



## تأثیر تolerانس های هندسی و ابعادی بر روی نشتی و زمان پاسخ اسپول و اسلیو در ولوهای هیدرولیکی

مهدی زارعان<sup>۱</sup>، احمدرضا شمشیری<sup>۲</sup>، امین کلاه‌دوز<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، ساخت و تولید، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- مربی، دانشکده مهندسی مکانیک، ساخت و تولید، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۳- استادیار، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، ساخت و تولید، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

Shamshiri@iaukhsh.ac.ir

### چکیده:

شیرهای هیدرولیکی، یکی از اجزای مهم در سیستم‌های هیدرولیکی می‌باشد. عملکرد اصلی این شیرها کنترل میزان دبی سیال، جهت جریان سیال و میزان فشار سیال در سیستم‌های هیدرولیک می‌باشد. از آنجا که شیرهای هیدرولیکی تنها اجزاء قابل کنترل در یک سیستم هیدرولیکی می‌باشد، مراحل ساخت و نحوه عملکرد این شیرها بیشترین تأثیر در عملکرد یک شیر هیدرولیکی را خواهد داشت. در این تحقیق سه عامل تأثیرگذار شامل اثر صافی سطح اسپول، قطر قطعه‌ی اسپول و تolerانس هندسی استوانه‌ای اسپول، به عنوان فاکتورهای مؤثر در ساخت قطعه و تأثیرگذار ورودی و میزان نشتی سیال و زمان پاسخ شیر هیدرولیکی به عنوان فاکتورهای خروجی مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور روش طراحی آزمایش، فاکتوریل کامل انتخاب شده است. برای انجام طراحی آزمایش، به تعداد مورد نیاز قطعاتی در سه سطح اندازه مختلف ساخته شده است. سپس در دو گروه جهت اندازه‌گیری میزان نشتی سیال و زمان پاسخ تست‌های لازم انجام شده است. نتایج حاصل پس از بررسی در نرم‌افزار مینی‌تب ترسیم و تجزیه و تحلیل شده است. برای راستی آزمایی نتایج حاصل، تعداد هشت نمونه جدید به صورت راندم تهیه و نتایج در مدلی که توسط رگرسیون بدست آمده است مورد بررسی و درصد خطای آن مشخص شد، که این درصد خطا در محدوده‌ی قابل قبولی بدست آمده است.

کلید واژگان: تolerانس های هندسی، اسپول، طراحی آزمایش، نشتی، زمان پاسخ

## *Production and study performance of a sample of 3000 PSI electro-hydraulic valve used in the aviation industry*

Mehdi zarean<sup>1</sup>, Ahmadreza shamshiri<sup>2</sup>, Amin Kolahdooz<sup>3</sup>

1- MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Khomeinishahr/Isfahan, Iran.

2- Lecturer, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Khomeinishahr/Isfahan, Iran.

3- Assistant Professor, Young Researchers and Elite Club, Islamic Azad University, Khomeinishahr Branch, Khomeinishahr/Isfahan, Iran.

†Corresponding Author Email: Shamshiri@iaukhsh.ac.ir

### Abstract:

Hydraulic valves are one of the important components in hydraulic systems. The main function of these valves is controlling the flow rate of the fluid, the flow direction and the fluid pressure in hydraulic systems. Because of the hydraulic valves are the only components that can be controlled in a hydraulic system, the stages of construction and performance of these valves will have the greatest efficacy on the performance in a hydraulic valve. In this research, the affecting of three input factors such as the Spool surface roughness, the Spool diameter and the Spool cylindrical geometric tolerance as significant factors affecting in piece construction and input effect has been studied and the fluid leakage and response time of the hydraulic valve are output factors. For this purpose, Taguchi optimization method, full factorial is selected. To accomplish the testing design, the enough pieces are made in three different size levels. Therefore in two groups, tests have been done for measuring fluid leakage and response time. Results after reviewing in Minitab software have been plotted and analyzed. To verify the results, eight new specimens have been prepared randomly and the results were obtained in a regression model analyzing and its error rate has been determined. The error rate was within acceptable limits.

**Keywords:** Spool diameter, Surface roughness, Cylindrical geometric tolerances, Taguchi, leak time

عملکرد سیستم‌های الکتروهیدرولیک سرو با رویکردی بر شناسایی شرایط حین کار اجسام به منظور رفع اشکال منطقی از آنها، به مدل سازی و شبیه سازی سیستم های سروهیدرولیک از نوع جت پرداخته است. بهزاد عباس‌زاده و همکاران، [۴] در خصوص بررسی پارامترهای مؤثر بر صافی سطح ماشینکاری ماده آلومینیوم تحقیقی انجام داده‌اند. گردیک و همکارانش [۵] مدل ریاضی از یک شیر سرو ارائه کرده‌اند. همچنین در پژوهشی دیگر گردیک و همکارانش [۶]، بر روی نشتی داخلی شیر سرو تحقیقاتی انجام داده‌اند.

با توجه به پیشینه تحقیقات صورت گرفته، از بین فاکتورهای مؤثر در ساخت، صافی سطح اسپول، تolerانس استوانه‌ای اسپول و از لحاظ ابعادی، قطر اسپول انتخاب و به عنوان فاکتورهای ورودی انتخاب شدند. نشتی قطعه (خروجی شیر زمانی که فشار سیستم 3000PSI با دبی 3GPM با روغن MIL-G-5506 و دمای ۳۷ درجه سانتیگراد و هنوز شیر برق‌دار نشده و همچنین زمانیکه شیر برق‌دار شده و اسپول به اندازه ۲ میلی‌متر به هریک از ۲ طرف حالت غیر فعال، محاسبه می‌شود. نکته حائز اهمیت: از زمان برق‌دار شدن شیر، تا زمان اندازه گیری باید ۲ دقیقه صبر کرد، سپس نشتی در دقیقه سوم به مدت ۳ دقیقه اندازه‌گیری می‌گردد) و زمان پاسخ (به فاصله زمانی گفته می‌شود، که دستور از مرجع صادر کننده به سولنوئید شیر وارد شده و شیر در این زمان برق‌دار شده و با باز کردن مسیری اجازه عبور روغن را می‌دهد)، دو پارامتر خروجی است که بصورت مجزا تحت آزمون قرار گرفت.

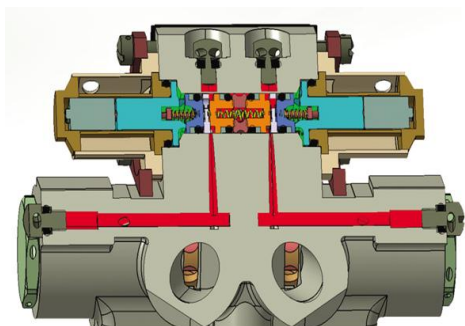
از اجزاء مهم در هر سیستم هیدرولیکی، شیرها هستند. عملکرد اصلی این شیرها کنترل میزان جریان، جهت جریان و یا میزان فشار در سیستم های هیدرولیک است. شیر، جریان سیال روغن را در سیستم کنترل می‌کند. کنترل جریان و فشار روغن، بوسیله حرکت دقیق یک اسپول انجام میشود. حرکت اسپول، دهانه های شیر را برای کنترل جریان روغن، باز و بسته می‌نماید. انواع مختلفی از شیرهای هیدرولیک، مناسب برای کاربردهای کنترل حرکت وجود دارند. آنهایی که معمولاً در سیستم کنترل اتوماتیک استفاده می‌شود به نام شیر سرو یا سولنوئید شناخته می‌شود. این شیرها نه تنها در سیستم کنترل حلقه بسته استفاده می‌شود بلکه خودشان عموماً به خاطر یک مکانیزم فیدبک بین اسپول، اسلیوو مکانیزم تحریک شیر، سیستم های حلقه بسته هستند (شکل ۱).



شکل (۱) - اسپول و اسلیو در نمای برش خورده از شیر

لذا با توجه به حساسیت رفتار شیر، باید قابلیت عملکرد در هر شرایط دمایی، آلودگی و ارتعاش را داشته باشند. این شرایط چالش‌های جدیدی پیش روی کارایی دینامیکی شیر قرار می‌دهد. از آنجا که شیرهای هیدرولیکی تنها اجزاء کنترل شونده فعال در سیستم هیدرولیک هستند، عملکرد دینامیکی این شیرها بسیار حائز اهمیت می‌باشد. لازمه عملکرد دینامیکی داشتن قطعاتی است با کیفیت که بتواند در کلیه شرایط محیطی و عملکردی دقت و سرعت لازم را داشته باشد که از چالش‌های بزرگ در ماشین‌کاری و ساخت قطعات می‌باشد. و اسلیو ۱ است که در عملکرد شیر نقش بسزائی دارد. بررسی تأثیر پارامترهای مختلف ابعادی و هندسی بر روی اسپول و اسلیوو بدست آوردن بهترین نتایج از لحاظ نشتی و زمان پاسخ پژوهشی است که به آن پرداخته خواهد شد.

سعید امینی و همکاران [۱] در سال ۱۳۹۴ در خصوص تأثیر عملیات حرارتی بر روی کیفیت سطح و تolerانس‌های ابعادی اسپول شیر هیدرولیک تحقیقاتی انجام داده و انواع روش عملیات حرارتی بر روی اسپول شیر هیدرولیک را مورد بررسی قرار داده‌اند. امین داود الحسینی و همکاران [۲] در سال ۱۳۹۲ در خصوص بررسی پارامترهای مؤثر بر افزایش سرعت پاسخ سیستم های الکترو هیدرولیک سرو جهت کنترل موقعیت، سرعت و نیرو (فشار) با رویکردی بر چند کاربرد صنعتی تحقیقی انجام داده‌اند. در این تحقیق مدل‌سازی و شبیه سازی سیستم های سرو هیدرولیک مورد بررسی قرار گرفته است. علی فروجانی زاده [۳] در سال ۱۳۹۳، با شبیه سازی و تحلیلی بر



شکل (۲) - شیر الکتروهیدرولیک و شماتیک عملکردی آن

برای رسیدن به دقت مطلوب ۳ سطح برای هر متغیر در نظر گرفته شد (شکل)، که جمعاً ۲۷ تست شد. طبق جدول سطوح منتخب و اندازه های تolerانس و قطر قطعه در سه گروه تقسیم و طبق طراحی آزمایش بر اساس فاکتوریل کامل آزمون‌ها انجام شد.

جدول (۱) - پارامترهای ورودی

پارامترهای ورودی	واحد	سطوح
صافی سطح	میکرومتر	۰/۱ - ۰/۲ - ۰/۴
تولرانس	میلیمتر	۰/۰۲۵ - ۰/۱۲۷ - ۰/۳۸۱
قطر قطعه	میلیمتر	۴/۷۲۵ - ۴/۷۳۰ - ۴/۷۳۵

1- spool  
2- sleeve

## ۲- وسایل و مواد آزمون

در این پژوهش برای بدست آوردن فاکتورهای ورودی که در حین ساخت تحت تأثیر قرار می‌گیرد از فولاد زنگ نزن آستنیتی نوع ۳۲۱ استفاده شده است. بعد از انتخاب متریال و ساخت قطعه مطابق شکل برای رسیدن به کیفیت سطح مورد نظر قطعه و همچنین از لحاظ ابعادی و تolerانس هندسی از دستگاه سنگ stoder s30 استفاده شد. (شکل ۳)



شکل (۳)- دستگاه سنگ STODER,S30

## ۳- انجام آزمون و نتایج

ابتدا در این مرحله هر کدام فاکتورها برای بررسی به صورت مجزا، در قطعه ایجاد و تأثیر هر کدام را بررسی و به صورت گراف (شکل) ثبت کردیم. سپس با توجه به اینکه هر فاکتوری نمی‌تواند به تنهایی در قطعه وجود داشته باشد و فاکتورهای دیگر هم در قطعه تأثیر دارند، فاکتورهای دیگر را هم در ساخت قطعه ایجاد و مورد بررسی قرار داده شد. برای بررسی تأثیر تغییرات ایجاد شده و بدست آوردن فاکتورهای خروجی آزمون‌ها به دو گروه تقسیم شد. یکی تأثیر فاکتورهای ورودی بر نشستی و دیگری بر زمان پاسخ. برای انجام آزمون‌ها، از یک شیر سلنوییدی، که دارای ۴ راهگاه ورودی و خروجی و ۳ وضعیت ثابت می‌باشد استفاده شد. در وضعیت غیر فعال بدون خروجی و در دو وضعیت فعال دیگر خروجی سیال روغن وجود دارد. سپس یکطرف از محل‌های خروجی شیر مسدود و طرف دیگر با قرار دادن اسپول در اسلیو تحت آزمون قرار داده شد. برای انجام آزمون‌ها از تستری که قابلیت عملکرد آزمون سامانه‌های هیدرولیک تا فشار 8000psi و با برق 300-500hz سه فاز و تک فاز کار می‌کرد استفاده شد. برای بررسی نتایج آزمون از نرم افزار مینی تب استفاده شد و همه نتایج به صورت گراف استخراج شد.



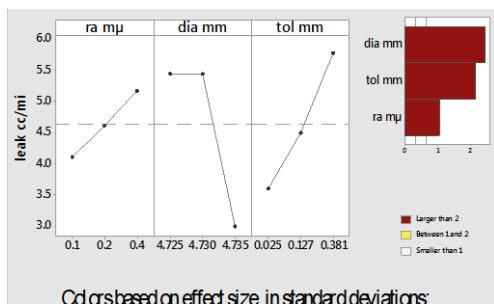
شکل (۴)- دستگاه تست هیدرولیک

نتایجی که در آزمون‌ها بدست آمد با توجه به اینکه Ra به معنای صافی سطح با واحد  $\mu\text{m}$ ، قطر با نشان Dia و واحد میلی متر، Tol به معنای تolerانس هندسی با واحد میلی متر، Res به معنای زمان پاسخ با واحد ثانیه و نشستی Leak با واحد سی سی بر دقیقه در یک جدول آورده شده است.

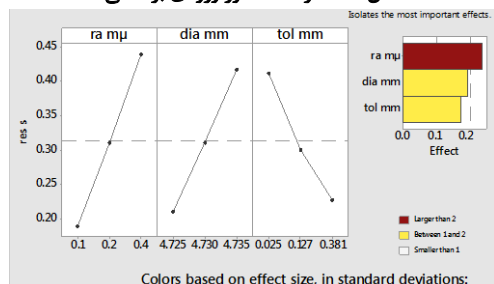
جدول (۲)- نتایج تست با توجه به خروجی زمان پاسخ، نشستی و سه فاکتور

ورودی				
ra $\mu\text{m}$	dia mm	tol mm	res s	leak cc/min
0.1	4.735	0.025	0.25	1
0.1	4.735	0.127	0.2	2
0.1	4.735	0.381	0.15	4
0.1	4.73	0.025	0.25	4
0.1	4.73	0.127	0.2	5
0.1	4.73	0.381	0.15	6
0.1	4.725	0.025	0.2	4
0.1	4.725	0.127	0.15	5
0.1	4.725	0.381	0.15	6
0.2	4.735	0.025	0.5	2
0.2	4.735	0.127	0.45	3
0.2	4.735	0.381	0.3	4
0.2	4.73	0.025	0.4	4.5
0.2	4.73	0.127	0.3	5.5
0.2	4.73	0.381	0.25	7
0.2	4.725	0.025	0.25	4.5
0.2	4.725	0.127	0.2	5
0.2	4.725	0.381	0.15	6
0.4	4.735	0.025	1	3
0.4	4.735	0.127	0.5	3.5
0.4	4.735	0.381	0.4	4.5
0.4	4.73	0.025	0.5	4.5
0.4	4.73	0.127	0.45	5.5
0.4	4.73	0.381	0.3	7
0.4	4.725	0.025	0.35	5
0.4	4.725	0.127	0.25	6
0.4	4.725	0.381	0.2	7.5

نتایج آزمون‌ها ابتدا به صورت تأثیر فاکتورهای ورودی بر نشستی و زمان پاسخ به صورت مجزا در نرم‌افزار مینی تب ترسیم شد.

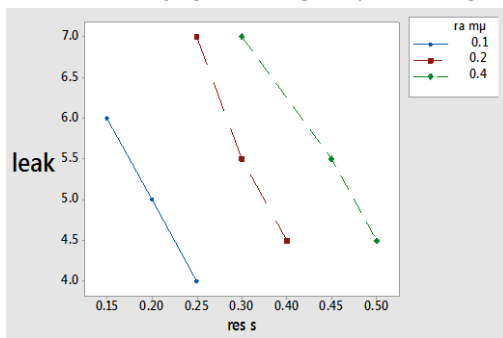


شکل (۵)- اثر سه فاکتور ورودی بر نشستی



شکل (۶)- اثر سه فاکتور ورودی بر زمان پاسخ

می رود زمان پاسخ به ۰/۴۵ ثانیه هم بالاتر می رود. بالا رفتن زمان پاسخ ممکن است به عدم عملکرد قطعه منجر شود.



شکل (۷)- رابطه بین نشتی و زمان پاسخ در صافی سطح

فاکتوری که روی نشتی اثر سازنده و محسوسی دارد، قطر قطعه می باشد. با توجه به اینکه بین اسپول و اسلیو هیچ آب بندی وجود ندارد، لذا توانستیم این دو قطعه را بر روی هم قرار داده و نشتی قابل قبولی از آن گرفته شود که به این فرآیند، آب بندی فلز روی فلز می گویند.

#### ۶- مراجع:

۱- س. امینی، "تأثیر عملیات حرارتی بر روی کیفیت سطح و ترانس های ابعادی شیر هیدرولیک"، مجله مهندسی مکانیک شماره ۱۳، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۴.

۲- ا. داودالحسینی، "بررسی پارامترهای مؤثر بر افزایش سرعت پاسخ سیستم های الکترو هیدرولیک سرو جهت کنترل کیفیت موقعیت، سرعت و نیرو با رویکردی بر چند کاربرد صنعتی"، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، ۱۳۹۲

۳- ع. فروجانی زاده، "شبیه سازی و تحلیلی بر عملکرد سیستم های الکترو هیدرولیک سرو، با رویکردی بر شناسایی شرایط حین کار اجزا به منظور رفع اشکال منطقی از آنه"، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، ۱۳۹۳

۴- ب. عباس زاده، "بررسی پارامترهای مؤثر بر صافی سطح ماشین کاری ماده AL99"، هفتمین همایش ملی مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمینی شهر، ۱۳۹۳.

5- Gordic, D., Babic, M., Jovicic, N., "Modeling of Spool Position Feedback Servo Valves", International Journal of Fluid Power, Vol. 1, pp. 37-50, 2004.

6- Gordic, D., Babic, M., Milovanovac, D., Savic, S., "Spool valve leakage behavior", University of Kragujevac, Faculty of Mechanical Engineering, 2011.

7- Chien, W.T., Tsai, C.S., "The investigation on the prediction of tool wear and the determination of optimum cutting conditions in machining 4-17PH stainless steel", Journal of materials Processing technology, Vol. 140, pp. 340-345, 2003.

8- Kopac, J., Bahor, M., Sokovic, M. "Optimal machining parameters for achieving the Desired surface Roughness in fneturning of cold prefor-

#### ۳-۱- ارائه مدل آماری توسط رگرسیون برای زمان پاسخ

در این قسمت، با بکارگیری تحلیل رگرسیون، مدلی آماری که داده های آزمایش را برازش می کند ارائه شده است. رابطه (۱) مدل ارائه شده توسط تحلیل رگرسیون را برای پیش بینی زمان پاسخ نشان می دهد.

$$\text{respons} = -97.0 + 0.806 \text{ ra} + 20.56 \text{ dia} - 0.471 \text{ tol} \quad (1)$$

#### ۳-۲- ارائه مدل آماری توسط رگرسیون برای نشتی

$$\text{LEAK} = 1185 + 3.730 \text{ ra} - 250.0 \text{ dia} + 5.968 \text{ tol} \quad (2)$$

#### ۳-۳- تست صحت مدل رگرسیون

در این بخش صحت مدل واقعی که از آزمایش های تجربی بدست آمده را با نتایج پیش بینی بدست آمده از آنالیز آماری رگرسیون مقایسه می کنیم. (تعداد ۸ آزمایش از کل آزمایش ها بصورت تلفیقی انتخاب شده که این مقادیر جزء مقادیر ارسال شده به MINITAB برای بدست آوردن فرمول رگرسیون نمی باشد). نتایج پیش بینی این فرمول را با نتایج تجربی مقایسه کرده و میانگین خطای مدل آماری رگرسیون استخراج می گردد. همچنین میزان خطا از رابطه (۳) محاسبه گردید که میانگین خطای تست صحت برای نشتی ۳/۹۹ درصد و برای زمان پاسخ هم میانگین خطا ۰/۱۹ درصد است که قابل قبول می باشد.

$$\text{Error\%} = \left| \frac{\text{Experimental} - \text{Prediction}}{\text{Experimental}} \right| \times 100 \quad (3)$$

#### ۴- نتیجه گیری

هدف از انجام این پژوهش در مرحله اول بررسی تأثیر ترانس های هندسی و ابعادی بر روی نشتی و زمان پاسخ در اسپول و اسلیو ولوهای هیدرولیکی است. سپس با توجه به مدل رگرسیون، اختلافات نتایج آزمون، بین روش تجربی و مدل پیش بینی شده را بدست آوردیم. از محاسن انجام چنین کاری صحت گذاری برانجام آزمون و نتایج تست می باشد که از پژوهش فوق نتایج زیر استخراج شده است:

معکوس بودن رابطه بین نشتی و زمان پاسخ. یعنی با افزایش نشتی زمان پاسخ کاهش می یابد و با افزایش زمان پاسخ نشتی کاهش می یابد. نکته حائز اهمیت این است که در ساخت اسپول و اسلیو باید طوری عمل کرد که نشتی و زمان پاسخ در حد اعتدال و میانه باشد. نمی توان نشتی کم داشت و در همان حال زمان پاسخ هم کم باشد. مهمترین فاکتور در ساخت قطعه طبق شکل ۵-۲ که جهت پاسخ زمانی مناسب تأثیر زیادی دارد صافی سطح است. صافی سطح مهمترین عامل در نشتی و زمان پاسخ ما باشد. همانطور که در شکل آمده است، وقتی صافی سطح ۰/۱ داریم زمان پاسخ ما از ۰/۲۵ بالاتر نمی رود ولی وقتی صافی سطح از ۰/۲ بالاتر می رود زمان پاسخ ما را تحت تأثیر گذاشته و مقدار آن را به نزدیک ۰/۴ ثانیه می رساند. نکته قابل ذکر این است که، زمان پاسخ عامل مهم و تأثیرگذار در این مجموعه هاست. لذا مشاهده شد که وقتی صافی سطح از ۰/۲ بالاتر

med steel Workpieces", International Journal of machine tools & manufacture, Vol. 42, pp. 707-716, 2002.

9-Gokler, M.I., Ozanozgu, A.M., "Experimental investigation of effects of cutting parameters on surface roughness in the WEDM process", International journal of machine Tools & manufacture, Vol. 40, pp. 1831-48, 2000.