

تحلیل و بهینه سازی توزیع فشار در یک شیر فشارشکن

سید علی افتخاری^{*۱}

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: شیر فشار شکن، کاویتاسیون، توزیع فشار، بهینه سازی به روش تاگوچی، نرم افزار انسیس.</p>	<p>امروزه شیرهای فشارشکن در بسیاری از صنایع مانند نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و صنایع مشابه استفاده می‌شود که بسیاری از آنها دارای شکل‌های هندسی سنتی مانند شیرهای پروانه‌ای است. متأسفانه بدلیل طراحی خاص این شیرها، در آنها کاویتاسیون ایجاد شده و باعث سایش و خرابی زود هنگام می‌شود. در دهه اخیر نسل جدیدی از شیرهای کنترلی طراحی شده‌اند که با توجه به هندسه جدیدشان باعث کاهش تدریجی فشار سیال شده و مانع ایجاد کاویتاسیون و سایش می‌شوند. در این مقاله مسیر سیال در یک شیر لابیرننتی با استفاده از روش تاگوچی بهینه‌سازی شده است. برای این منظور چهار پارامتر مختلف شامل ارتفاع کانال، تعداد گوشه‌های مسیر، شعاع گوشه‌ها و مساحت مقطع ورودی به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر فشار خروجی شیر در نظر گرفته شده است. هر پارامتر دارای سه سطح می‌باشد و توسط یک آرایه استاندارد تاگوچی، ترتیب اهمیت هر یک از این چهار مورد بر فشار خروجی تعیین شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده، هندسه بهینه پیش‌بینی شده است. سپس با استفاده از شبیه‌سازی در نرم افزارهای انسیس و سالدورکز، هندسه بهینه پیش‌بینی شده صحت سنجی شده است.</p>

۱- مقدمه

تحقیقات خود به این نتیجه رسید که مهمترین دلیل سایش و خرابی چنین قطعاتی کاویتاسیون می‌باشد [۱]. در سال ۲۰۰۲ مازور و همکاران از تحلیل عددی به منظور بررسی سایش در یک آب بند لابیرننتی در توربین زمین گرمایی استفاده کردند. آنها در این تحقیق از دینامیک سیالات محاسباتی^۲ به منظور تحلیل علت سایش و همچنین پیشنهاد راهکاری برای کاهش سایش کمک گرفتند. پیش‌بینی‌های ایشان مبتنی بر محاسبات عددی با استفاده از مدلی برای جریان سیال حاوی آب/بخار و همچنین ذرات جامد بوده است که توسط نرم افزار فلونت^۳ حل شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن

کاویتاسیون یک پدیده نامطلوب در شیرها، آب بندها و دیگر قطعات صنعتی است که منجر به ایجاد نویز، ارتعاش و کاهش طول عمر قطعات می‌شود. علت اصلی ایجاد کاویتاسیون این است که فشار سیال در قسمتی از مسیر سیال، از فشار اشباع آن کمتر شده و حباب‌های گاز در مایع پدیدار می‌شود. در سال ۱۹۱۷ از لرد رایلی خواسته شد دلیل فرسایش سریع پروانه‌های کشتی‌ها را که با سرعت بالایی در آب می‌چرخند، تعیین کند. وی در

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: eftekhari@iaukhsh.ac.ir

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، واحد خمینی‌شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران.

^۲ - Computational Fluid Dynamics (CFD)

^۳ - Fluent V5

آسوک و همکاران نیز از دینامیک سیالات محاسباتی برای شبیه سازی افت فشار و نشتی در آب بندهای لایبرنتی استفاده کرده اند. آنها به این نتیجه رسیدند که چیدمان هندسی شیرها نقش بسیار مهمی در کاهش فشار دارند و شبیه سازی های صورت گرفته با نتایج آزمایشی منطبق است. همچنین ایشان از الگوریتم ژنتیک به منظور تعیین چیدمان بهینه آب بند استفاده کردند. سپس هندسه تعیین شده جهت تست افت فشار و بررسی شدت کاویتاسیون ایجاد شده مورد استفاده قرار گرفته و کاویتاسیون ایجاد شده کمتر از حدود مجاز بدست آمده است [۶].

در مقاله حاضر پس از مقدمه ای مختصر در رابطه با کاویتاسیون، هندسه مجرای عبور سیال در یک شیر فشارشکن لایبرنتی توسط روش بهینه سازی تاگوچی بهسازی خواهد شد. برای این منظور، چهار پارامتر شامل ارتفاع کانال عبور سیال، تعداد گوشه ها، شعاع گوشه ها و سطح مقطع ورودی جریان سیال به عنوان پارامترهای تاثیرگذار در توزیع فشار در نظر گرفته شده است. برای هر پارامتر سه سطح در نظر گرفته شده و از یک آرایه استاندارد تاگوچی (L9) هندسه بهینه تعیین شده است. در پایان، هندسه بهینه انتخاب شده با شبیه سازی های المان محدود صحت سنجی شده است.

۲- کاویتاسیون

واژه کاویتاسیون از فعل لاتین *cavitare* به معنای تخلیه کردن مشتق شده است که به ایجاد حباب های گاز در سیال اشاره دارد [۱]. کاویتاسیون به عنوان یک پدیده نامطلوب در سیستم های هیدرولیکی شناخته می شود زیرا منجر به مشکلاتی نظیر نویز، ارتعاش، سایش و خرابی سیستم هیدرولیکی می شود. همچنین کاویتاسیون می تواند باعث افزایش تراکم پذیری موضعی سیال شود که خود به کاهش سرعت صوت می انجامد. با افزایش نسبت فشار، چگالی سیال در اثر ایجاد حباب های گاز به شدت

است که شرایط جریان سیال نقش بسیار مهمی در سایش آب بند لایبرنتی محور توربین دارد. سپس مسیر جریان در آب بند با اعمال تغییراتی که در عمل امکان پذیر باشد شبیه سازی شده و نتایج نشان داده است که می توان فرآیند سایش را تقریباً تا ۸۰ درصد کاهش داد. این کار با اضافه کردن یک بازگرداننده بخار در دیافراگم مرحله چهارم آب بند صورت گرفته است که جهت جریان سیال را در ناحیه ورودی آب بند لایبرنتی تغییر داده و منجر به کاهش دبی جرمی بخار تا حد ۴۴ درصد می شود [۲].

در تحقیق دیگری مازور و همکاران در سال ۲۰۰۴ سایش بیش از حد یک آب بند کم فشار مربوط به یک روتور توربین نیروگاه زمین گرمایی ۲۵ مگاواتی را مورد بررسی قرار دادند. ایشان مجدداً از دینامیک سیالات محاسباتی برای تعیین دلایل سایش و شرایط جریان بخار استفاده کردند تا سایش را کاهش دهند. مدلسازی آب بند توسط کد محاسباتی Adapco Star-CD صورت گرفته و جریان بخار دارای ذرات جامد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که با تغییرات شرایط جریان می توان سایش را کنترل کرد و مشاهده شد آستانه مشخصی برای دبی جریان وجود دارد که تا قبل از آن سایش رخ نداده و یا بسیار اندک است. سپس با بهینه سازی فشار تغذیه آب بند و فشار کندانسور، انرژی جنبشی جریان توربولانت را تا ۴۹ درصد کاهش داده که به دنبال آن نرخ سایش نیز کاسته شده است. به علاوه در این تحقیق پیشنهادهای دیگری برای پیشگیری از سایش ارائه شده است [۳ و ۴].

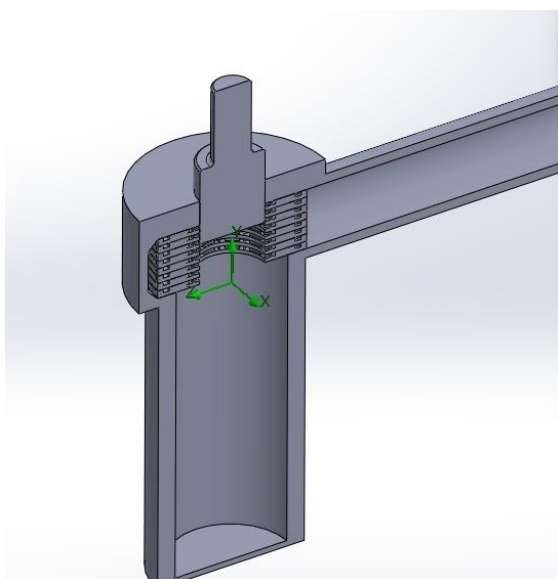
در سال ۲۰۰۵ یانگ و همکاران از روش SVM^۱ برای تشخیص کاویتاسون در شیرهای پروانه ای استفاده کردند. آنها سیگنال های مختلفی از شیرهای پروانه ای موجود در ایستگاه های پمپاژ را ذخیره کرده و از آنها برای صحت سنجی طبقه بندی توسط روش بکار رفته استفاده کرده اند که دقت بدست آمده با روش ایشان مشابه دقت طبقه بندی با شبکه های عصبی خود سازمانده^۲ می باشد [۵].

^۱ - Support Vector Machine

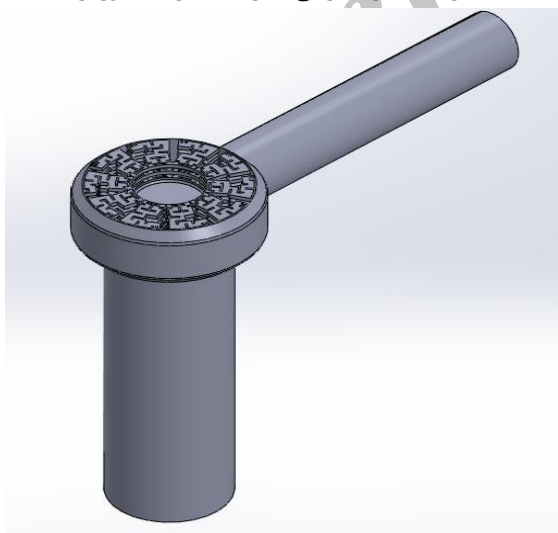
^۲ - Self Organizing Map

۳- هندسه شیر لایبرنتی

در این تحقیق نرم افزار المان محدود انسیس^۲ به منظور گسسته‌سازی و تعیین کانتورهای افت فشار در مسیر جریان سیال استفاده می‌شود. از آنجا که هندسه شیر و مسیر جریان سیال پیچیده است و ایجاد آن در انسیس مشکل می‌باشد، ابتدا هندسه شیر در نرم افزار سالیدورکز ایجاد می‌شود (شکل ۳). سپس به کمک گزینه ایجاد حجم سیال^۳، حجم سیال درون شیر استخراج می‌شود (شکل ۴).

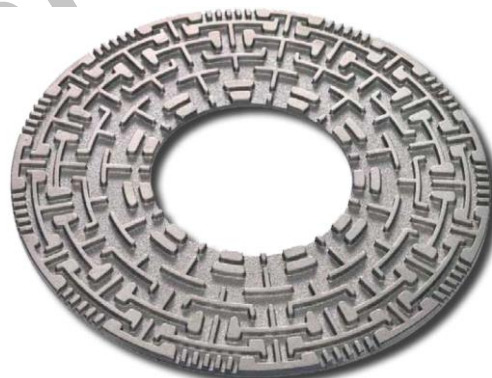


شکل ۳- شیر لایبرنتی مدل شده در سالیدورکز

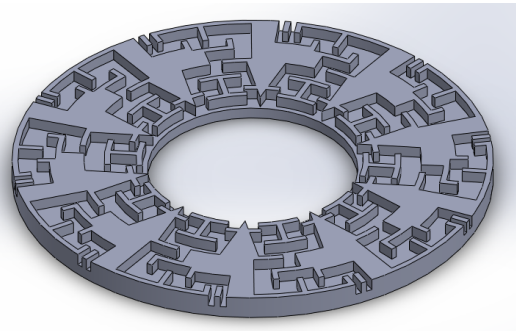


شکل ۴- حجم سیال ایجاد شده توسط سالیدورکز

افت کرده که این امر منجر به محدود شدن دبی در شیر کنترلی و جریان چوک^۱ شده می‌شود [۷]. با توجه به معایب تشریح شده برای کاویتاسیون، پیش‌بینی و جلوگیری از ایجاد کاویتاسیون در سیستم‌های هیدرولیکی بسیار دارای اهمیت است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه تحلیل جریان سیال منجر به ایجاد هندسه‌های جدیدی برای شیرهای کنترلی شده است که به شیرهای لایبرنتی معروفاند. هر هندسه دارای توزیع فشار خاصی است. دو نمونه از صفحات لایبرنتی مورد استفاده در این شیرها در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. مهمترین مشخصه یک شیر کنترلی فشار بالا، دارا بودن افت فشار بالا در عین دبی ثابت می باشد. در این تحقیق با استفاده از یک تحلیل پارامتری، موثرترین پارامتر بر فشار خروجی چنین شیرهایی تعیین می شود.



شکل ۱- مسیر جریان در یک شیر فشار شکن

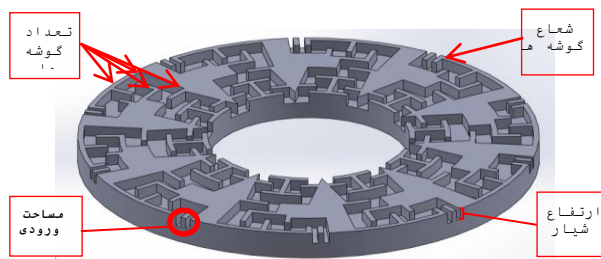


شکل ۲- مسیر شبیه سازی شده در نرم افزار سالیدورکز جهت تحلیل پارامتری

² - ANSYS

³ - Create fluid body assembly

¹ - Choked flow



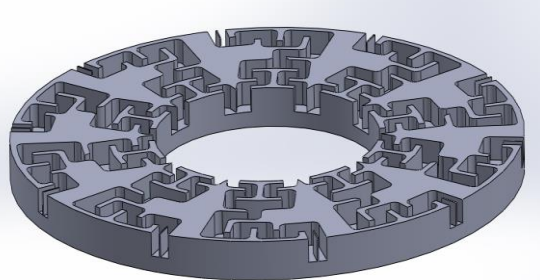
شکل ۷- پارامترهای استفاده شده در بهینه سازی تاگوچی

همانگونه که پیشتر اشاره شد، برای هر پارامتر سه سطح مختلف در نظر گرفته شده است که مقادیر هر یک در جدول ۱ گردآوری شده است.

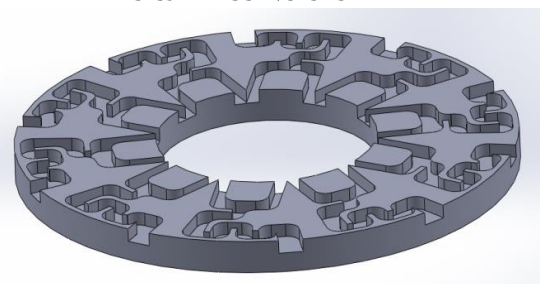
جدول ۱- سطوح مختلف پارامترها

پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
تعداد گوشه ها	8	12	16
ارتفاع شیار (mm)	2	3	4
شعاع گوشه ها (mm)	0	1	2
مساحت ورودی (mm ²)	40	60	80

مسیرهای شبیه سازی شده با ۱۶، ۱۲ و ۸ گوشه با شعاع- های مختلف در شکل های ۸ تا ۱۰ نشان داده شده است.



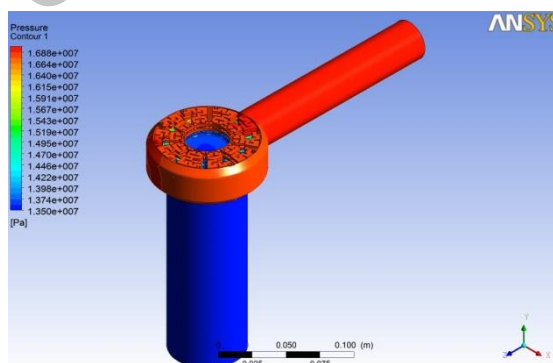
شکل ۸- مسیر شبیه سازی شده با ۱۶ گوشه و شعاع گوشه ۱ میلیمتر در نرم افزار سالدورکز



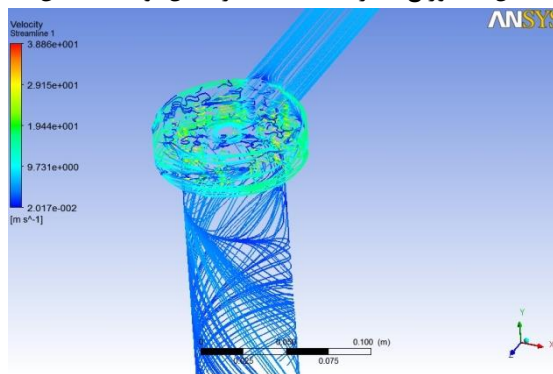
شکل ۹- مسیر شبیه سازی شده با ۱۲ گوشه و شعاع گوشه ۲ میلیمتر در نرم افزار سالدورکز

سپس حجم ایجاد شده به درون قسمت تحلیل سیالاتی نرم افزار انسیس وارد می شود که می توان تحلیل های مورد نظر را بر روی نمونه انجام داد. از آنجا که هدف از تحلیل و بررسی این شیر تعیین علل خرابی در یک شیر نیروگاهی است، شرایط عملکردی آن نیز دقیقاً مشابه شرایط کاری واقعی در نظر گرفته می شود. لذا در کلیه تحلیل ها، سیال مورد تحلیل آب بوده و فشار ورودی برابر ۱۷۰ bar و دبی سیال ۲۰ ton/hr می باشد. توزیع فشار و خطوط جریان سیال در شکل های ۵ و ۶ نشان داده شده است. در شکل ۷ چهار پارامتر مورد بررسی با روش بهینه- سازی تاگوچی بر روی مسیر سیال نشان داده شده است که عبارتند از:

- ۱- مساحت ورودی سیال
- ۲- تعداد گوشه های مسیر سیال
- ۳- شعاع گوشه ها
- ۴- ارتفاع شیار لایبرنت



شکل ۵- توزیع فشار بدست آمده در سیال توسط انسیس



شکل ۶- خطوط جریان ایجاد شده توسط انسیس

پارامتر سطح بهینه هریک می‌باشد. به علاوه با استفاده از مقدار $(\eta_{\max} - \eta_{\min})$ ، ترتیب اهمیت هر یک از چهار پارامتر محاسبه شده و در آخرین ستون جدول ۳ آورده شده است.

هر چه مقدار $(\eta_{\max} - \eta_{\min})$ برای یک پارامتر بزرگتر باشد، تاثیر آن پارامتر در خروجی مسئله (فشار خروجی شیر) بیشتر خواهد بود. همانگونه که در جدول ۳ می‌توان ملاحظه کرد، تاثیر ارتفاع شیر نسبت به سه پارامتر دیگر بسیار بیشتر است. پس از آن به ترتیب سطح مقطع ورودی، تعداد گوشه‌ها و شعاع گوشه‌ها دارای اهمیت می‌باشند. بنابراین در حین طراحی مسیر جریان، مهمترین پارامتری که می‌توان با تغییر آن فشار خروجی شیر را تنظیم نمود، ارتفاع شیر می‌باشد.

جدول ۲- سطوح آرایه استاندارد تاگوچی (L9) به همراه فشار خروجی و نسبت سیگنال به نویز در هر حالت

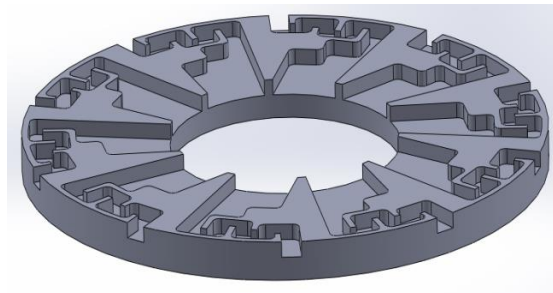
شماره آزمایش	شعاع گوشه	تعداد گوشه	ارتفاع شیر	مساحت ورودی	فشار خروجی (MPa)	نسبت سیگنال به نویز (dB)
1	0	16	2	40	3.437	-10.7236
2	0	12	3	60	11.1	-20.9065
3	0	8	4	80	14.3	-23.1067
4	1	16	3	80	12.2	-21.7272
5	1	12	4	40	11.6	-21.2892
6	1	8	2	60	9.33	-19.3976
7	2	16	4	60	13.8	-22.7976
8	2	12	2	80	8.4	-18.4856
9	2	8	3	40	11.8	-21.4376

جدول ۳- نسبت سیگنال به نویز برای سطوح مختلف پارامترها به همراه ترتیب اولویت هر یک

پارامتر	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم	$\eta_{\max} - \eta_{\min}$	ترتیب اهمیت
شعاع گوشه	-18.2	-20.8	-20.9	2.7	4
تعداد گوشه	-18.4	-20.2	-21.3	2.9	3
ارتفاع شیر	-16.2	-21.3	-22.4	6.2	1
سطح ورودی	-17.8	-21.0	-21.1	3.3	2

۴- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر پارامترهای هندسی مسیر جریان سیال بر تغییرات فشار سیال خروجی یک شیر کنترلی لایبرنتی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور چهار پارامتر مربوط



شکل ۱۰- مسیر شبیه سازی شده با ۸ گوشه و شعاع گوشه ۱ میلیمتر در نرم افزار سالیدورکز

هر یک از این صفحات، بصورت جزئی از شیر مونتاژ شده مانند شکل ۳ بکار خواهد رفت تا پس از ایجاد مدل شیر، حجم سیال بدست آمده و برای تحلیل سیالاتی به انسیس وارد شود. بر اساس طراحی آزمایش تاگوچی با آرایه استاندارد L9 می‌بایست ۹ آزمایش مختلف مطابق جدول ۲ انجام شود. هر حالت در نرم افزار سالیدورکز مدل سازی شده و سپس توسط انسیس تحلیل شده است تا فشار خروجی سیال محاسبه گردد. فشار خروجی سیال در هر حالت نیز در جدول ۲ نشان داده شده است. در روش بهینه سازی تاگوچی، از نسبت سیگنال به نویز به منظور تعیین مقادیر بهینه استفاده می‌شود که برای کاهش فشار خروجی می‌توان این نسبت را به صورت زیر در نظر گرفت [۸]:

$$\eta_i = -10 \log_{10} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (1)$$

که η_i نسبت سیگنال به نویز مربوط به آزمایش i ام و n تعداد تکرار آزمایش در هر حالت می‌باشد (در این تحقیق با توجه به اینکه از شبیه سازی استفاده می‌شود و خطای آزمایش وجود ندارد، برای هر حالت تنها یک نتیجه ثبت شده است $i=1$) و y_i فشار خروجی است.

نسبت‌های سیگنال به نویز در هر آزمایش محاسبه شده و در ستون آخر جدول ۲ گزارش شده‌اند. برای تعیین تاثیر هر پارامتر بر روی فشار خروجی، نسبت سیگنال به نویز سطوح مختلف هر پارامتر مطابق با جدول ۳ محاسبه شده است. بهترین سطح هر پارامتر دارای حداکثر نسبت سیگنال به نویز می‌باشد، بنابراین اولین سطح هر چهار

گوشه‌ها و شعاع گوشه‌ها دارای اهمیت می‌باشند. همچنین می‌توان ملاحظه کرد که با افزایش تعداد گوشه‌ها و کاهش ارتفاع شیار، سطح مقطع و شعاع گوشه‌ها منجر به کاهش فشار سیال در خروجی می‌شود. البته از آنجا که کاهش ارتفاع شیار و سطح مقطع باعث کاهش دبی سیال نیز می‌شود (که عاملی منفی است)، تعداد گوشه‌ها به عنوان مهمترین پارامتر قابل کنترل در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این نتایج می‌توان الگوهای جدیدی برای شیرهای لایبرنتی طراحی کرد.

تشکر و قدردانی

کلیه اعتبار مالی این تحقیق توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر در حمایت از طرح تحقیقاتی "شبیه سازی و تحلیل فشار در شیرهای فشار بالای لایبرنتی" و بدین وسیله از دانشگاه آزاد اسلامی تشکر و قدردانی می‌گردد.

به مسیر جریان سیال شامل تعداد گوشه‌های مسیر، شعاع گوشه‌ها، ارتفاع شیار و سطح مقطع ورودی سیال به عنوان پارامترهای تاثیرگذار بر فشار خروجی در نظر گرفته شده و با استفاده از یک آرایه استاندارد تاگوچی تاثیر هر یک بر فشار خروجی بررسی گردید. آرایه بکار رفته آرایه L9 می‌باشد که دارای ۹ اجرای مختلف است. هر حالت بطور جداگانه در نرم افزار سالیدورکز مدلسازی شده و سپس برای تحلیل به قسمت تحلیل سیالاتی نرم افزار انسیس وارد گشته و فشار خروجی آن محاسبه شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده، نسبت سیگنال به نویز هر حالت و همچنین سیگنال به نویز هر سطح از چهار پارامتر مورد بررسی بدست آمد. با استفاده از نسبت‌های بدست آمده در جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که ارتفاع شیار موثرترین عامل در فشار خروجی می‌باشد. در مراحل بعدی به ترتیب پارامترهای مساحت مقطع ورودی، تعداد

۵- مراجع

- [1] Cavitation in Control Valves, SAMSON AG V74 / Training, Weismüllerstraße 3, 60314 Frankfurt, <http://www.samson.de>.
- [2] Mazur, Z. Urquiza, G. Sierra, F. Campos, R. (2002). "Numerical analysis of erosion of the rotor labyrinth seal in a geothermal turbine", *Geothermics*, Vol. 31- pp. 563-577.
- [3] Mazur, Z. Palacios, L.M. Urquiza, G. (2004). "Numerical modeling of gland seal erosion in a geothermal turbine", *Geothermics* Vol. 33, pp. 599-614.
- [4] Mazur, Z. Amezcua, R.C. Beltran, G.U. Gutierrez, A. G. (2004). "Numerical 3D simulation of the erosion due to solid particle impact in the main stop valve of a steam turbine", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, pp. 1877-1891.
- [5] Yang, B.S. Hwang, W.W. Ko, M.H. Lee, S.J. (2005). "Cavitation detection of butterfly valve using support vector machines", *Journal of Sound and Vibration* Vol. 287, pp. 25-43.
- [6] Asok, S.P. Sankaranarayanan, K. Sundararajan, T. Vaidyanathan, G. Udhaya Kumar K., (2011). "Pressure drop and cavitation investigations on static helical-grooved square triangular and curved cavity liquid labyrinth seals", *Nuclear Engineering and Design* Vol. 241, pp. 843-853.
- [7] CONTROL VALVE HANDBOOK, Fourth Edition, Emerson Process Management, Marshalltown, Iowa 50158 USA, www.EmersonProcess.com.
- [8] ANSYS FLUENT 12.0, Theory Guide, Release 12.0 c ANSYS, Inc. January 29, 2009.
- [9] Jeff Wu, C.F. Hamada M.S. (2002). "Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization". Wiley.