



تحلیل صوت و شبیه سازی جریان در شیر زاویه‌ای توسط قفسه‌های متفاوت

سیدعلی خادم^۱، علی جلالی^{۲*} و مطهره نجف پور^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه پیام نور مشهد

^۲ دکتری تخصصی مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، استادیار دانشگاه پیام نور مشهد

^۳ کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه پیام نور مشهد

مقاله مستقل، تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۸

چکیده

هدف اصلی این مقاله مطالعه مشخصه جریان نویز در یک شیر زاویه‌ای فشار بالا و یافتن راه حل‌هایی برای کنترل نویز، مبتنی بر تحلیل های دینامیک سیالاتی است. مدل سازی‌های عددی می‌توانند روشی موثر و کارگشا در زمینه محاسبات جریان سیال قرار گیرند. از آن جمله مدل ویلیامز و هاوکنگز، روش مناسبی برای به دست آوردن سیگنال‌های صوتی، کاربردی است. تجزیه و تحلیل‌ها درباره نویز نشان می‌دهد که قفسه سوراخ‌دار می‌تواند به طور موثری به کاهش نویز کمک کند؛ همچنین مشخص است که فشار ورودی سیال تاثیر بسیاری بر سطح فشار صوت دارد. فشار ورودی بالاتر، باعث افزایش سطح فشار صوت در فرکانس بالا خواهد شد. وقتی حداکثر ماخ به ۱ نزدیک باشد، سطح فشار صوت در فرکانس پایین بسیار بالا می‌رود؛ لذا بدین ترتیب با استفاده از شبیه سازی عددی جریان توسط نرم افزار آنسیس فلونت، تغییرات شدت آشفستگی جریان و تغییرات فرکانس در نویزهای مختلف بررسی شده است. برای این شبیه سازی از مدل سازی یک شیر زاویه‌ای ۲ اینچی با سیال بخار آب استفاده شده که در دو قفسه ساده و سوراخ دار، مورد تحلیل قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: شیرهای زاویه‌ای؛ شبیه سازی؛ تحلیل صوت.

Noise Analysis & Flow Simulation in Angle Valve with Different Cages

S. A. Khadem¹, A. Jalali^{2,*}, M. NajafPoor³

¹ MSc., Mech. Eng., Payame Noor University of Mashhad., Mashhad, Iran.

² Assistant. Prof, Mech. Eng, Payame Noor University of Mashhad., Mashhad, Iran.

³ MSc., Mech. Eng., Payame Noor University of Mashhad., Mashhad, Iran.

Abstract

The main objective of this paper is to study the characteristics of flow-induced noise in high pressure reducing valve (HPRV) and to provide some guidance for noise control. Based on computational fluid dynamics (CFD), numerical method was used to compute flow field. Ffowcs Williams and Hawkings Model was applied to obtain acoustic signals. The unsteady flow field shows that noise sources are located at the bottom of plug for valve without perforated plate, and noise sources are behind the plate for valve with perforated plate. Inlet pressure has great effects on sound pressure level (SPL). The higher inlet pressure will lead to larger SPL at high frequency. When the maximum Mach is close to 1, SPL at low frequency becomes very high. Therefore the advantage Ansys Fluent on Numerical Simulation Method have been used and variations in the intensity of current turbulency and frequency variations in different noise have been studied. For this simulation via an angle globe valve with two inch size has been used with a water vapor that is analyzed in two cage in simple & perforated Cage.

Keywords: Angle Valve; CFD Simulation; Noise Analysis.

۱- مقدمه و تاریخچه

منابع مختلفی می‌تواند منبع ایجاد نویز در کنترل ولوها باشد. نویز مکانیکی می‌تواند به دلیل ناپایداری پلاگ و پایپینگ ایجاد شود. متداول‌ترین نویز، نویز آئرودینامیکی است که در اثر آزادسازی انرژی ناشی از افت فشار سیال، توربولانسی جریان، انسداد و ایجاد مانع در مسیر جریان، انبساط یا کاهش سرعت سریع جریان و یا تغییر جهت رخ می‌دهد.

برای مقابله مؤثر با نویز آئرودینامیکی، بسیار مهم است که دو منبع اصلی نویز را درک کنیم. اول نویز ایجاد شده به دلیل آزادسازی انرژی توربولانسی هنگامی که فشار سیال در ناحیه تریم افت می‌کند. این نویز را می‌توان با استفاده از یک تریم کاهنده کاهش داد. این تریم، با مرحله‌ای کردن فشار، تغییر فرکانس و جلوگیری از فعل و انفعال جت با شکل گیری نویز مقابله می‌نماید. منبع دوم نویز آئرودینامیکی در ناحیه انبساط بعد از تریم اتفاق می‌افتد و وقتی ایجاد می‌شود که خروجی ولو کوچکتر از قطر لوله پایین دست باشد. در این منطقه، توربولانسی مربوط به سرعت تولید شده در خروجی ولو به عنوان یک منبع نویز مستقل عمل می‌کند که می‌تواند از تریم تجاوز نماید.

آزمایشات امرسون نشان می‌دهد که نویز انبساطی قابل توجهی در سرعت‌های بالاتر از ۰.۳ ماخ اتفاق می‌افتد. در پیش بینی نویز مؤثر مساحت انبساط ولو باید لحاظ گردد. این فاکتور در استاندارد نویز و تمامی روش‌های پیش بینی نویز فیشر وارد شده است. در موارد بحرانی نویز انبساطی می‌تواند منجر به شکست ولو، لوله و اجزاء دیگر گردد. برای ولوهایی که سرعت تجربی سیال کمتر از ۰.۳ ماخ است، هیچ نویز انبساطی انتظار نمی‌رود، لذا استفاده از فنون پیش بینی نویز تریم کافی خواهد بود. سایزینگ مناسب ولو، به‌عنوان وسیله‌ای برای مقابله با نویز انبساطی حائز اهمیت است. وقتی نویز از سطح مجاز مشتری تجاوز نماید، استفاده از ولوهایی با مساحت انبساط بزرگتر ممکن است لازم شود. استفاده از دیفیوزر یا (پخش کننده) در پایین دست ولو برای افزایش فشار معکوس، روش جایگزینی است که به طور مؤثری مساحت خروجی مورد نیاز را کاهش داده، سرعت سیال را به کمتر از ۰.۳ ماخ می‌رساند.

شیرهای فشار بالای کاهنده جریان در بسیاری موارد صنعتی کاربرد دارد. با تنظیم فشار بخار شیر فشار بالا به

اطمینان از عملکرد عادی سیستم بخار کمک می‌کند. با توجه به سرعت بالای بخار سوپرهدیت و هندسه پیچیده جریان، نویز و ارتعاشات در این شیر، بیشتر از شیرهای کنترلی دیگر است؛ اما رابطه بین نویز و جریان به طور کامل درک نشده است. از این رو، مشخصه‌های نویز ناشی از جریان در این شیر باید برای کنترل نویز بهتر، مورد بررسی قرار گیرد. در این میان، روش‌های تجربی برای اندازه‌گیری میزان فشار صدا و شدت صدا استفاده می‌شود.

نویز آئرودینامیک یک پیامد طبیعی از جریان هر گازی در کنترل ولو است. با این حال این نویز می‌تواند خیلی کوچک باشد و کمی یا هیچ پیامدی برای برخی ولوها نداشته باشد، از قبیل یک ولو با افت فشار خیلی پایین. اغلب این نویز به اندازه کافی بزرگ است که به شنوایی آسیب برساند و یا حتی سبب آسیب مکانیکی پایپینگ در پایین دست و به مقدار کمتر در خود ولو گردد.

عمده ترین منابع تولید نویز در کنترل ولو، تریم ولو و در خروجی ولو است. فرکانس نویز خروجی ممکن است، به مقدار قابل توجهی با نویز تریم متفاوت باشد. جداره لوله به عنوان یک فیلتر صدا در عبور فرکانس‌های یکسان به آسانی عمل می‌کند؛ بنابراین نویز خروجی ممکن است، آسان‌تر از جداره لوله عبور کند و نسبت به نویز تریم در نویز کلی خروجی به میزان بیشتری شرکت نماید، حتی اگر دامنه نویز خروجی داخل لوله مشابه یا کمتر از نویز تریم باشد. البته بر عکس آن نیز صحیح است، یعنی، شرکت نویز خروجی در نویز خارج شده کل ممکن است، در مقایسه با میزان مشارکت نویز تریم کمتر باشد.

دامنه نویز آئرودینامیک تولید شده داخل ولو و لوله تابع متغیرهای زیادی است که مهمترین آنها عبارتند از: سرعت سیال، سایز مسیر عبور جریان (که بر سایز گردابه اثر دارد)، و مقدار کل جریان سیال.

انتقال نویز از ولو و خروج آن به هوای پیرامون از طریق جداره لوله نیز تابع متغیرهای زیادی از جمله سایز، ضخامت و هندسه لوله است. استاندارد سایزینگ آئرودینامیک این پارامترها را در محاسبه نویز تریم و نویز خروجی و ترکیب این دو برای رسیدن به سطح نویز کلی وارد می‌کند.

ناکانو و همکاران [۱] چهار شیوه معمول جریان را در کاهش فشار شیر ابداع کرد. ایشان نشان دادند که جت

ولو ایمنی به وسیله گردابه‌های ناپایا تولید شده است. بیشتر تحقیقات در مورد نویز، ناشی از جریان تراکم ناپذیر می‌باشند، اما نویز ناشی از سرعت بالای جریان تراکم پذیر در شیر بطور کامل، مورد تحلیل قرار نگرفته است.

در حال حاضر دو روش برای کاهش نویز شیر فشار قوی وجود دارد. یکی از آن عملیات حذف نویز از مبدا و دیگری عملیات حذف نویز در مسیر جریان است [۱۵]. حذف نویز از مبدا توسط قرار دادن صفحه سوراخدار یا المان‌های ویژه دیگری در تریم کنترل ولو محقق می‌شود. اسمیت و لووف [۱۶] پیشنهاد کردند که سر و صدا را می‌توان با استفاده از زاویه پخ سیت تنظیم کرد. یوئن و همکاران [۱۷] نویز در جریان در شکاف را توسط نرم افزار سی اف دی ۲۰۰۰ و روش مشاهده ذرات، مورد مطالعه قرار داد. نتایج تجربی نشان داد که ساختار شعاعی می‌تواند سطح نویز را تا حد ۴۰ دسیبل کاهش دهد. انواع مختلف صفحات سوراخ دار برای کاهش نویز در شیرها استفاده می‌شود که این تحقیقات هنوز کامل نشده است.

در مقاله حاضر، شبیه‌سازی عددی برای بدست آوردن جریان تراکم پذیر بخار با دما و فشار بالا و آنالیز نویز در جریان این شیر کنترلی انجام شده است. اثرات ورق سوراخ شده روی کنترل نویز در این شیر فشار قوی با مقایسه عملکردهای شیر با ورق سوراخ شده و بدون صفحه سوراخدار، مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت، فشار ورودی متفاوت برای بحث در مورد اثرات فشار بر نویز در فرکانس‌های مختلف اعمال شده است.

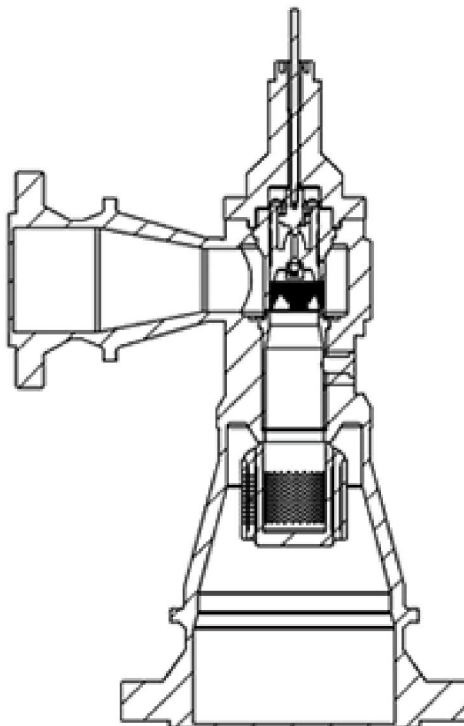
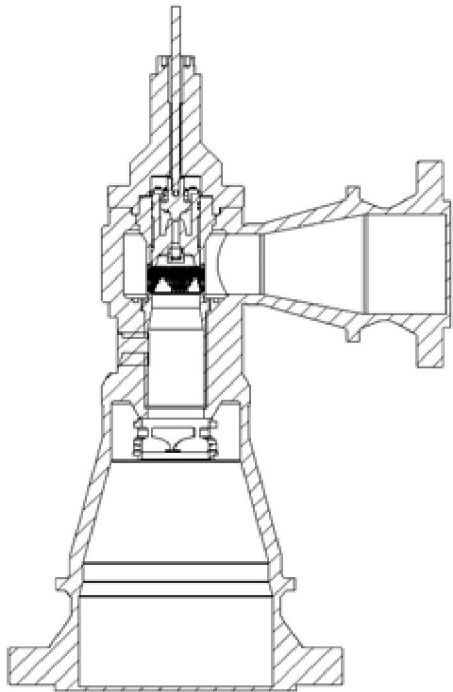
۲- ساختار هندسی و مدل محاسباتی

شیر فشار قوی که در شکل ۱ نشان داده شده است، شامل یک بدنه با مدل زاویه‌ای و جوشکاری قطعات فورج شده است، و از یک پلاگ مخروطی و یک قفسه سوراخدار برای کنترل نویز تشکیل شده است. قفسه سوراخدار، سوراخ‌های متعددی روی بدنه آن ایجاد شده است. با تنظیم جابجایی پلاگ، شیر می‌تواند فشار خروجی را در حدود مقدار مورد نظر نگه دارد. منطقه جریان شامل، سه ناحیه ورودی و خروجی و ناحیه پلاگ است. سیال از طریق مجرای ورودی به ناحیه تریم و از طریق پلاگ شیر کنترلی با زاویه ۹۰ درجه تغییر یافته و از طریق قفسه سوراخدار از حفره خروجی خارج

جریان در کنار پلاگ از دیواره جدا شده است تا جت حلقوی را تشکیل دهد که روی دیواره داخلی قفسه شیر وارد می‌شود و چنین نوسان جریانی، سبب رزونانس حفره قفسه می‌شود. جانزن و همکاران [۲]، صدای تولید شده توسط شیر دروازه‌ای را آزمایش کردند. صدای ایجاد شده ناشی از انفجار گردابی در حفره داخلی شیر است و زاویه پخ در کنار حفره تاثیر زیادی در ارتعاش صوتی دارد. لی و همکاران [۳]، با مبدل‌های پیزوالکتریک نوسانات فرکانس بالا را تحریک کردند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که مایع مغناطیسی می‌تواند برای غلبه بر نوسانات داخلی و نویز استفاده شود.

در شرایط سرویس‌های بحرانی، روش حل تجربی و آزمایشگاهی، دارای سختی زیادی در پیاده‌سازی و هزینه بسیار زیاد اجرا می‌باشند. با توسعه روزافزون رایانه‌ها و سیستم‌های دینامیک سیالات محاسباتی، روش عددی یک روش جایگزین مناسب برای به دست آوردن مشخصه‌های جریان و آکوستیک است. یوئن و همکاران [۴] سر و صدای شیر را بررسی کردند که ناشی از شدت کاویتاسیون در جریان آرام و تراکم ناپذیر بود. لافون و همکاران از هر دو روش اولری و یک روش لایه مرزی برای محاسبه نویز در یک سوراخ کم عمق استفاده کرده است. نتایج روش دوم به نتایج آزمایشگاهی و تجربی نزدیک تر است. ریو و همکاران [۷]، با استفاده از یک مقیاس آکوستیک دامنه فرکانسی برای محاسبه سر و صدای آیرودینامیکی در شیر تنظیم کننده جریان استفاده کردند. در تحقیقات ایشان مشخص شده است که خطوط ضد گردابه پشت شیر در طی رفتار باز شدن سریع شیر شکل می‌گیرند، موجب آشفتگی در مقیاس بزرگ می‌شوند و صدای دو قطبی را تولید می‌کنند. وانگ و همکاران [۸]، یک روش عددی بر مبنای معادلات رینولدز ناویر استوکس و معادله $k-\epsilon$ برای ارزیابی توزیع نویز به علت جریان نشستی درونی در شیر توپی را ارائه نمودند که اثبات شده، جریان متلاطم علت اصلی صدای جت جریان است.

سان و همکاران [۹-۱۳]، علل صداهای تشکیل شده و شکل‌گیری الگوی آنها را در یک مدل کلی، مورد تحقیق قرار دادند. تامورا و همکاران [۱۴]، یک تابع جدید را که شامل تابع توزیع و تابع معادله توزیع برای بهبود کارایی محاسبات با روش تفاضل محدود با استفاده از مدل بولترمن است را پیشنهاد نموده‌اند. ارتعاشات آکوستیکی جریان در لوله‌های



شکل ۱- ساختار شیرها در الف) قفسه معمولی و
ب) قفسه سوراخ‌دار

می‌شود. به منظور مشاهده اثرات قفسه سوراخ شده، مدل با قفسه معمولی ساخته شده است؛ در حالی که دیگر ساختارهای آن همانند شکل ۱ ساخته شده است. شیر با قفسه معمولی و شیر با قفسه سوراخ شده، به ترتیب به عنوان شیر الف و شیر ب برچسب گذاری می‌شوند. قطر ورودی و خروجی به ترتیب ۱۷۵ میلی متر و ۲۷۵ میلی متر است.

۳- روش های عددی (معادلات حاکم بر جریان)

مدل آشفته نقش مهمی در شبیه سازی جریانر گاز و توزیع نويز دارد. پیش‌بینی الگوی جریان درون ستون حباب به روش شبیه سازی جریان‌های بزرگ برای پیش‌بینی جریان گاز و سرعت چرخش جریان از طریق مدل استاندارد $k-\epsilon$ از مدل تنش رینولدز دقیق تر است [۱۸،۱۹]. سلیوا و همکاران [۲۰] اشاره نمودند که مدل آشفتگی $k-\epsilon$ ، نتایج خوبی برای پروفیل سرعت و پارامتر گاز-هدآپ در ناحیه توسعه یافته به دست آورده است؛ در حالی که مدل تنش رینولدز ناحیه جریان خوبی را برای پارامتر گاز-هدآپ عمدتاً در ناحیه توزیع سیال دارد.

نوسانات فشار صدا بسیار شبیه به فشار سیال در شبیه سازی نويز است. با این حال مدل شبیه سازی گردابی بزرگ قادر به تحلیل میدانی نويز در شبیه سازی جریان است. معادلات حرکت شبیه سازی گردابی بزرگ، مدل سازی در مقیاس جریان های بزرگ گردابه‌ای با تاثیر مقیاس جریان‌های کوچک حل نشده را نشان می‌دهد و به این ترتیب، مقدار کوانتیزاسیون وابسته به زمان از منبع نويز را فراهم می‌کند [۲۱]. پیشرفت‌های زیادی در پیش‌بینی مشخصه‌های آثر آکوستیکی به روش کوپل مستقیم، شبیه سازی گردابی بزرگ سطوح متصل را با قانون کرشوف یا مدل فاکس ویلیامز و هاوکینگز پیش‌بینی می‌کنند [۲۲].

در این شیر کنترلی تراکم پذیری فشار بخار و دمای بالای آن نمی‌تواند نادیده گرفته شود. روش شبیه سازی گردابی بزرگ برای حل معادلات ناویراستوکس در سیالات تراکم پذیر به کار برده می‌شود که متغیر آن به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\bar{f}(x, t) = \int_{\Omega} f(\dot{x}, t) G(x - \dot{x}) d\dot{x} \quad (1)$$

محاسبات، نیمی از ساختار متقارن استفاده شده است. منطقه محاسباتی به شش قطعه متصل است. چهار بخش آن توسط سلول‌های سه بعدی ۶ وجهی ساختار یافته و دو قسمت دیگر، توسط سلول‌های سه بعدی ۴ وجهی بدون ساختار شبکه بندی شده‌اند که در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

بررسی استقلال از شبکه شیر کنترلی در شکل ۲ نشان داده شده است. این شبکه‌ها با سلول‌های مختلف اندازه گیری شده اند. شکل ۳ تغییرات شار را با تعداد سلول‌ها برای شرایط مختلف فشار ورودی نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که اختلاف شار جرم کمتر از ۰.۴٪ برای سلول‌ها ۳۰۰۰۰۰ است. با توجه به دقت و زمان محاسبات، از شبکه با کیفیت ۵ استفاده شده است که در آن از حدود ۴۳۰۰۰۰ سلول استفاده شده است. مدل شیر در شکل (الف) با تعداد سلول‌های مشابه شیر شکل (ب) مقیاس شده است. فشار ورودی و خروجی برای حل جریان تراکم پذیر و شرایط مرزی دامنه محاسباتی از قرار ذیل اعمال شده است.

- ۱- شرط مرزی ورودی: فشار ثابت ورودی ۱۰۷ پاسکال و دمای ۸۱۳ کلوین
- ۲- شرط مرزی خروجی: فشار ثابت در خروجی ۱۰۶ پاسکال و دمای ثابت ۸۱۳ کلوین
- ۳- شرط مرزی تقارن: صفحه با مشخصات $X=0$ به عنوان شرط تقارن
- ۴- شرط مرزی دیواره: کلیه صفحات دیگر، شرط مرزی دیواره ثابت است.

جدول ۱- تعداد سلول‌ها در شبکه های مختلف

تعداد سلول ها	سایز سلول (mm)	شبکه ها
۳۰۰۰۰	۱۲	۱
۶۰۰۰۰	۱۰	۲
۱۲۰۰۰۰	۸	۳
۳۰۰۰۰۰	۶	۴
۴۳۰۰۰۰	۴.۵	۵
۸۰۰۰۰۰	۳.۶	۶
۱۱۰۰۰۰۰	۳.۲	۷
۱۳۰۰۰۰۰	۳	۸

هنگامی که $X=(x,y,z)$ مختصات مرکز سلول‌ها باشند و t زمان، O دامنه سیال است و G تابع فیلتری است که مقیاس امتداد حل شده را تعیین می‌کند. در نرم افزار فلونت گسسته سازی حجم محدود به طور ضمنی عمل جداسازی متغیرها را فراهم می‌کند.

$$\bar{f}(x,t) = \frac{1}{V} \int_V f(x,t) dx. \quad x \in V. \quad (2)$$

که در آن V حجم سلول محاسباتی است. تابع G در اینجا به این صورت در نظر گرفته می‌شود:

$$G(x,\hat{x}) = \begin{cases} 1/v & \hat{x} \in V. \\ 0 & \hat{x} \text{ otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

معادله بقاء پیوستگی، ممنتوم و انرژی می‌تواند به شکل رابطه (۴) بیان شوند:

$$\frac{\partial \bar{Q}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}_i^{inv}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{F}_i^{vis}}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

که متغیرهای قانون بقاء به این صورت تعریف می‌شوند: $\bar{Q} = [\bar{\rho} \bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2, \bar{\mu}_3, \bar{E}]^T$ هنگامی که مقدار ρ دانسیته و u سرعت آن باشد. انرژی کل برابر است با $\bar{E} = \bar{\rho} \bar{e} + \bar{\mu}_i \bar{u}_i / 2$ سیال لزج و غیرلزج به ترتیب اخذ می‌شود توسط $\bar{F}_i^{inv} = \bar{u}_i \bar{Q} + [0, \delta_{1i} \bar{P}, \delta_{2i} \bar{P}, \delta_{3i} \bar{P}, \bar{P} \bar{u}_i]^T$ و $\bar{F}_i^{vis} = [0, \bar{\tau}_{1i}, \bar{\tau}_{2i}, \bar{\tau}_{3i}, \bar{\tau}_{ki} \bar{u}_k + \bar{q}_{ii}]^T$ که δ_{ij} دلتای کرانکر باشد و \bar{P} مقدار فشار استاتیکی باشد. تانسور تنش τ_{ij} و \bar{q}_i مقدار شار حرارتی در رابطه زیر باشد:

$$\tau_{ij} = 2(\mu + \mu_T)(\bar{s}_{ij} - 1/3 \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_j} \delta_{ij}). \quad (5)$$

$$\bar{q}_i = -(K + K_T) \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (6)$$

در آن μ و μ_T به ترتیب ویسکوزیته مولکولی و ویسکوزیته جریان متلاطم است؛ \bar{s}_{ij} نسبت تانسور کشش، K و K_T نیز، ضریب پخش حرارتی و ضریب پخش حرارتی جریان متلاطم است.

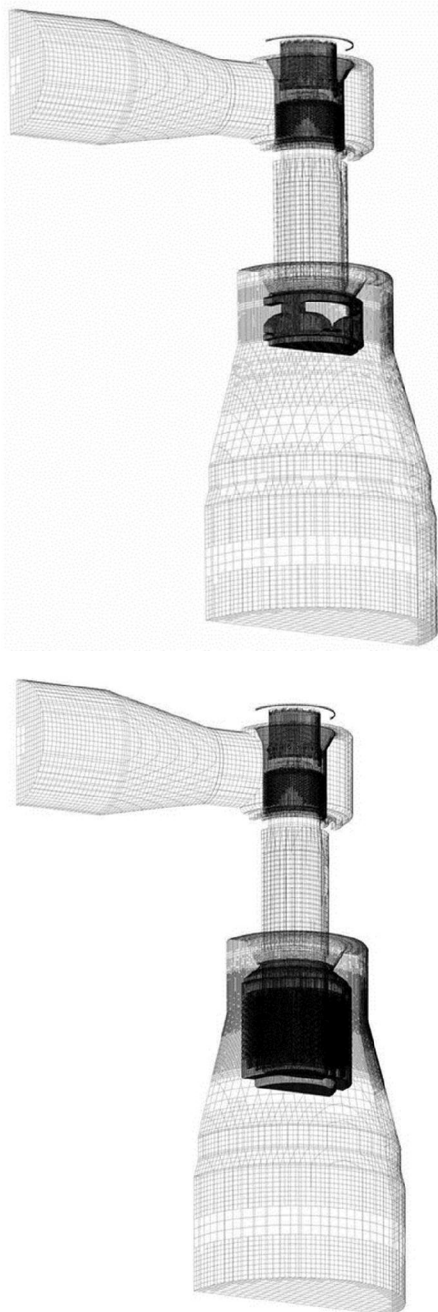
برای گاز ایده آل، رابطه بین فشار، دانسیته و دما توسط معادله (۷) تعریف می‌شود:

$$\bar{P} = \bar{\rho} R \bar{T} \quad (7)$$

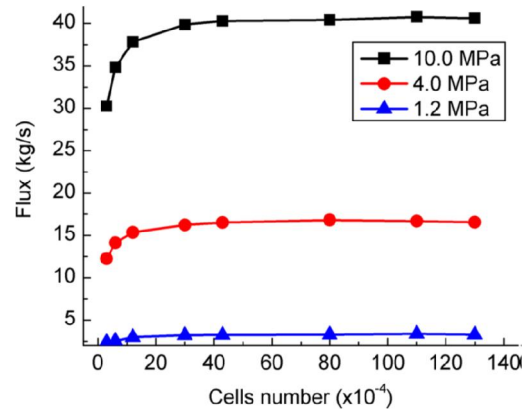
۴- شبکه و شرایط مرزی

مدل سه بعدی برای شیر در حالت ۶۰٪ بازشدگی طراحی شده است. برای بهبود کارایی محاسباتی و کاهش هزینه

داده‌های طیفی برای تحلیل جهت نویز و مشخصه طیفی به دست خواهد آمد.



شکل ۳- شبکه بندی ناحیه جریان در شیر الف) با قفسه معمولی و ب) قفسه سوراخ دار



شکل ۲- بررسی استقلال شبکه برای فشار ورودی مختلف

۵- مدل فاکس ویلیامز و هاوکینگز:

مدل فاکس ویلیامز و هاوکینگز مشابه با اصل تشابه قانون صوت لایتھیل برای محاسبه سیگنال‌های آکوستیک بکار برده می‌شود. معادله فاکس ویلیامز و هاوکینگز، یک معادله غیرهمگن موج است که می‌تواند توسط تغییراتی در معادله پیوستگی و ناویراستوکس گسترش یابد.

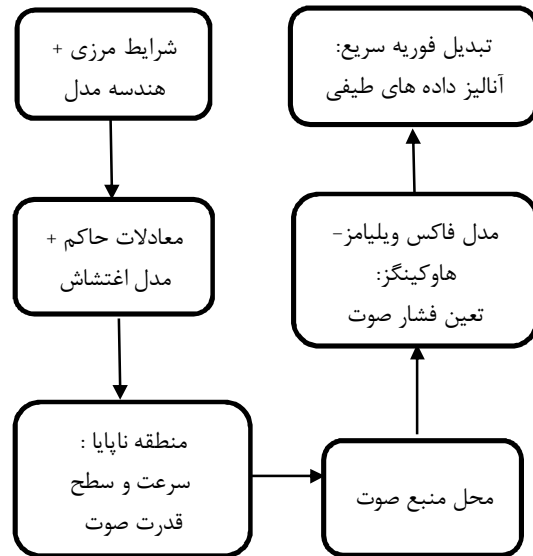
$$\frac{1}{a_0^2} \frac{\partial^2 \dot{P}}{\partial t^2} - \nabla^2 \dot{P} = \frac{\partial^2}{\partial x_i \partial x_j} \{T_{ij} H(f)\} - \frac{\partial}{\partial x_i} [P_{ij} n_j + \rho u_i u_n \delta(f)] + \frac{\partial}{\partial t} [\rho u_n \delta(f)] \quad (8)$$

که در آن u_i سرعت سیال در جهت محوری x_i و u_n سرعت سیال در جهت عمود بر صفحه $f = 0$ و $\delta(f)$ تابع تفاضلی آن؛ $H(f)$ تابع هویساید است، \dot{P} مقدار فشار نویز در فاصله دور دست؛ $\dot{P} = P - P_0$ و سرعت نویز در دور دست با ضریب a_0 مشخص می‌شود. تانسور تنش لایت هیل نیز با T_{ij} مشخص می‌شود و P_{ij} نیز تانسور تنش فشاری است.

نمودار شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی نشان داده شده در شکل ۴ بر اساس معادلات حاکم و شرایط مرزی مربوطه، در ابتدا جریان ناپایدار را بدست می‌آورد. با توجه به توزیع سطح قدرت نویز، منبع نویز می‌تواند قرار داده شود. سپس مدل فاکس ویلیامز و هاوکینگز فعال شده و جریان ناپایدار محاسبه می‌شود. با بررسی سیگنال‌های فشار صوت در گیرنده‌های اطراف منبع نویز و تبدیل سریع فوریه،

شیر (الف) از شیر (ب) بزرگتر است. سرعت در قسمت قطعات پایینی بسیار پایین‌تر است. شکل ۸ تغییرات شدید جریان و آشفتگی را در طول مسیر برای دو مدل نشان می‌دهد.

وقتی که طول خطوط جریان بزرگتر از ۰/۸ متر باشد، شدت آشفتگی جریان سریعاً افزایش می‌یابد. برای طول خطوط جریان بین ۰/۹~۱/۲ متر (از صفحه خروجی سوراخدار) شدت آشفتگی بسیار بیشتر از مناطق دیگر است. که شدت آشفتگی در آن زیر ۱۲۵۰٪ نگه داشته شده است. به این دلیل است که بخار در حفره خروجی گسترش می‌یابد و سبب آشفتگی زیادی می‌شود. اختلاف عدد ماخ بین این دو مدل در شکل ۹ به وضوح قابل رویت است. عدد ماخ در خط جریان به طول ۰/۹~۱/۲ متر بیشتر از ناحیه دیگر است و مقدار ماخ بزرگتر از یک نشان دهنده جریان فراصوت است. عدد ماخ در شیر (ب) ۳۰٪ تا ۶۰٪ کمتر از شیر (الف) است. در این شکل، برای فاصله ۰/۹~۱/۲ متر (از ورق سوراخ دار به سمت خروجی) شدت آشفتگی بسیار بیشتر از ناحیه دیگر است.

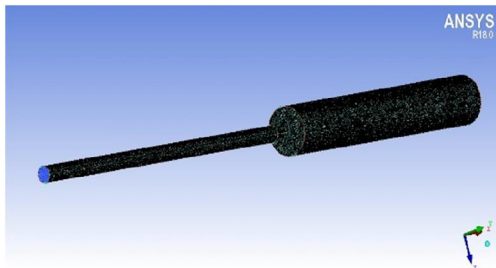


شکل ۴- فلوجارت شبیه سازی [۲۳]

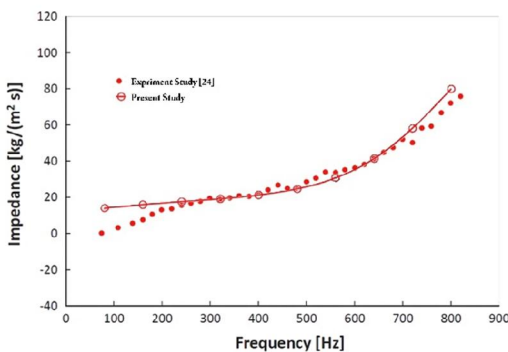
۶- نتایج و بحث

در ابتدا لازم به ذکر است که تحقیق حاضر برگرفته از یک تحقیق و پروژه عملی انجام شده است که شیر زاویه‌ای یک واحد پتروشیمی پس از تحلیل نویز و مدل‌سازی‌های لازم مورد بهینه‌سازی قرار گرفته و پس از حصول نتایج مورد نظر از بهینه‌سازی، ساخته شده و در محل مورد نظر نصب شده است که تاییدات لازم از حصول نتیجه و رفع مشکل نویز شیر صادر گردیده است؛ ولی بنابر رویه رایج نتایج مطالعات عددی، در ابتدا نتایج حاصله با نتایج تحقیق دیگری مورد مقایسه قرار خواهد گرفت که صحت نتایج حاصله مورد تایید قرار گیرند؛ ولی به جهت موجود نبودن مدل و مقاله شیر زاویه‌ای دیگر (که در آن مقاله، هندسه قفسه شیر زاویه‌ای رایج شده باشد) که بتوان با آن صحت سنجی را انجام داد؛ این تحلیل روی یک مدل اریفیس (شکل ۵) با مدل یکسان و شرایط مرزی یکسان انجام شده است که نتایج حاصله به عنوان مقاومت ناشی از نویز در فرکانس‌های مختلف در شکل ۶، نشان داده شده است [۲۴].

همانطور که مشخص است، وضعیت و رژیم جریان تاثیر زیادی در مقدار و قدرت نویزهای تشکیل شده دارد. در شکل ۷ سرعت بالا عمدتاً در اطراف پلاگ شیر و در حفره خروجی رخ می‌دهد. به نظر می‌رسد که منطقه سرعت بالا در



شکل ۵- شبکه بندی مدل صحت سنجی شده

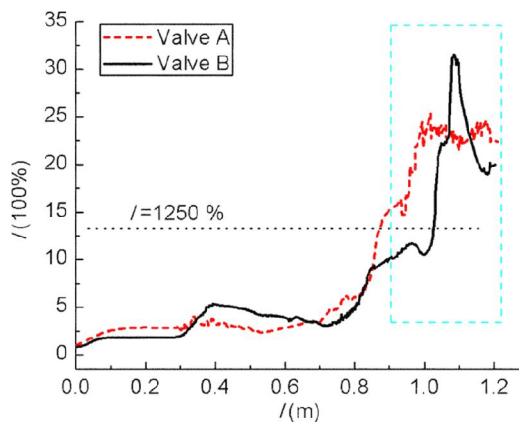


شکل ۶- منحنی تغییرات فرکانس در برابر نیروی مقاومت صوتی

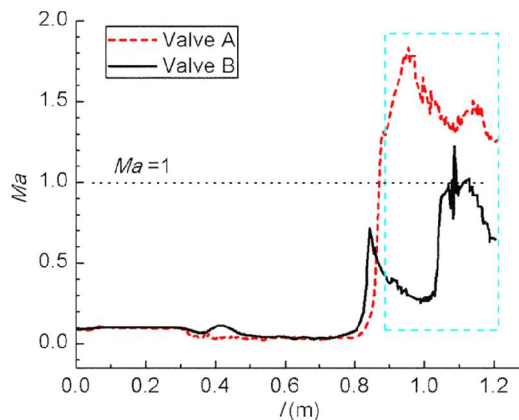
سوراخدار کاهش می یابد؛ بنابراین در پشت صفحه و در نزدیکی جداره بدنه شیر حداکثر قدرت نویز به ۱۸۰/۹ دسیبل کاهش می یابد.

۸- تاثیر فشار

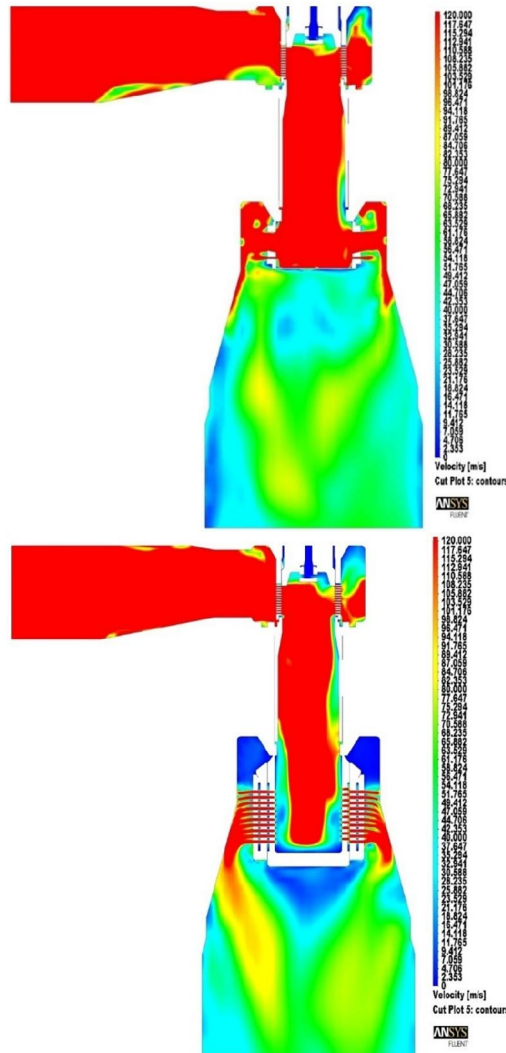
برای شیرهای کنترلی بکار رفته در خط بخار، فشار بخار می تواند کمتر از ۳ مگاپاسکال [۱،۲،۸،۱۱] و عدد ماخ نیز کمتر از ۱ باشد [۵]. با این حال در نیروگاه های مدرن، فشار و دمای ورودی بخار از طریق یک شیر کاملاً باز تا ۵۰۰ درجه سانتی گراد و ۲۰ مگاپاسکال می تواند افزایش یابد [۱۳]. برای بررسی تاثیر فشار برای کاربردهای مختلف، مقادیر فشار ورودی مختلف از ۱.۲ تا ۱۰ مگاپاسکال مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۸- تغییرات شدت آشفته گی در طول خط جریان



شکل ۹- تغییرات عدد ماخ در طول خط جریان

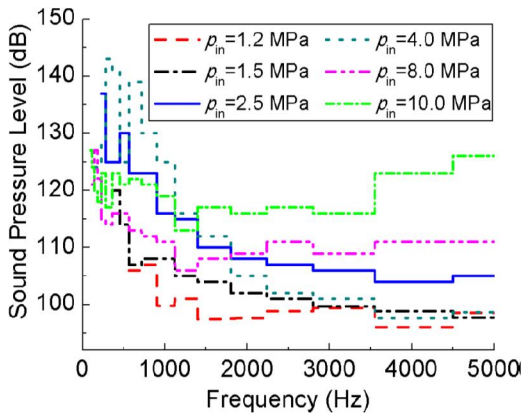


شکل ۷- کانتور تغییرات سرعت در صفحه $X=0$ mm (الف) با قفسه معمولی و (ب) قفسه سوراخدار

۷- محل منبع ایجاد نویز

شکل ۱۰ توزیع سطح قدرت نویز را در صفحه $X=0$ میلی متر، نشان می دهد. همان طور که دیده می شود، سطح قدرت نویز در سوراخ ورودی کمتر از ۵۰ دسیبل است و هنگامی که جریان بخار از کنار پلاگ عبور می کند، نویز به شدت افزایش می یابد. در شیر (الف) میزان سطح قدرت نویز در پایین قسمت پلاگ بسیار بالا است و در حالت حداکثر به مقدار ۱۸۹/۲ دسیبل می رسد. در شیر (ب)، سرعت بخار در ورق

جریان به سمت جریان مافوق صوت خواهد رفت. با استفاده از روش استنتاجی منحنی تغییرات نویز در برابر فرکانس در فشارهای ورودی مختلف که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، روند فرکانس بین ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، فشار ورودی بالاتر سبب افزایش سطح فشار صوت می‌شود. منحنی فشار در ۱/۲ و ۱/۵ و ۲/۵ و ۴ مگاپاسکال با فرکانس به تدریج کاهش می‌یابد و سطح فشار نویز فرکانس‌های پایین بسیار بالا است. این در حالی است که برای دو منحنی دیگر فشار سطح صدا فرکانس بالا به خوبی فرکانس پایین است. به عبارت دیگر، فشار ورودی بالاتر منجر به سطح نویز بزرگتری از فرکانس بالا می‌شود. برای فشار ورودی ۲/۵ و ۴ مگاپاسکال، عدد ماخ به ۱ نزدیک است و نشان می‌دهد که سطح فشار نویز مقدار بالایی در فرکانس‌های پایین دارد

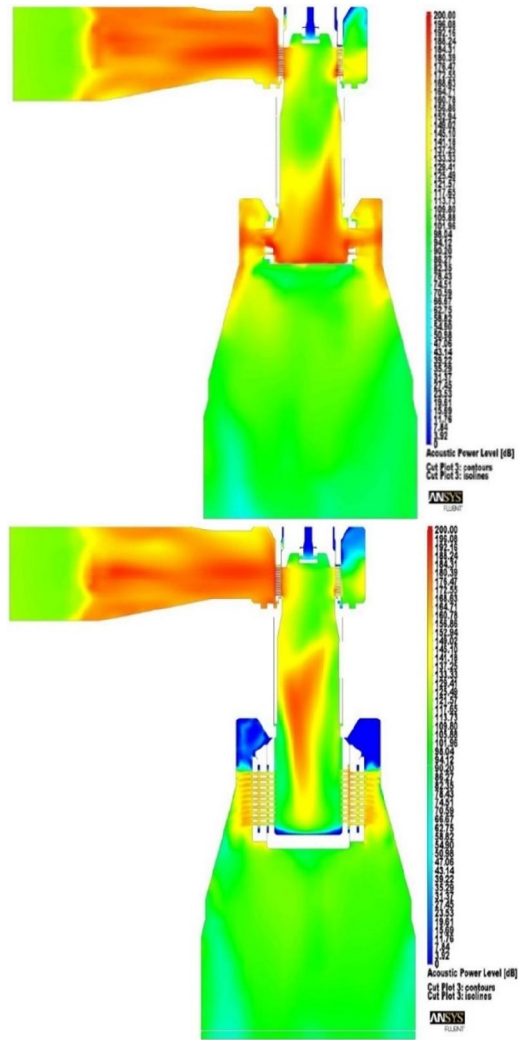


شکل ۱۱- منحنی تغییرات نویز در برابر فرکانس در فشارهای ورودی مختلف

۹- نتیجه گیری

در این تحقیق مقایسه بین نویز و جریان بین دو شیر کنترلی فشار قوی با توجه به تراکم پذیری بخار توسط شبیه‌سازی عددی صورت پذیرفته است. تاثیرات ساختار قفسه و میزان فشار ورودی بر مشخصه نویز، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و محل و منبع نویز نیز مورد مطالعه واقع شده است.

نتایج متغیر نشان می‌دهد که منبع نویز در شیر کنترلی در انتهای پلاگ ولو رخ داده و منبع نویز در شیر (ب) در



شکل ۱۰- کانتور سطح فشار نویز در صفحه $X=0$ mm: الف) شیر بدون صفحه نویزگیر و ب) شیر با صفحه نویزگیر

سرعت بخار نسبت به فشار ورودی دقیق‌تر است که برای فشار ورودی ۲/۵ مگاپاسکال، حداکثر عدد ماخ ۰/۹۲ می‌شود.

شکل ۱۱ منحنی تغییرات نویز در برابر فشار و فرکانس در فشارهای ورودی مختلف را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل به وضوح قابل رویت است، در مقادیر ۱۵۰۰ تا ۵۰۰۰ هرتز، فشار ورودی بالاتر سبب بزرگتر شدن مقدار سطح فشار نویز می‌شود. هنگامی که فشار ورودی بزرگتر یا مساوی از ۴ مگا پاسکال باشد، بیشینه عدد ماخ بزرگتر از ۱ می‌شود و

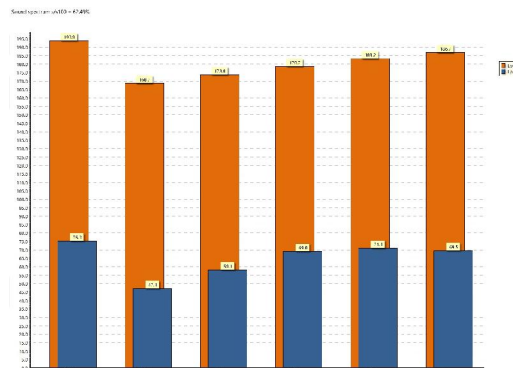
۸- مراجع

- [1] Nakano M, Outa E, Tajima K (1988) Noise and vibration related to the patterns of supersonic annular flow in a pressure reducing gas valve. J Fluid Eng-T ASME 110(1): 55-61.
- [2] Janzen VP, Smith BAW, Luloff BV, Pozsgai J, Dietrich AR, Bouvier JM (2007) Acoustic noise reduction in large-diameter steam-line gate valves. In: Moatamedi M, editor. Joint Conference of the ASME Pressure Vessels and Piping Division/8th International Conference on Creep and Fatigue at Elevated Temperatures; San Antonio, 4: 513-522.
- [3] Li H, Li S, Peng J (2010) Study of self-excited noise and pressure oscillations in a hydraulic jet-pipe servovalve with magnetic fluids. 3rd International Symposium on Systems and Control in Aeronautics and Astronautics 1237-1241.
- [4] Ueno H, Okajima A, Tanaka H, Hasegawa T (1994) Noise measurement and numerical simulation of oil flow in pressure control valves. JSME Int J A-Solid M 37(2): 336-341.
- [5] Lafon P, Lambert C, Devos JP, Caillaud SB (2002) Aeroacoustical coupling and its structural effects on a PWR steam line: Part 1—numerical investigations of flow acoustic coupling in a subsonic flow past a shallow cavity ASME 2002 International Mechanical Engineering Congress and Exposition 837-842.
- [6] Lafon P, Caillaud S, Devos JP, Lambert C (2003) Aeroacoustical coupling in a ducted shallow cavity and fluid/structure effects on a steam line. J Fluid Struct 18(6): 695-713.
- [7] Ryu J, Cheong C, Kim S, Lee S (2005) Computation of internal aerodynamic noise from a quick-opening throttle valve using frequency-domain acoustic analogy. Appl Acoust 66(11): 1278-1308.
- [8] Wang B, Wang Y, Liang W, Sheng S, Guo J, Zhang L (2009) Numerical simulation on the sound field of gas valve due to inner leakage. ASME 2009 Pressure Vessels and Piping Conference 467-471.
- [9] Sun GQ, Jin Z, Li L, Liu QX (2009) The role of noise in a predator-prey model with Allee effect. J Biol Phys 35(2): 185-196.
- [10] Sun GQ, Li L, Jin Z, Li BL (2009) Effect of noise on the pattern formation in an epidemic model. Numer Meth Part D E 26(5): 1168-1179.
- [11] Sun GQ, Jin Z, Liu QX, Li BL (2010) Rich dynamics in a predator-prey model with both noise and periodic force. BioSystems 100(1): 14-22.
- [12] Sun GQ, Jin Z, Song LP, Chakraborty A, Li BL (2011) Phase transition in spatial epidemics using cellular automata with noise. Ecol Res 26(2): 333-340.

پشت صفحه سوراخ دار رخ می دهد. از آنالیز مستقیم و بررسی مشخصه صوت جریان می توان دریافت که نویز در جریان پایین دست در شیر (ب) از شیر (الف) خصوصاً در فواصل طولانی کمتر است. طیف نویز در شیر (ب) از نوع پریودیک^۱ است، چون که نویز بعضی از فرکانسها انعکاس خواهند داشت. پس می توان نتیجه گرفت که صفحه سوراخ دار تا حد زیادی در کاهش نویز می تواند موثر باشد. از آنجا که فشار ورودی به طور دقیق به وضعیت جریان مربوط است، پس تاثیر زیادی بر مقدار سطح نویز دارد. فشار ورودی بالاتر، موجب افزایش بالای سطح فشار نویز می شود و فشار ورودی ۲.۵ و ۴ مگاپاسکال، دارای سطح نویز بزرگتری در فرکانسهای پایین است.

در شکل ۱۲ تحلیل نرم افزار کانول نشان داده شده است که مستقل از هندسه شیر مورد نظر عمل کرده و بر اساس داده های موجود در شرایط سرویس و نوع شیر در این تحقیق انجام شده است.

لازم به ذکر است که اینکه مطالعات ما برای ساختار خاصی از شیرهای فشار بالا قرار بگیرد یک محدودیت است و رابطه بین پارامترهای ساختار شیر و صوت، نیاز به مرور و تحقیق بیشتر دارد. تجزیه و تحلیل بیشتر می تواند برای بررسی مشخصه های جریان و عملکرد کنترل سر و صدا از قفسه سوراخ دار و بهینه سازی ساختار آن انجام پذیرد.



شکل ۱۲- نمودار طیف صوتی تحلیلی در فرکانسهای مختلف که توسط نرم افزار کانول انجام شده است

¹ Periodic

- [19] Pourtousi M, Sahu JN, Ganesan P (2014) Effect of interfacial forces and turbulence models on predicting flow pattern inside the bubble column. *Chem Eng Process* 75: 38-47.
- [20] Silva MK, d'Ávila MA, Mori M (2012) Study of the interfacial forces and turbulence models in a bubble column. *Comput Chem Eng* 44: 34-44.
- [21] Sinha N, Erwin J, Kannepalli C (2011) LES predictions of noise emissions from a low-bypass ratio military gas turbine engine. *J Eng Gas Turbine Power* 133(4): 041202.
- [22] Lyrantzis AS (2003) Surface integral methods in computational aeroacoustics—From the (CFD) near-field to the (Acoustic) far-field. *Int J Aeroacoust* 2(2): 95-128.
- [23] <https://journals.plos.org/plosone/article/figure/image?size=inline&id=10.1371/journal.pone.0129050.g004>
- [24] Su J, Rupp J, Garmory A, Carotte JF (2015) Measurements and computational fluid dynamics predictions of the acoustic impedance of orifices. *J Sound Vib* 352: 174-191.
- [13] Li L, Jin Z (2012) Pattern dynamics of a spatial predator-prey model with noise. *Nonlinear Dynam* 67(3): 1737-1744.
- [14] Tamura A, Okuyama K, Takahashi S, Ohtsuka M (2012) Development of numerical analysis method of flow-acoustic resonance in stub pipes of safety relief valves. *J Nucl Sci Technol* 49(8): 793-803.
- [15] Burton M, Faas WR (1986) Reducing and preventing noise in control valves. *Plant Eng* 40(22): 53-56.
- [16] Smith BAW, Luloff BV (2000) The effect of seat geometry on gate valve noise. *J Press Vess-T ASME* 122(4): 401-407.
- [17] Youn C, Asano S, Kawashima K, Kagawa T (2008) Flow characteristics of pressure reducing valve with radial slit structure for low noise. *J Visual-Japan* 11(4): 357-364.
- [18] Tabib MV, Roy SA, Joshi JB (2008) CFD simulation of bubble column-An analysis of interphase forces and turbulence models. *Chem Eng J* 139(3): 589-614.