتور معمولا کوتاه است و این باعث محدود شدن مقدار بسامد رزونانس می‌شود (Shi & Mak,. 2015).

امتداد گلویی و پر کردن مواد فیبردار داخل محفظه‌ی رزوناتور، بدون تغییر ابعاد محفظه ، بسامد رزونانس و افت انتقال را کاهش می دهد (Selamat & Lee., 2003). اگرچه رزوناتور هلمهولتز به عنوان صدا خفه کن شناخته شده است اما در بسامدهای پایین عملکرد آن به وسیله ی فضا محدود شده است. به این ترتیب با استفاده از گلویی مارپیچ بیشترین افزایش طول در کمترین فضا و نهایتا بیشترین کاهش بسامد اتفاق می افتد (Cai et al., 2017). استفاده از گلویی مارپیچ، فرکانس رزونانس هلمهولتز را به طور موثری کاهش می‌دهد و هم‌چنین پتانسیلی کاربردی در کنترل نویز در فضای محدود دارد (Shi & Mak,. 2015). رزوناتور ساده ی معادل با رزوناتور با گلویی مارپیچ را می توان از طریق طول و سطح مقطع عبوری معادل به دست آورد. یک گلویی پیچشی را می توان به سه طول تقسیم کرد. طول های ۱ و ۲ در شکل مشخص شده اند و قسمت ۳ که همان مارپیچ است از حاصل ضرب محیط دایره ی پیچش در تعداد دور (N) بدست می آید. با افزایش تعداد دور پیچش بسامد رزونانس کاهش بیشتری خواهد داشت (Cai et al., 2017).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

$$L\,eff = L1 + L2 + L3 \quad (۲)$$

$$L3 = 2\pi * R * N \quad (۳)$$



شکل ۱. رزوناتور هلمهولتز با گلویی مارپیچ (چپ)، گلویی مارپیچ با ۳ روز پیچش (وسط) و برش لوله‌ی منحنی (راست).

Figure 1. A Helmholtz resonator with a spiral neck (left), The spiral neck with three turns (center) and a section of the curved tube (right).

- **بررسی منابع**

Ingard (1953) اثر هندسه گلویی، مانند شکل سطح مقطع عبوری، محل و اندازه را روی بسامد رزونانس یک رزوناتور هلمهولتز بررسی کرد. Dickey & Selamet (1996) رزوناتورهایی با نسبت طول به قطر پایه‌ی کم را مورد بررسی قرار دادند و شاهد کاهش در بسامد رزونانس اولیه در مقادیر کم این نسبت بودند. Selamet & Lee (2003) با مطالعه‌ی رزوناتور هلمهولتز با گلویی امتداد یافته به داخل دریافتند که بدون افزایش حجم و تنها با افزایش طول گلویی بسامد قابل کاهش است. با تغییر طول، شکل و یا اضافه کردن صفحات سوراخ دار به گلویی می‌توان بسامد رزونانس رزوناتور و افت انتقال را تغییر داد. Tang (2005) رزوناتورهای هلمهولتز با گلویی مخروطی را بررسی کرد. نتایج نشان داد با استفاده از گلویی مخروطی کاهش امپدانس آکوستیکی و افزایش حداکثر ضریب جذب صوت به دست می‌آید.

Yang et al (2014) برای بررسی ضریب جذب آکوستیک سرامیک‌هایی سوراخدار با قطرهای مختلف بر روی یک گلویی رزوناتور هلمهولتز نصب کردند. نتایج نشان داد که اثرات غیر خطی در نزدیکی بسامد تشدید بر امپدانس دهانه گلویی رزوناتور تاثیر می‌گذارد و عملکرد جذب صدا را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. Shi & Mak (2015) با تکیه بر این یافته که با افزایش طول گلویی بسامد رزونانس کاهش می‌یابد؛ از گلویی‌های مارپیچ به صورت تئوری و عددی برای حداکثر افزایش طول گلویی در کمترین فضای ممکن استفاده کردند و شاهد بیشترین کاهش بسامد رزونانس در باند باریک شدند. Li et al (2017) اثر پارامترهای ساختاری و شرایط مرزی رزوناتور هلمهولتز روی بسامد رزونانس را بررسی کردند. Cai et al (2017) عملکرد آکوستیکی رزوناتور هلمهولتز با گلویی مستقیم و مارپیچ را به‌صورت تئوری و عددی بررسی کرد. نتایج نشان داد با افزایش طول گلویی بسامد رزونانس کاهش می‌یابد. به این ترتیب رزوناتور هلمهولتز دارای پتانسیل کاربردی در کنترل نویز در بسامدهای پایین و فضای محدود است. هدف از تحقیق پیش رو مطالعه‌ی ساختار گلویی و تاثیر آن بر پارامترهای آکوستیکی در رزوناتور هلمهولتز است.

۲- نتایج و بحث

با توجه به تاثیر زیاد هندسه و جنس گلویی بر بسامد رزونانس و سایر مشخصه‌های آکوستیکی رزوناتور هلمهولتز، تاثیر هریک از این متغیرها بررسی می‌شود.

- **طول و هندسه‌ی گلویی**

رزوناتور ها با تغییر هندسه و جنس گلویی عملکرد متفاوتی از خود نشان می‌دهند. افزایش طول گلویی به صورت مستقیم باعث تغییر در فرکانس رزوناتور هلمهولتز می شود. به لحاظ تئوری و تجربی اثبات شد که با افزایش طول گلویی، بسامد و افت انتقال در رزوناتور کاهش می‌یابد. امتداد گلویی داخل محفظه بدون تغییر حجم رزوناتور سبب افزایش طول گلویی می‌شود. مارپیچ و یا حلزونی ساختن گلویی بدون داشتن هیچ گونه محدودیت فضایی سبب افزایش طول دلخواه می شود. تاثیر گلویی امتداد یافته درون رزوناتور همانند گلویی پیچشی است با این تفاوت که در نوع امتداد یافته به واسطه‌ی طول محفظه‌ی رزوناتور محدودیت وجود دارد اما در مدل پیچشی می توان به دلخواه دور پیچش را اضافه کرد. نهایتا با افزایش طول گلویی –

بصـورت امتداد داخلی یا پیچش- بسـامد رزونانس در یک باند جذبی باریک کاهش می یابد (Bi et al., 2012 ; Shi & Mak., 2015; Cai et al., 2017).

سـوراخ کردن و دیگر تغییرات در بافت گلویی هم باعث تغییر بسـامد می‌شـود. با حرکت از گلویی به سـمت محفظه مقاومت جریان کاهش می‌یابد بنابراین با اسـتفاده از گلویی مخروطی بدون تغییر بارز در هندسـه می‌توان عملکرد رزوناتور را ارتقا داد. با اسـتفاده از گلویی مخروطی کاهش امپدانس آکوستیکی و به‌همین ترتیب افزایش حداکثر ضریب جذب صدا در رزوناتور هلمهولتز اتفاق می‌افتد. گلویی مخروطی ۵۰٪ ضریب جذب صدا را افزایش می‌دهد (Tang,. 2005).

- **پر کردن گلویی با مواد جاذب**

پر کردن مواد جاذب درون گلویی ، جنس و نوع اتصال بر افت انتقال و بسامد تشدید رزوناتور هلمهولز تاثیر مستقیم می‌گذارد. رزوناتورهای هلمهولتز با گلویی‌های پر شده با مواد جاذب باعث ارتقا ظرفیت جذب صدا می‌شوند. برای ارتقا و تنظیم امپدانس آکوستیکی و ضریب جذب بهتر و باند وسیع تر از سرامیک‌های سوراخ دار با قطرهای سوراخ متفاوت بصورت موازی در گلویی استفاده می‌شود. با انتخاب قطر سوراخ مناسب می‌توان باند جذبی دلخواه را بدون کاهش ضـریب جذب صدا به‌دسـت آورد (Yang et al,. 2014). هرچه ضـخامت مواد جاذب کم شـود، رزوناتور هلمهولتز در فرکانس رزونانس عملکرد آکوستیکی بهتری از خود نشان می دهد اگرچه باند جذبی باریک‌تر شده و فرکانس رزونانس افزایش می‌یابد (Bi et al,. 2012).

۳- نتیجه‌گیری

بسامد رزونانس هلمهولتز ناشی از ترکیب محفظه و گلویی و جهت‌گیری مرتبط با آن‌هاست.

-با افزایش طول محفظه و نهایتا افزایش حجم، ظرفیت جذب صدا در رزوناتور افزایش می‌یابد اما در تغییر حجم محفظه محدودیت فضا وجود دارد.

- مساحت سطح مقطع عبوری، هندسه، جهت‌گیری و سایر گلویی نیز بر بسامد رزونانس هلمهولتز تاثیرگذار است.

- افزایش طول گلویی باعث کاهش بسامد و افت انتقال در رزوناتور می‌شود.

- امتداد گلویی داخل محفظه‌ی رزوناتور، بدون تغییر حجم محفظه‌ی رزوناتور باعث طولانی شدن گلویی می‌شود.

-مارپیچ ساختن گلویی بدون ایجاد محدودیت امکان افزایش طول دلخواه در فضای محدود را دارد.

-پر کردن مواد جاذب درون گلویی ، جنس و نوع اتصال بر افت انتقال و بسامد تشدید رزوناتور هلمهولز تاثیر مستقیم می‌گذارد.

-هرچه ضخامت مواد جاذب کم شود، رزوناتور هلمهولتز در فرکانس رزونانس عملکرد آکوستیکی بهتری از خود نشان می دهد..

-استفاده از گلویی مخروطی سبب افزایش ۵۰٪ ضریب جذب صدا در رزوناتور هلمهولتز می‌شود.

۴-منابع

Bi, R., Liu, Z. S., Li, K. M., Chen, J., & Wang, Y. (2012). Helmholtz resonator with extended neck and absorbing material. In Applied Mechanics and Materials (Vol. 141, pp. 308-312). Trans Tech Publications.

Cai, C., Mak, C. M., & Shi, X. (2017). An extended neck versus a spiral neck of the Helmholtz resonator. Applied Acoustics, 115, 74-80.

Dickey, N. S., & Selamet, A. (1996). Helmholtz resonators: one-dimensional limit for small cavity length-to-diameter ratios.

Eyvani, A., & Minaie, S. (2007). Acoustical measurement of walnut volume through standing waves of a Helmholtz resonator.

Ingard, U. (1953). On the theory and design of acoustic resonators. The Journal of the acoustical society of America, 25(6), 1037-1061.

Li, L., Liu, Y., Zhang, F., & Sun, Z. (2017). Several explanations on the theoretical formula of Helmholtz resonator. Advances in Engineering Software, 114, 361-371.

Nishizu, T., Ikeda, Y., Manmoto, S., Umehara, T., & Mizukami, T. (2001). Automatic, continuous food volume measurement with a Helmholtz resonator. Agricultural Engineering International: CIGR Journal.

Selamet, A., & Lee, I. (2003). Helmholtz resonator with extended neck. The Journal of the Acoustical Society of America, 113(4), 1975-1985.

Shi, X., & Mak, C. M. (2015). Helmholtz resonator with a spiral neck. Applied Acoustics, 99, 68-71.

Tang, S. K. (2005). On Helmholtz resonators with tapered necks. Journal of Sound and Vibration, 279(3-5), 1085-1096.

Webster, E. S., & Davies, C. E. (2010). The use of Helmholtz resonance for measuring the volume of liquids and solids. Sensors, 10(12), 10663-10672.

Yang, D., Wang, X., & Zhu, M. (2014). The impact of the neck material on the sound absorption performance of Helmholtz resonators. Journal of sound and Vibration, 333(25), 6843-6857.