

## شیر کنترلی

مطابق تعریف مندرج در استاندارد ISA-S75.05 شیر کنترل وسیله‌ای است که با اعمال نیرویی غیر از نیروی دست عمل می‌نماید و میزان جریان سیال را در یک سیستم کنترل فرایندی تنظیم می‌کند، شیر کنترل شامل یک شیر است که به یک مکانیزم محرکه یا Actuator که توانایی تغییر عنصر کنترل کننده سیال را دارد متصل می‌باشد. این تغییر بر مبنای سیگنالی است که از سیستم کنترل دریافت می‌شود.

شیر کنترل نقش مهم و اساسی در یک صنعت فرایندی ایفا می‌نماید و قسمت زیادی از هزینه های خرید قطعات و دستگاهها در صنایع، مربوط به شیر کنترل و سیستمهای جانبی آن می‌باشد.

رشد شیرهای Rotary از سال 1950 تا سال 1980 از یک درصد به 50 درصد رسیده است و کاربرد آن بیشتر و بیشتر شده است. اولین نوع از شیرهای Rotary نوع پروانه‌ای آن بود. شیرهای Rotary از لحاظ هزینه و نیز عملکرد، مزایایی را نسبت به شیرهای خطی از خودشان نشان دادند. شیرهای معروف Straight-through دارای ظرفیت جریانی یا همان  $C_v$  بیشتر می‌باشند ولی جز شیرهای High Recovery بوده و مستعد به ایجاد Choking و Cavitation می‌باشند. ولی از لحاظ وزن و ابعاد موقعیت مناسبی دارند. شیرهای Rotary دارای دامنه محدودتر فشار و دما نسبت به شیرهای Globe می‌باشند.

انتخاب شیرهای کنترل قبلا بر مبنای پارامترهای اولیه ای نظیر Pressure Rating، دامنه جریان افت فشار و .. بود اما اکنون تاکید بر هزینه‌ها می‌باشد بنابراین شیرهای کنترلی باید از لحاظ هزینه های اولیه و هزینه های تعمیراتی، مناسب باشند ضمن اینکه می‌بایست خواص کنترلی خوبی داشته باشند. پارامترهای ثانویه در انتخاب شیر کنترل شامل نشستی های مجاز، خصوصیات جریانی، دما، لزجت و سایش می‌باشد.

همچنین می‌بایست مساله Noise جریان، محرک یا Actuator مناسب را با توجه به حداکثر اختلاف فشار بین دو طرف شیر (Max. Shut-off Differential Pressure) و نیز موقعیت دهنده شیر یا Positioner مشخص گردند.

مشخص نمودن اندازه شیر کنترل که به آن Valve Sizing اطلاق می‌شود، بستگی به پارامترهای متغیری بنام  $C_v$  دارد. پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه ضریب جریانی که در انتها با مثالی توضیح داده شده است، در استاندارد ISA مشخص شده است. همچنین تعریف این ضریب جریانی در ادامه ذکر شده است. باید دقت نمود که  $C_v$  مربوط به شیر کنترلی (اعم از دستی یا اتوماتیک) می‌باشد و به اشتباه "بنام ضریبی برای جریان" شناخته می‌شود. بر طبق تعریف این ضریب، نشان داده می‌شود که حداکثر دبی که از محلی از خط لوله که مقرر هست شیر کنترلی قرار گیرد، چقدر می‌باشد (زیرا 1 Psi بسیار افت فشار کمی می‌باشد).

### تاریخچه شیر کنترلی

استفاده از شیر کنترل حداقل به زمان رومیان بر می‌گردد، زمانی که آنها از شیرهای سماوری برنزی استفاده می‌کردند ولی استفاده از شیر کنترل اتوماتیک ابتدا توسط جیمز وات در اواخر قرن 18 میلادی انجام شد. وی در ماشین بخار خود جهت کنترل سرعت، از شیرهای کنترل استفاده نمود.

اجداد شیرهای کنترل امروزی در قرن نوزدهم میلادی همزمان با کاربرد بیشتر بخار به بازار، گسترش یافتند. در اواخر قرن نوزدهم رگلاتورهای فشار و ارتفاع به بازار آمدند. در سال 1880، ویلیام فیشر (William Fisher) مهندسی در ایالت آیوای آمریکا در پی راهی جهت کنترل فشار خروجی پمپهای آب آتش‌نشانی بود. با تلاش وی، تنظیم کننده‌هایی (governor) جهت پمپها ساخته شد و پس از آن شرکت Fisher تاسیس گردید. در سال 1907 این تنظیم کننده‌ها در نیروگاههای ایالات متحده، کانادا و انگلیس نصب شدند.

در سال 1882 آقای ویلیام ماسون (William Mason) شرکت "ماسون رگلاتور" را تاسیس نمود. این شرکت در قسمتی از شهر بوستون از ایالت ماساچوست قرار داشت. وی سپس تنظیم کننده‌های دیگری برای کشتی های بخار تولید نمود.

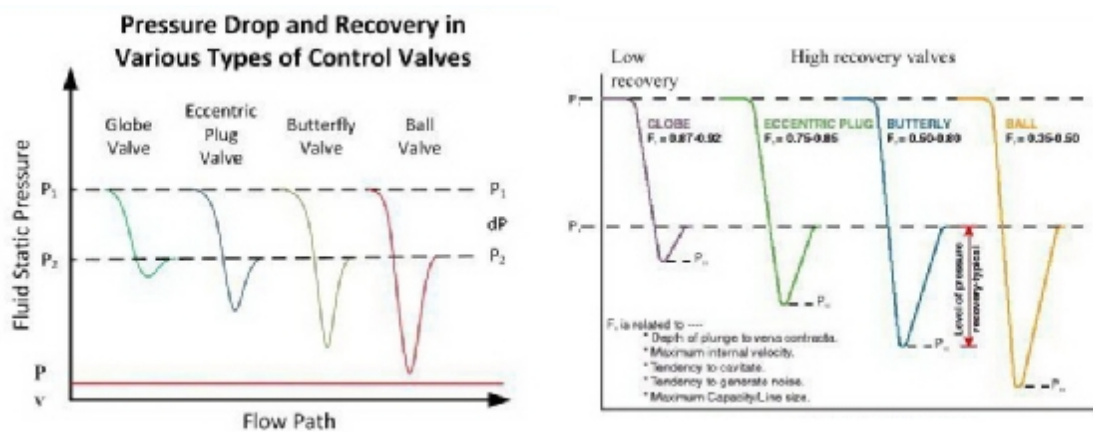
در سال 1890 رگلاتورها در کشتی‌های نیروی دریایی آمریکا مورد استفاده قرار گرفتند. شرکت‌های دیگری نیز در اواخر قرن نوزدهم جهت ساخت شیر کنترل شروع به فعالیت نمودند. با رشد صنایع نفت و گاز نیاز به رگلاتورهای بزرگ بیشتر گردید و بنابراین رگلاتورهای عمل کننده با پایلوت به بازار عرضه شدند. در سالهای 1920 و 1930 شرکت Hanlon-Waters، ابداعاتی در زمینه ساخت شیرهای کنترل بعمل آورد. این شرکت در ایالت اوکلاهامای آمریکا قرار داشت.

تا سال 1930 جهت تعیین سایز شیرهای کنترل از نمودارهای شرکت Fisher استفاده می‌شد تا اینکه آقای Ralph Rockwell و آقای دکتر Mason از شرکت Faxboro فرمولهایی را جهت تعیین اندازه شیرهای کنترل ارایه نمودند. در این فرمولهای اولیه، اثری از Cv نبود.

در سالهای 1943 تا 1945 شرکت National Steam Specialty Club شروع به استاندارد سازی جهت ابعاد شیرهای کنترل (Face-To-Face) نمود. استاندارد سازی نهایتاً بوسیله گروهی متشکل از Paul Elfers از شرکت Fisher و Ralph Rockwell از شرکت Mason-Neilan و .. تکمیل گردید.

اولین نوع شیرهای Rotary در سال 1930 توسط شرکت Mason-Neilan ساخته شد. در سال 1954 شیرهایی از نوع Saunders و پروانه‌ای (Butterfly) تولید شد.

در بین سالهای 1980 تا 1995 شیرهای هوشمند گسترش یافتند. شیرهای هوشمند شیرهایی هستند که از ترانسسمیترهای هوشمند در Positioner های خود، استفاده نموده‌اند.



**شیر کروی (Globe Valve):** یکی از پرکاربردترین شیرهای صنعتی، شیرهای کروی یا Globe می‌باشند که بیشتر برای کنترل جریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد آن برای کنترل و تنظیم جریان سیال، بجهت طراحی شکل بندآور و تغییر جهت حرکت سیال می‌باشد. نام این شیر نیز برگرفته از شکل ظاهری بدنه آن که شبیه یک کره است، می‌باشد. اجزای اساسی این نوع شیر شامل بدنه، درپوش، ساقه، بندآور، نشمین گاه و آب‌بندها می‌باشد. جهت ورود جریان به شیرهای کروی بسیار مهم است. این شیر می‌تواند طوری قرار گیرد که جریان از زیر دیسک وارد شیر شود (انرژی جنبشی سیال مانع از بسته شدن شیر شده و کمک به باز شدن آن نماید) و یا جریان از بالای دیسک وارد گردد؛ که حالت اول جهت اجتناب از احتمال جدا شدن قطعه‌ای از مجموعه ساقه (Stem) و بندآور، برای مواقعی است که شیر بیشتر وظیفه کنترل جریان را داشته باشد و حالت دوم برای مواقعی که بستن سریع جریان مورد نیاز باشد، مفید است. در اینحالت، شیرها برای قطع و وصل کردن جریان و آب بندی کامل، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در هنگام مقایسه بین یک شیر کروی و یک شیر دروازه‌ای، معمولاً نشستی از نشیمنگاه شیر کروی کمتر می‌باشد. انواع آن از لحاظ ساختمانی شامل شیرهای T شکل، شیرهای Y شکل و شیرهای زاویه‌ای است که در ادامه به توضیح آنها می‌پردازیم.

به دلیل کاربردهای فراوانی که این نوع شیرها در صنعت دارند، طراحان دست به تغییراتی در ساختمان آنها زده‌اند تا متناسب با نیاز، استفاده از آنها برای موقعیتهای جدید بهینه شود. این شیرها را می‌توان در سه دسته کلی تقسیم کرد:

### شیرهای T شکل

ساده ترین نوع شیرهای کروی می‌باشند. در این شیرها، سیال برای مواجهه با بندآور 90 درجه تغییر جهت می‌دهد و برای ترک شیر نیز دوباره 90 درجه تغییر جهت می‌دهد. این شیرها با طرح ساده و ابتدایی خود، علی‌رغم افت فشار بالایی که دارند، به دلیل هزینه ساخت پائین، بسیار به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در شرایطی که جریان سیال به ندرت در مسیر برقرار می‌شود، مانند مسیرهای کنارگذر شیرهای کنترل و یا در سرویس‌هایی که افت فشار اهمیت چندانی نداشته و تنها کنترل جریان مد نظر باشد، از این نوع شیرها استفاده می‌شود.

### شیرهای Y شکل

در مواردی که نیاز باشد شیر به مدت طولانی در وضعیت کاملاً باز در سرویس قرار بگیرد، شکل T باعث افت فشار، اتلاف انرژی و فرسایش بدنه می‌شود؛ لذا در این موارد از نوع دیگری از شیرهای کروی با شکل Y استفاده می‌شود. در این طراحی با تغییری مختصر در ساختار شیر، خواص آن به طرز چشم‌گیری بهبود پیدا می‌کند. در حقیقت شکل Y دارای بیشترین ضریب جریان و پائین‌ترین افت فشار در میان مدل‌های مختلف شیر کروی است. در این شیرها، سیال با تغییر زاویه ای کمتر از 90 درجه وارد شده و مجدداً با تغییر زاویه ای کمتر از 90 درجه از شیر خارج می‌شود. از این شیرها در کنترل جریانهای فصلی که شیر در بازه‌های زمانی طولانی باز می‌ماند، یا در زمانهای راه‌اندازی که نیاز به باز بودن شیر به مدت طولانی وجود دارد، به صورت گسترده‌ای استفاده می‌شود. از مزایای دیگر این طراحی این است که در خطوط drain که عموماً بسته‌اند، می‌توان رسوبات شکل گرفته در سمت پائین گذر را به سادگی و با سیخ زدن از شیر خارج کرد.

### شیرهای زاویه‌ای

نوع سوم این شیرها، شیرهایی با ساختار زاویه‌ای می‌باشند. در این شیرها، سیال بدون تغییر جهت وارد شیر می‌شود و با 90 درجه تغییر، شیر را ترک می‌کند. افت فشار در این شیرها، بیشتر از افت فشار شیرهای نوع Y می‌باشد. اما مزیت این گونه شیرها، تغییر 90 درجه‌ای جهت جریان بدون استفاده از زانویی است. همچنین در جریان‌هایی که شدت جریان به شدت و با ضربان تغییر می‌کند، مانند لوله‌هایی که جریان دوفازی دارند یا دائماً هوا می‌گیرند، استفاده از این شیرها بسیار مفید است. چرا که این شیرها به واسطه شکل و ساختارشان به سادگی نیروهای ناشی از ضربات سیال را تحمل می‌کنند.

### نسل اول تا سوم شیرهای کنترلی

طراحان برای حل مشکلات انتقال فشار و نیروی سیال به بندآور و ساقه و توسعه دامنه فشار و اندازه شیر، وارد عمل شده و نسل دوم شیرهای کروی را طراحی نمودند. زیرا در نسل اول این شیرها که جریان سیال از زیر بندآور وارد می‌شود، برای بستن شیر باید نیروی بسیار زیادی به ساقه اعمال کرد که اینکار با بکار بردن **actuator (Hanwheel)** بزرگتر انجام می‌شد که مشکل محدودیت جا، سنگین شدن **actuator** و نیز افزایش زمان باز و بسته کردن شیر را به دنبال داشت.

در نسل دوم این شیرها از دو بندآور و دو نشیمنگاه استفاده شده است. در حالت بسته، از سوی سیال دو نیرو به دو بندآور شیر وارد می‌شود. با توجه به اینکه سطحی که تحت تأثیر فشار سیال سرویس قرار دارد، در دو بندآور تقریباً مساوی است، از سوی سیال دو نیروی مساوی و مختلف‌الجهت به مجموعه بندآورها و ساقه وارد می‌شود که یکدیگر را خنثی کرده و تعادل هیدرولیکی به وجود می‌آید. در نتیجه با نیروی کمی می‌توان شیر را باز و در حالت مخالف، بسته نمود.

مشکل رایجی که در شیرهای نسل دوم وجود داشت، این بود که آنها نمی‌توانستند، جریان سیال را کاملاً قطع و آب‌بندی نمایند. این مسأله در بسیاری از کاربردها یک نقطه ضعف اساسی به شمار می‌رفت. به همین دلیل طراحان در پی رفع این ایراد، نسل سوم شیرهای کروی را ابداع نمودند. در این شیرها، بندآور به شکل یک استوانه است که با کمک یک **cage**، در مسیر حرکت خود به سهولت حرکت می‌کند (در ادامه توضیح بیشتری در مورد آن در قسمت اجزای شیر داده خواهد شد). وظیفه این راهنما جلوگیری از انحراف و لق زدن استوانه مذکور می‌باشد. بدنه این شیرها را می‌توان به سه منطقه تقسیم کرد: منطقه اول، ورودی شیر؛ منطقه دوم، بخش خروجی و در آخر، منطقه موازنه‌کننده فشار قرار دارد. باید توجه داشت که به دلیل وجود

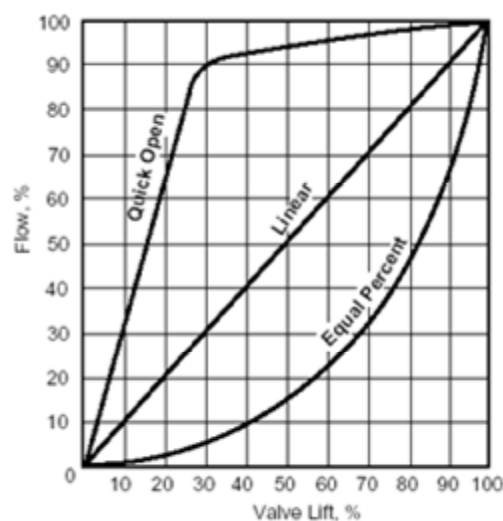
مجراهایی در بندآور، بخش ورودی همیشه با بخش درپوش هم فشار است. در حالتی که شیر بسته است، سیال به واسطه وجود تجهیزات آب بندی در بالا و پایین راهنمای بندآور، به بیرون نشت نخواهد کرد، اما با حرکت بندآور و بالا رفتن آن، مسیر خروج سیال باز شده و سیال جریان پیدا می کند. باز هم به دلیل وجود مجراهای ارتباطی بین بخشهای پایین و بالای بندآور، بالانس هیدرولیکی برقرار بوده و شیر به سادگی باز یا بسته خواهد شد.

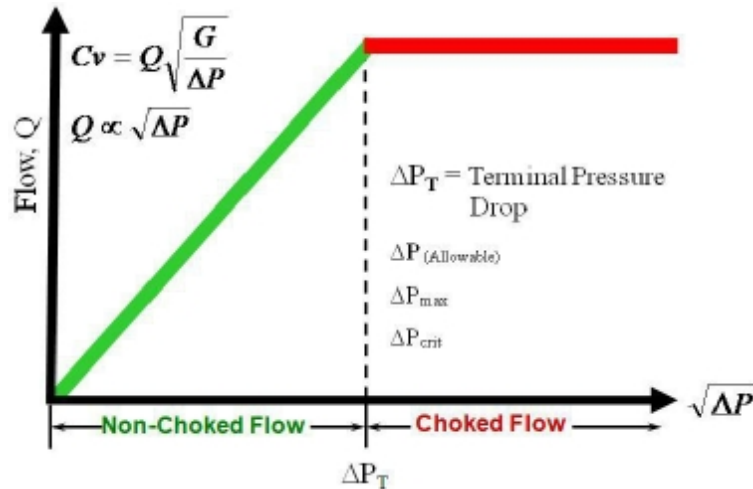
البته برای کنترل های خاص جریانی، از گونه های خاص شیرهای کنترلی مانند V-Port Ball Valve نیز استفاده می گردد.

انواع شیر از لحاظ باز شدن (Flow Characteristics): Quick Opening ، Linear و Equal Percentage . شیر نوع Quick Opening در حرکت های اولیه ساقه (تا حدود 30%)، دبی زیادی را از خود عبور می دهد و در انتهای حرکت ساقه، جریان کمی از شیر عبور می کند. این نوع شیر برای کاربردهای قطع-وصل جریان استفاده می شود که جهت ایجاد سریع دبی بیشینه طراحی شده است. در شیر از نوع Linear نسبت تغییرات حرکت شیر و تغییرات مقدار جریان، بدون توجه به موقعیت بندآور، همیشه یکسان است. بعنوان مثال در موقعیت 20% باز بودن این نوع شیر، 20% جریان را خواهیم داشت. از این نوع شیر در جایی که افت فشار شیر سهم عمده ای از افت فشار کلی سیستم دارد، استفاده می گردد. در شیر از نوع Equal Percentage تغییر در مقدار جریان به ازای تغییر واحد در حرکت شیر، مستقیماً متناسب با مقدار جریانی است که درست قبل از بوجود آمدن تغییر، وجود داشته است. بعبارت دیگر وقتی مقدار جریان کم است، تغییرات کم و وقتی مقدار جریان زیاد است، تغییرات نیز زیاد خواهد بود. عموماً از این نوع شیر در کنترل فشار استفاده می شود.

برای طراحی شیرهای کروی (دستی یا اتوماتیک) و تعیین میزان دبی سیالی که از خود عبور می دهد، یک ضریب جریانی شیر یعنی Valve Flow Coefficient ( $C_v$ ) یا فاکتور جریانی یعنی Flow Factor ( $K_v$ ) تعریف می گردد. تعریف ضریب جریانی شیر به صورت مقدار دبی آب برحسب gal/min در دمای  $60^\circ F$  است که از شیری با افت فشار 1 psi عبور می کند.

مزایای شیر کروی: سرعت نسبتاً بالای واکنش شیر بعلاوه فاصله کمی که بندآور بین حالت باز و بسته طی می کند و نیز سادگی تعمیر آن بدون نیاز به جدا شدن از خط لوله. معایب شیر کروی: اساسی ترین مشکل این شیر، انتقال فشار و نیروی سیال به بندآور و ساقه می باشد.





چوک شدن جریان: این پدیده، یک اثر جریان تراکم‌پذیر بوده که در هنگام عبور یک سیال از یک محدود کننده جریان (مانند گلوگاه یک نازل یا شیر در یک لوله) بوجود می‌آید که دینامیک سیالات و اثر ونتوری (Venturi Effect) با یکدیگر همراه می‌گردند (پارامتر محدود شده یا چوک شده، سرعت سیال می‌باشد). در حالت سرعت پایینتر از سرعت صوت، بعلت عبور سیال از سطح مقطع کوچکتر و با توجه به اصل بقای جرم، سرعت سیال زیاد می‌گردد درحالیکه، در همان زمان، بخاطر اثر ونتوری، فشار استاتیک (به  $P$  در معادله برنولی، فشار استاتیک و به ترم  $\frac{1}{2} \rho v^2$  فشار دینامیکی اطلاق می‌گردد) و در نتیجه دانسیته سیال در پایین دست محدود کننده جریانی کاهش می‌یابد. جریان چوک شده یک حالت حدی می‌باشد که نرخ جریان با کاهش بیشتر در فشار پایین دست، مادامیکه فشار بالادست معین باشد، افزایش نمی‌یابد. در اینحالت دبی جرمی از فشار پایین دست مستقل گردیده و فقط به به دما و فشار و نتیجتاً دانسیته گاز بالادست محدود کننده جریانی، وابستگی پیدا می‌نماید. (در Choke Valve ها که برای محدود نمودن و تنظیم دبی تولیدی از چاههای نفت و گاز، قبل از لوله جریانی، از آنها استفاده می‌گردد، از همین اصل استفاده شده تا دبی تولیدی چاه، مستقل از فشار در پایین دست که همان تاسیسات فراورش است، گردد).

در حالت جریان یا سیال تراکم‌ناپذیر مانند آب یا مایعات، دانسیته ثابت می‌ماند. در اینحالت نوعی دیگر از چوک شدن جریان بوجود می‌آید که درصورت کاهش فشار مایع در پایین دست محدودکننده جریانی به زیر فشار بخار آن در آن دما، پدیده کاویتاسیون رخ می‌دهد. به این ترتیب، تشکیل حبابهای بخار، از افزایش نرخ جریان ممانعت می‌نماید. جریان در زیر حالت جریان چوک، Sub-Critical و بالای آنرا Critical یا بحرانی می‌خوانند.

$$\text{Critical Pressure Ratio} = \frac{P_{critical}}{P} = R_c = \text{---}$$

که

$K = \text{---}$

اگر نسبت  $P_2$  (پایین دست) به  $P_1$  (بالادست) کوچکتر و مساوی  $R_c$  باشد، جریان بحرانی خواهد بود.

برای انتخاب شیر کنترلی با  $G_v$  مناسب، می‌بایست پدیده‌های Flashing و Cavitation در قسمت نشیمنگاه شیر، جایی که فشار به ناگهان افت پیدا می‌کند، را نیز در نظر گرفته و محاسبات آن انجام گیرد:

در پدیده Flashing، فشار استاتیک خروجی، به زیر فشار بخار سیال در دمای عملیات که افت نماید، در همان حالت نگه داشته می‌شود و سیال تبخیر می‌گردد که در اینحالت تجهیز می‌شود مثل شیر کنترلی، بخاطر ساییدگی یا erosion بواسطه سرعت بالای سیال بخاطر انبساط مایع به بخار، دچار آسیب می‌گردد ولی در پدیده کاویتاسیون، بعد از جوشش و تبخیر، فشار استاتیک سیال در پایین دست نقطه Vena Contracta بازیابی شده و بنابراین حباب‌های ایجاد شده، بهم پیوسته و ترکیده و ایجاد Shock Wave کرده که لطمه بسیار جدی تری به تجهیز وارد می‌نماید. برای محاسبه پدیده کاویتاسیون، می‌بایست Cavitation Index را محاسبه نمود که عبارتست از:

$$\text{Cavitation Index} = (P_1 - P_v) / (P_1 - P_2)$$

که  $P_v$  فشار بخار مایع در دمای عملیاتی می‌باشد که معمولاً بصورت زیر احتمال پدیده کاویتاسیون تخمین زده می‌گردد:

Cavitation Index >> 2	کاویتاسیون رخ نمی‌دهد
1.7 < Cavitation Index < 2	نیاز به کنترل کاویتاسیون نمی‌باشد
1.5 < Cavitation Index < 1.7	نیاز به کنترل کاویتاسیون می‌باشد
1 < Cavitation Index < 1.5	پتانسیل برای کاویتاسیون جدی وجود دارد
Cavitation Index << 1	Flashing در حال رخ دادن است

البته روش  $R_c$  هم وجود دارد که اختلاف فشار دو طرف شیر کنترلی را با جمله  $K_m * (P_1 - R_c * P_v)$  مقایسه می‌نماید که  
 $K_m$  = Recovery Coefficient  
 $R_c$  = Critical Pressure Ratio (depending on  $P_v/P_c$ ,  $P_c$  = Absolute Critical Pressure of Fluid)

بطور کلی می‌توان گفت که در انتخاب یک شیر، فاکتورهای زیادی دخیل هستند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- 1- محیط و شرایط محیطی مانند خوردگی، سایش، دما و فشار
- 2- خصوصیات جریان شیر
- 3- اندازه شیر (باید کاملاً با توجه به شرایط فرایندی در نظر گرفته شود)
- 4- کلاس فشاری شیر (باید با شرایط فشار و نیز دمای فرایند مطابقت داشته باشد)

اندکی در مورد کنترل فرایند هم صحبت می‌نماییم:

تعاریف برای شیرهای کنترلی اتوماتیک:

- Set Point (SP): مقدار مقرر یا مطلوب برای متغیر فرایندی که می‌بایست بر روی آن مقدار تنظیم گردد.
- PV (Process Value): مقدار متغیر فرایندی اندازه‌گیری شده مانند فشار یک تفکیک‌گر یا دمای نفت
- OP (OutPut): خروجی کنترلر در زمان  $t$  می‌باشد مانند مقدار باز بودن شیر کنترلی

اغتشاش: تغییری است ناخواسته که در متغیرهای خارجی فرایند، صورت می‌گیرد مانند تغییر دمای محیط که باعث می‌شود تغییرهای خروجی از مقادیر مطلوب انحراف پیدا نمایند.

خطا (error): اختلاف بین SP و PV در هر لحظه

افت کنترل یا خطای ماندگار (offset): خطای حالت پایدار می‌باشد، یعنی اختلاف بین SP و PV، هنگامیکه زمان به بی نهایت میل نماید.

overshoot: مقداری است که متغیر فرایندی از مقدار مقرر در خلال یک تغییر در بار سیستم یا در مقدار مقرر، تجاوز می‌نماید. در واقع همان عکس‌العمل شدید سیستم در لحظه ورود یک تغییر به آن می‌باشد.

زمان مرده (Dead Time): اختلاف زمان بین لحظه وارد شدن اغتشاش و لحظه شروع پاسخ سیستم کنترلی می‌باشد که به آن گاهی delay نیز اطلاق می‌گردد. این زمان مرده به ماهیت فرایند، موقعیت دستگاه‌های اندازه‌گیری و کنترلر کننده‌ها بستگی دارد. زمان انتقال مواد یا انرژی از نقطه‌ای از واحد به نقطه دیگر، اغتشاشات خارجی و لوپهای کنترلی باعث بوجود آمدن این تاخیر در سیستم فرایندی می‌شود.

تاخیر زمانی (Lag Time): میزان زمان بعد از زمان مرده می‌باشد که متغیر فرایندی نیاز دارد تا به 63,3 درصد از مقدار نهایی خود، پس از یک تغییر پله‌ای در موقعیت شیر برسد.

#### کنترل کننده‌های PID(Proportional-Integral-Derivative) :

بصورت خلاصه می‌توان گفت، اگر کنترلی وجود نداشته باشد، مقدار متغیر تا رسیدن به مقدار جدید حالت یکنواخت، افزایش می‌یابد. حال اگر کنترل تناسبی (Proportional Control) وجود داشته باشد، سیستم کنترل قادر است که افزایش متغیر اندازه‌گیری را متوقف نماید و در نهایت، در یک حالت یکنواخت جدید نگاه دارد. اضافه نمودن کنترل انتگرالی باعث حذف افت کنترل (offset) می‌گردد و متغیر اندازه‌گیری شده در نهایت به مقدار معین شده باز می‌گردد. این، مزیت کنترل انتگرالی با زیان بخشی رفتار نوسانی‌تر آن می‌باشد. اضافه نمودن کنترل مشتقی بهبودی خاصی در پاسخ، ایجاد می‌نماید. افزایش متغیر اندازه‌گیری شده، سریعتر و با نوسان کمتر، متوقف می‌شود.

درواقع اگر به پاسخی سریع در مقابل اغتشاش ورودی نیاز باشد یا افت کنترل حالت پایدار مهم نباشد، استفاده از کنترلر فقط تناسبی، مناسب است. بطور کلی افزایش  $k$  تناسبی، باعث کنترل دقیق‌تر و بهتر فرآیند می‌گردد، اما آنرا نمی‌توان نامحدود افزایش داد زیرا افزایش بیشتر از محدوده پایداری، باعث ناپایداری در پاسخ سیستم می‌گردد و با افزایش آن نیز در محدوده پایداری، زمان رسیدن به پاسخ نهایی، کاهش اما نوسان پاسخ افزایش می‌یابد. هنگامیکه وجود خطا نامطلوب باشد، می‌بایست از عمل انتگرال‌گیری برای رفع آن استفاده نمود. نقص عمل انتگرالی افزایش نوسان پاسخ می‌باشد و احتمال ناپایداری در فرایند را نیز افزایش می‌دهد. هرچه این عمل طولانی‌تر باشد، احتمال ناپایداری بیشتر است. اگر پاسخ کنترلر تناسبی-انتگرالی در مقابل اغتشاش به حد کافی نباشد، می‌توان از عمل مشتق‌گیری نیز استفاده نمود تا دوره نوسان پاسخ را کاهش داد. در واقع به این ترتیب با محاسبه مشتق تغییرات، جهت تغییرات خطا نسبت به SP مشخص می‌گردد.

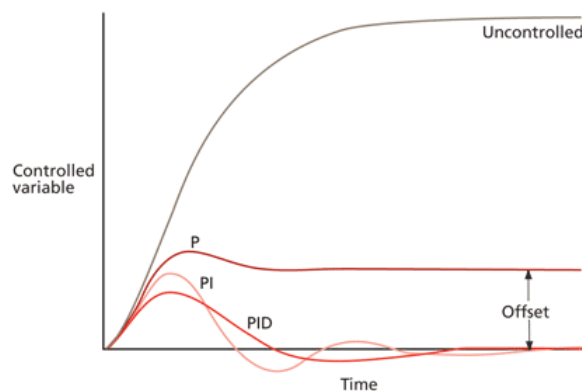
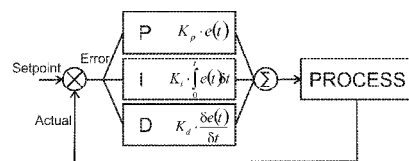
در عمل تناسبی، رابطه‌ای خطی بین ورودی یا خطا و خروجی کنترل‌کننده وجود دارد، در عمل مشتقی، خروجی کنترل‌کننده متناسب با نرخ تغییرات ورودی یا خطا (مشتق خطا نسبت به زمان) نسبت به زمان می‌باشد و در عمل انتگرالی، خروجی کنترل‌کننده متناسب با انتگرال ورودی یا خطا می‌باشد.

روشهای مختلفی جهت تنظیم مدار کنترل کننده PID وجود دارد. معمولاً موثرترین روشها نیازمند توسعه بعضی از حالات مدل فرایندی و سپس انتخاب پارامترهای تناسبی، انتگرالی و مشتقی بر اساس پارامترهای مدل دینامیکی می باشد. روشهای تنظیم دستی، بخصوص برای سیستمهایی با زمانهای مدار طولانی، می تواند نسبتاً زمان بر باشد. انتخاب روش تا حد زیادی تابع اینکه آیا بتوان مدار کنترلی را بصورت **offline** درآورد یا خیر و تابع زمان پاسخ سیستم می باشد. اگر سیستم را بتوان **offline** نمود، اغلب بهترین روش تنظیم، متضمن تحمیل سیستم به یک تغییر پله ای در ورودی، اندازه گیری خروجی بصورت تابعی از زمان و استفاده از این پاسخ جهت تعیین پارامترهای کنترلی می باشد.

روشهای مختلف تنظیم پارامترهای کنترلی عبارتند از: تنظیم دستی، Ziegler-Nichols ، Tyreus-Luyben ، Cohen-Coon و ابزارهای نرم افزاری می باشد که هر یک، مزایا و معایبی دارند.

روشهای کنترلی دیگری نیز وجود دارد مانند MPC (Model Predictive Control) و LQR

کنترل پیش بین یا MPC ، نوعی کنترل پیشرفته فرایند است که از دهه 1980 در صنایع فرایندی در تاسیسات شیمیایی و پالایشگاههای نفت به کار می رود. در سالهای اخیر، این کنترل در مدل های بالانس سیستمهای قدرت نیز به کار رفته است. کنترل کننده های پیش بین، مبتنی بر مدل های دینامیکی فرایند، عمدتاً مدل های خطی تجربی هستند که با شناسایی سیستم به دست آمده اند. این نوع کنترل، توانایی پیش بینی رخداد های آینده و اتخاذ اعمال کنترلی متناسب با آنها را دارد، درحالی که کنترل کننده های PID و LQR این توانایی پیش بینی را ندارند. کنترل پیش بین بطور کلی بصورت یک کنترل دیجیتالی بکار برده می شود.



برای Valve Sizing بایستی تعاریف زیر را کاملاً درک نمود (در مورد تعدادی از آنها قبلاً بحث شد):

### Cavitation :

occurs in liquid service when the pressure in the valve body falls below the vapour pressure of the liquid. The bubbles which are formed will implode immediately or shortly after



leaving the valve, due to the downstream pressure of the control valve recovering to rise above the liquid vapour pressure.

**Choked Flow:**

is a situation in which, for either compressible or incompressible fluids with fixed inlet conditions, decreasing downstream pressure fails to produce further increases in flow rate at a constant valve opening.

**Compressible Fluid:**

is a fluid whose density will decrease by 10% or greater if the pressure drop due to the flow of a gas through a system is large enough relative to the inlet pressure.

**Design Condition:**

is the set of process conditions under which the total plant or part of the plant is calculated, main equipment is ordered, etc.

NOTE: During a plant start-up or shutdown situation, conditions other than design condition may exist.

**Flashing:**

occurs, for liquids only, when the pressure in the valve body falls below the liquid's vapour pressure. The bubbles thus formed remain as vapour in the fluid, owing to the fact that the downstream pressure of the control valve is below the liquid's vapour pressure.

**Flow Coefficient:**

is the flow capacity of a control valve, commonly expressed by the "Cv" factor or "Kv" factor.

\*The  $C_v$  of a control valve is defined as the quantity of water, at 60 °F, in US gallons per minute, that will flow through the valve at a specified travel with a pressure drop of 1 psi.

\*The  $K_v$  of a control valve is defined as the quantity of water in m<sup>3</sup>/h, at a temperature between 5 and 40 °C, that will flow through the valve at a specified travel with a pressure drop of 1 bar.

$$*K_v = 0.856 C_v.$$

Fluid mixture is a mixture of various gases, a mixture of various liquids, a mixture of liquid with a non-associated gas or a mixture of a liquid with its saturated vapour.

NOTE: Other type of mixtures, such as with solids, etc., are not considered.

**Incompressible fluid:**

is a liquid or it is a gas whose density change within the system is less than 10%

مثال :

حالت ساده و برای سیال تراکم ناپذیر آب و حالت بدون چوک شدن جریان را در نظر می‌گیریم:

دمای ورودی = 363 کلوین

$$\text{Density} = 965.4 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Vapour Pressure} = 70.1 \text{ Kpa}$$

$$\text{Critical Pressure} = 22120 \text{ Kpa}$$

$$\text{Kinematic Viscosity} = 3.26 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$$

فشار مطلق ورودی =

680 Kpa

فشار مطلق خروجی =

220 Kpa

$$\text{Flowrate} = 360 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Pipe Size : } D_1=D_2=150 \text{ mm}$$

مشخصات شیر :

Trim= Parabolic Plug

Flow Direction = Flow to Open

Valve Size : D=150 mm

از جدول شماره دو داریم :

Liquid Pressure Recovery Factor,  $F_L = 0.90$

Valve Style Modifier,  $F_d = 0.46$

حل:

برای چنین دبی و سیال آب که از نوع شیر بالا موجود است، بر اساس استاندارد ISA، ضریب جریانی را پیدا می‌نماییم:

نمودار درختی B.1 را در نظر می‌گیریم.

باتوجه مقادیر فشار بخار و فشار بحرانی داریم :

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} = 0.944$$

برای تعیین نوع جریان :

$$F_L^2 (P_1 - F_F \times P_V) = 497.2 \text{ Kpa}$$

که از اختلاف فشار 460 کیلوپاسکال بیشتر بوده و در نتیجه، جریان بصورت non-choked می‌باشد و ضریب جریانی C توسط معادله زیر محاسبه می‌گردد:

$$C = \frac{Q}{N_1} \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_0} \frac{1}{\Delta P}} = 165 \frac{m^3}{h} \text{ for } K_v$$

از جدول شماره 1 برای مقدار  $N_1$  داریم:  $1 \times 10^{-1}$  و نیز با توجه به دبی  $(360 \text{ m}^3/\text{h})$  و نیز اختلاف فشار ورودی و خروجی 460 کیلوپاسکال و  $\frac{\rho_1}{\rho_0} = 0.965$ ، مقدار بالا بدست می‌آید.

برای محاسبه  $Re_v$  (عدد رینولدز شیر کنترلی) داریم:

$$Re_v = \frac{N_4 F_d Q}{v \sqrt{C_i F_L}} \left[ \frac{F_L^2 C_i^2}{N_2 D^4} + 1 \right]^{\frac{1}{4}} = 2.967 \times 10^6$$

که از جدول شماره 1 برای مقادیر  $N_4$  و  $N_2$  داریم:

$$N_2 = 1.60 \times 10^{-3}$$

$$N_4 = 7.07 \times 10^{-2}$$

و نیز با توجه به مقدار  $F_d$  و  $F_L$  و دبی، ویسکوزیته دینامیکی، قطر خط لوله و

$$C_i = C = K_v = 165 \text{ m}^3/\text{h}$$

مقدار عدد رینولدز شیر کنترلی بدست آمد که چون بزرگتر از 10000 می‌باشد، جریان متلاطم بوده و ضریب جریانی یعنی C که محاسبه شده است، صحیح می‌باشد.

بطور کلی، از لحاظ محاسبات می‌بایست برای سه حالت یعنی دبی کمینه، دبی نرمال و دبی بیشینه، سه ضریب جریانی پیدا کرده و به سازنده شیر به همراه اطلاعات شرایط سیال و دبی، اعلام نماییم تا سازنده بتواند شیر کنترلی مناسبی را برای ما بسازد، سازنده از بین شیرهای تولیدی خود، شیری را انتخاب می‌نماید که  $C_v$  آن بین دبی کمینه و بیشینه جریان ما بوده و شیر بین 30 تا 70 درصد حرکت یا Travelling داشته باشد.

در زیر نمونه‌ای از Datasheet شیر کنترلی که توسط اطلاعات شرکت کارفرما یا تقاضا کننده شیر کنترلی و شرکت سازنده پر شده است را مشاهده می‌نمایید (فایل PDF):

### کلاس فشاری شیرهای کنترلی

کلاس فشاری شیرها با کلاس فشاری فلنجهای آنها شناخته می‌شوند. فلنجهای یکی از اتصال دهنده‌های لوله‌ها، شیرآلات و دستگاهها به یکدیگر می‌باشند. فلنجهای بصورت قطعه دیسکی شکل بوده که همیشه بصورت جفت به کمک پیچ و مهره، دو قطعه را به یکدیگر متصل می‌سازند و به آسانی نیز باز می‌گردند. آب بندی بین دو فلنج توسط gasket که در بین آنها قرار داده می‌شود، انجام می‌گیرد.

• دسته بندی از لحاظ تحمل فشار:

- دسته بندی فشار مطابق با استاندارد ASME B16.5 و ASME B16.47 مطابق این استاندارد فلنجهای فولادی و آلیاژهای آن به کلاسهای 150، 300، 400، 600، 900، 1500 و 2500 تقسیم بندی می شوند که با توجه به جنس فلنج و دمای عملیاتی، فشار قابل تحمل برای آن فلنج مذکور از جداول مربوطه بدست می آید. معمولاً فشار کارکرد، حدود 2,4 برابر اعداد فوق می باشد. مثلاً فلنج کلاس 150 از جنس گروه 1,1 مواد، فشار عملیاتی برابر 19.2 barg در دمای عملیاتی 50°C خواهد داشت.

- دسته بندی فشار مطابق با استاندارد ISO

در این استاندارد فشار تحمل فلنجهای فولادی و آلیاژهای آن، با PN نشان داده شده که این بیانگر فشار اسمی بر حسب barg می باشد. بعنوان مثال PN30 یعنی فشار کارکرد فلنج، 30 barg می باشد.

- دسته بندی فشار مطابق با استاندارد API 6A (فلنجهای نوع 6B و 6BX)

این نوع فلنجهای دارای تحمل فشار بیشتری نسبت به فلنجهای گروه ANSI هستند و به کلاسهای 2000، 3000، 5000، 10000، 15000 و 20000 رده بندی می گردند (البته بعضی از کلاسهای فشاری این استاندارد با کلاسهای فشاری استاندارد ASME تطابق دارد).

طبق استاندارد ASME B16.34 که مربوط به شیرهای صنعتی فلنجی، رزوه ای و جوشی می باشد، کلاس فشاری 4500 نیز وجود دارد که مربوط به شیرهای نوع جوشی است.

اجزای شیرهای کنترلی

در شیر کنترلی زیر، که مربوط به شرکت قدرتمند Fisher می باشد، بنده "قطعات اصلی" آنرا مشخص نموده ام:

- Actuator
- Positioner
- Solenoid Valve
- Regulator
- Body
- Trim



## : Actuator

محرک شیر که قسمتی از شیر است که به وسیله جریان الکتریکی، فشار هوا، فشار روغن هیدرولیک و یا نیروی مغناطیسی به عضو مسدودکننده شیر یعنی بندآور، نیرو و حرکت اعمال می‌کند. با حرکت بندآور، جریان سیال تنظیم و یا قطع و وصل می‌گردد. محرکها همانگونه که ذکر گردید، دارای انواع مختلفی هستند. بر اساس استاندارد ISA-S75.05 محرکها شامل :

- Diaphragm Actuators
- Piston Actuators
- Electro-Mechanical Actuators
- Electro-Hydraulic Actuators

می‌باشند.

actuator معمولاً از یک دیافراگم با سطح مقطع مناسب می‌باشد تشکیل یافته است. عضو دیافراگم عضو انعطاف پذیری است که نسبت به فشار اعمال شده به آن واکنش نشان می‌دهد و نیرو را به ساقه یا همان Stem اعمال می‌نماید.

## : Positioner

دستگاه موقعیت دهنده شیر یا Positioner بر اساس موقعیت دهنده شیر یا گردش واسطه (Positioner Deflection) کار می‌کند و دستگاهی است که ساقه را دقیقاً در وضعیت مناسب با سیگنال ارسالی از controller قرار می‌دهد. در شرایطی که ساقه شیر کنترلی به دلایل مختلف محکم و سفت شده باشد و در برابر حرکت مقاومت نشان دهد، Positioner آنقدر فشار هوای دیافراگم را افزایش می‌دهد که ساقه به حرکت درآید. از مزایای این تجهیز، افزایش سرعت عمل شیر کنترلی می‌باشد. بخصوص برای سیستم‌های نیوماتیکی، زمانیکه فرمان از راه دور ارسال می‌گردد و وارد دیافراگم می‌شود، بعلت فشار کم و کندی انتقال پس از مدت زمان طولانی، شیر کنترل عمل می‌نماید اما positioner با ارسال هوا با فشار بالا بر روی دیافراگم، به شیر کنترلی سرعت فرمان عمل می‌دهد.

قطعات اصلی سازنده این دستگاه عبارتند از

- یک دستگاه Bellows که فرمان را از Controller می‌گیرد.

- یک محور Bean یا میله اتصال دهنده که از یک طرف به Bellows و از طرف دیگر از طریق اتصال دهنده (Linkage) به ساقه شیر وصل است.

- یک شیر از نوع Pilot Valve که در نقطه اتکا Fulcrum به میله وصل شده است. فرمان از controller باعث حرکت Bellow می‌شود و حرکت آن باعث می‌شود که Pilot Valve هوا را اضافه کند یا بکشد (از طریق دیافراگم) تا اینکه وضعیت ساقه شیر با فرمان رسیده با هم مطابقت نماید. در این موقع Pilot بحالت معلق باقی می‌ماند. این عمل باعث می‌گردد که حرکت شیر انتهایی و حرکت Bellow با هم متناسب باشند. این سیستم Valve Positioner بنام Positon (Deflection Balance) نامیده می‌شود.

## : Solenoid Valve

معمولاً یک شیر برقی دو مسیره هست، هنگامیکه فرمان یا سیگنال Shut Down برای آن ارسال می‌گردد، مسیر هوای ورودی به actuator را قطع و هوای موجود در روی دیافراگم را تخلیه یا vent می‌نماید. به این ترتیب، شیر کنترلی با توجه به نیروی

فتر و با توجه به نوع کاربرد آن، باز یا بسته می‌شود (مانند یک ESDV یا BDV عمل می‌نماید). این تجهیز برای شیرهای کنترلی تعبیه می‌شود که نقش قطع یا وصل جریان را نیز داشته باشند.

#### : Body

بدنه شیر که اصلی‌ترین قسمتی از شیر است که تحت فشار می‌باشد. این قسمت شامل اتصالات به لوله و مسیر جریان می‌باشد. این قسمت همچنین محل لازم برای Seat & Plug (نشیمنگه و بندآور) را فراهم می‌آورد.

#### : Cage

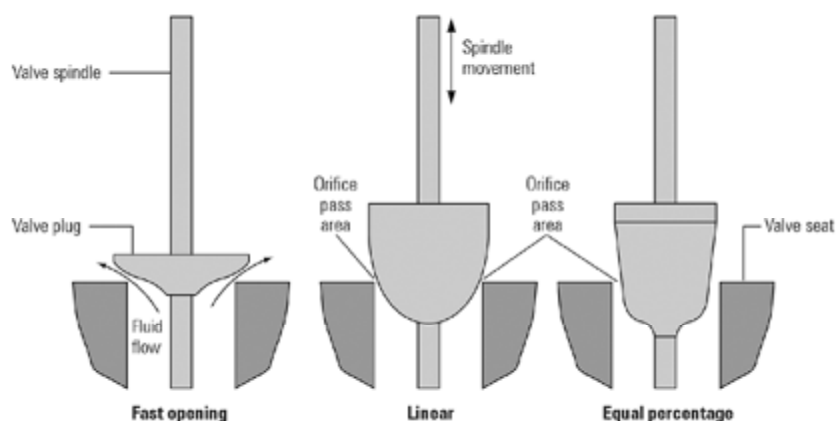
برای شیرهای کنترلی نسل سوم از cage ها و بعنوان Flow Divider استفاده شد که کاربردهای زیادی دارد. این تجهیز، عضوی سیلندر مانند توخالی است که قسمتی Trim شیر محسوب می‌گردد. از این تجهیز می‌توان به عنوان یک هدایت کننده جهت هدایت بندآور بر روی نشیمنگه استفاده نمود. در بعضی از انواع شیرها، cage ممکن است دارای حفره‌ای با اشکال مختلف باشد که خصوصیات جریانی شیر کنترل اعم از Linear ، Opening ، و Equal Percentage ، که در مورد آنها توضیح داده شد، را تعیین نماید. این تجهیز همچنین می‌تواند به عنوان کاهنده سر و صدا یا noise و نیز بعنوان یک وسیله ضد کاویتاسیون استفاده گردد.

و شاید مهمترین نقش آن، هم فشار نمودن دو طرف بندآور باشد برای جاهایی که افت فشار زیاد بوده و Travelling ساقه به سختی انجام می‌شود که با هم فشار شدن دو طرف بندآور، بالا و پایین رفتن برای ساقه آسانتر انجام شده و نتیجتاً به actuator کوچکتری نیاز خواهد بود.

#### : Bonnet

قسمتی از شیر است که ساقه یا Stem در آن حرکت می‌نماید و به عنوان یک هدایت کننده برای ساقه می‌باشد. این پوشش در برگزیده جعبه آب‌بند و آب‌بندها و قطعات داخلی می‌باشد. بعضی از شیرهای مثل شیرهای سماوری یا بعضی شیرهای تویی، این پوشش را ندارند.

انواع Plug یا بندآور برای شیرکنترلی:



انواع Cage برای شیرهای کنترلی و بندآور آنها:



W0958/IL

**QUICK OPENING**



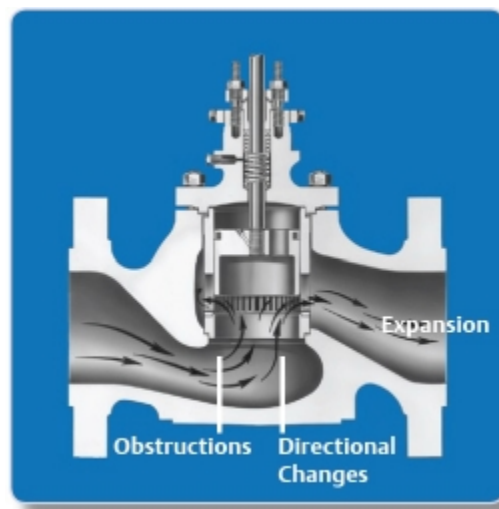
W0959/IL

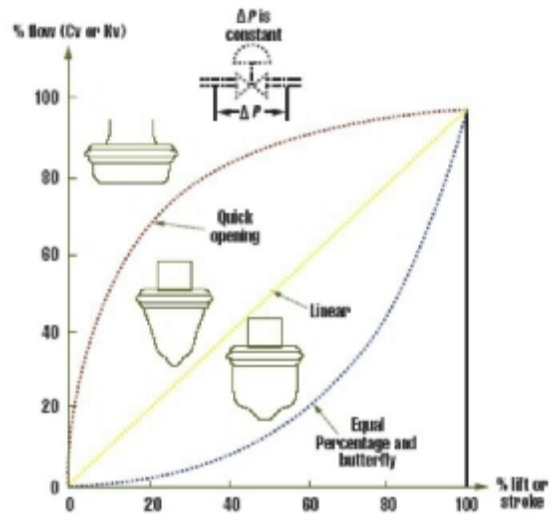
**LINEAR**



W0957/IL

**EQUAL PERCENTAGE**



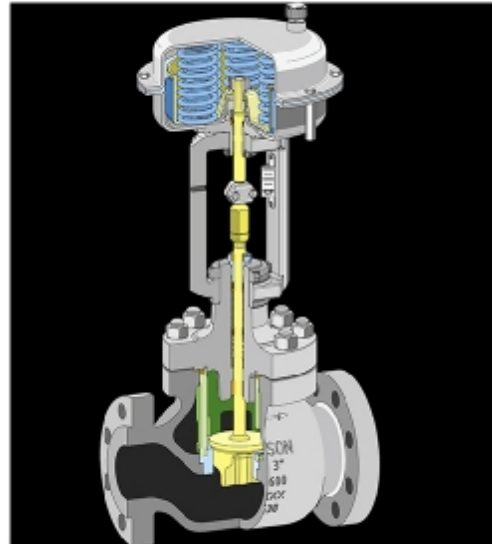
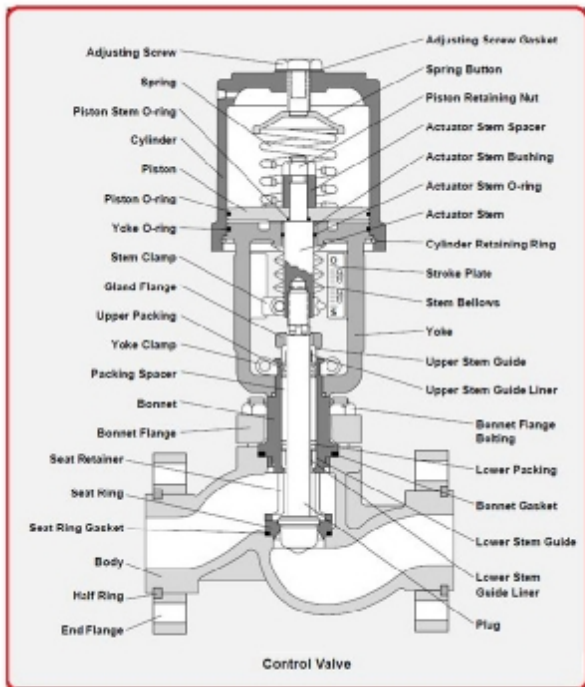


### Trim:

Trim شیر شامل کلیه قطعاتی از شیر است که در تماس با سیال فرایندی می‌باشد، به جز بدنه شیر، Bonnet، فلنج‌های بدنه و Gasket. بنابراین برای یک شیر کروی، Trim شامل بندآور، نشیمنگاه، Guide Bushing و Cage می‌باشد. قسمتهایی از Packing Box هم بعنوان Trim محسوب می‌گردند.



قسمتهای مختلف یک شیر کروی:



### تهیه و تنظیم : امیر حصیمی

### منابع:

- بسته نرم‌افزاری آموزش اپراتور بهره‌برداری مربوط به شرکت ملی صنایع پتروشیمی
- "اصول کار شیرهای کنترلی"، شرکت ره‌آوران فنون پتروشیمی
- یوسفی، "اصول و ساختار ولوها، فلنچ‌ها و گسکت‌ها"، انتشارات اتحاد-جهان‌نو
- رازی‌فر، "طراحی تجهیزات فرایندی"، انتشارات اندیشه‌سرا
- گوهرخی، ترابی، نجفی و شعبانی (1387)، "شبه سازی دینامیکی فرایندهای شیمیایی با نرم‌افزار HYSYS Dynamic 2006"، انتشارات شرکت دانشگران صنعت پژوه

- Flow Equations for Sizing Control Valves(ISA-75.01.01-2007)
- [www.Linkedin.com](http://www.Linkedin.com)
- [www.flowserve.com](http://www.flowserve.com), Flowserve Cavitation Control