



انجمن علمی مهندسی مکانیک

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

موضوع مقاله :

جستاری پیرامون ضربه قوچ

نویسنده :

محسن رنجبر

دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تهران جنوب

سال ورود :

کارشناسی پیوسته 1383

وب سایت رسمی انجمن علمی مهندسی مکانیک تهران جنوب

WWW . TJSME . IR

جستاری پیرامون ضربه قوچ

نویسنده

محسن رنجبر

دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تهران جنوب

ضربه قوچ چیست و چگونه ایجاد می شود؟

ضربه قوچ اصطلاحی است که از زبان فرانسه ترجمه شده است - coup de belier - و معادل انگلیسی آن، چکش آبی - Water Hammer - است که وجه تسمیه این نام گذاری صدای چکش مانند ناشی از این پدیده است. ضربه قوچ از دیدگاه عملی موجی از فشار است که در اثر تغییر ناگهانی دبی جریان در لوله ها ایجاد می شود. دلایل متعددی در بروز این پدیده می توانند نقش داشته باشند. مثلاً در اثر باز یا بسته شدن شیرهای متصل به يك شبکه لوله، چنانچه باز و بسته شدن سریع باعث ایجاد امواج شدیدی می گردد که اختلاف فشار زیادی را ایجاد می کند. همینطور خاموش یا روشن کردن ناگهانی یک پمپ محوری در یک سامانه لوله کشی نیز باعث ایجاد امواج فشاری از نوع تراکمی یا انبساطی می شود مکانیک سیالات حاکم بر ضربه قوچ می گوید که این پدیده يك نوع خاص از جریانهای گذار (Transient) است که در طی آن، تغییر ناگهانی سرعت سیال درون لوله، منجر به بروز و انتشار تغییرات ناگهانی فشار می شود. ضربه قوچ عموماً همراه با ایجاد صوت است. اما همواره چنین نیست یعنی ممکن است ضربه قوچ بدون آنکه صدایی ایجاد کند خسارت سنگینی در حد ترکیدن لوله به بار آورد. اندازه ضربه قوچ بستگی به خصوصیات و سرعت سیال، مدول الاستیسیته لوله، ضخامت لوله، طول خط لوله و شدت تغییر ممنتم سیال دارد. مدول الاستیسیته کم در لوله های فایبر گلاس (مانند لوله های شرکت GRP) باعث توانایی بالایی دفع نیروی موج و کاهش تاثیر موج در سیستم می شود. شدت موج فشاری در لوله های فلزی بخاطر بالا بودن مدول الاستیسیته آنها بیشتر است.

در سال 1898 میلادی دانشمندی روسی به نام ژوکوفسکی (Joukowsky) فرمولی را برای محاسبه حداکثر تغییرات فشار ناشی از تغییرات ناگهانی سرعت پیشنهاد کرد که به فرمول سن پترزبورگ نیز مشهور است، ژوکوفسکی رابطه مورد اشاره با فرضیات زیر ارائه کرد: اولاً؛ نسبت به فشار استاتیکی، تلفات اصطکاکی ناچیز است. دوماً؛ سیال بصورت تکفاز بوده و همراه آن گازی وجود ندارد، سوماً؛ تغییر سرعت سیال در زمانی کوتاه تر از زمان بحرانی ($Tr = 2L/a$) صورت گیرد. با توجه به فرضیات فوق رابطه ژوکوفسکی بصورت ذیل ارائه شد: $\Delta H = (a \times \Delta V) / g$

که در آن ΔH : حداکثر تغییر فشار ناشی از ضربه قوچ (متر)

a سرعت انتشار موج فشاری (متر بر ثانیه)

ΔV تغییرات سرعت سیال (متر بر ثانیه)

g شتاب جاذبه (متر بر مجذور ثانیه)

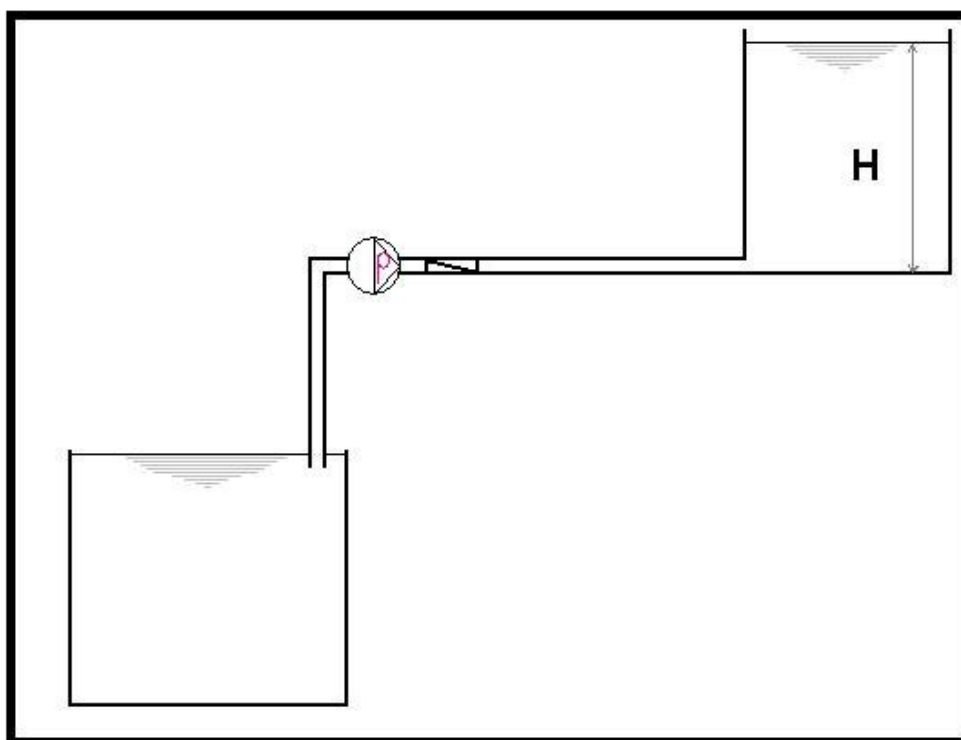
همانطور که مشاهده می شود طول خط لوله، ارتفاع استاتیک و پروفیل طولی خط لوله هیچ تاثیری در بوجود آمدن، افزایش یا کاهش فشار ناشی از ضربه قوچ ندارند. البته این فاکتورها در تعیین نوع، ابعاد و حجم تجهیزات مقابله با ضربه قوچ حائز اهمیت هستند. در اینجا لازم است فاکتور دیگری را موسوم به زمان انعکاس Tr تعریف کنیم:

$Tr = 2L/a$ که در آن Tr (زمان انعکاس) عبارتست از مدت زمانی که موج فشار از نقطه آغاز به انتهای خط لوله رفته و دوباره به نقطه اولیه بازگردد. در ضمن L نیز فاصله بین نقطه ایجاد موج فشاری و نزدیکترین نقطه انعکاس آن است که به کمی اغماض می توان L را طول خط لوله نیز فرض کرد. با توجه به تعاریف فوق مثالی را بررسی می کنیم. در این مثال عکس العمل موج فشار ضربه قوچ در شرایط از کار افتادن ناگهانی پمپ مورد بررسی قرار می گیرد.

از کار افتادن ناگهانی پمپ

شرایط مثال: یک پمپ سانتریفیوژ سیال را از منبعی به سوی مخزنی در بالا دست پمپاژ می کند. بعد از پمپ نیز یک شیر یک طرفه تعبیه شده است.

فرض اولیه: از ممان اینرسی کلیه قطعات در حال دوران (پروانه، کوپلینگ و ...) صرفنظر می کنیم. همینطور فرض می کنیم که سرعت سیال بطور ناگهانی از V به صفر برسد. در شرایط کاری عادی سیستم فشار ثابت H و سرعت سیال V در طول خط لوله ای به طول



L وجود دارد.

زمان $T=0 \text{ sec}$: در این زمان، پمپ نبطور ناگهانی از کار می افتد و سرعت V به صفر می رسد، طبق فرمول ژوکوفسکی افت فشاری معادل ΔH بوجود می آید.

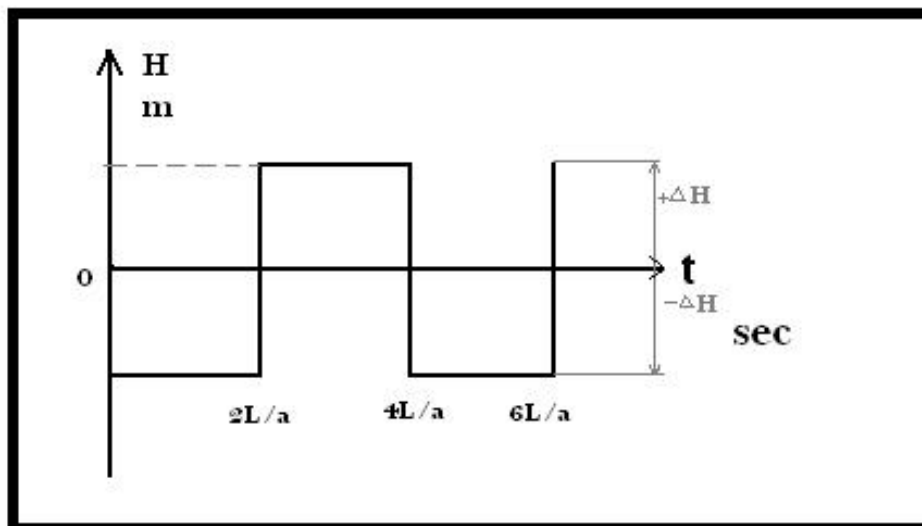
زمان $T=L/2a \text{ sec}$: در این زمان موج فشار ضربه قوچ به نصف راه رسیده است و در جلوی این موج فشار، سیال با سرعت V در جریان است در حالیکه سرعت در عقب موج فشار به مقدار ΔH کاهش یافته است.

زمان $T=L/a \text{ sec}$: در این زمان موج فشار ضربه قوچ به مخزن انتهایی رسیده است. در تمامی خط لوله سرعت آب به صفر رسیده و فشار معادل ΔH کاهش یافته است در مخزن انتهایی کاهش فشار نمی تواند باقی بماند و با فشار H منعکس می شود و به طرف پمپ حرکت می کند.

زمان $T=3L/2a \text{ sec}$: در این زمان موج فشار در نصف راه برگشت از مخزن انتهایی است. در این محل در پشت موج فشار، فشار H و سرعت سیال $-V$ است ولی در جلوی موج فشار، سرعت صفر و فشار $-\Delta H$ است.

زمان $T=Tr=2L/a \text{ sec}$: در این زمان موج فشار به شیر یکطرفه می رسد. تمامی خط لوله در این حالت تحت فشار اولیه H قرار دارد، اما سرعت جریان سیال $-V$ و به طرف پمپ است. در این حالت موج فشار از شیر یکطرفه بصورت موج فشار مثبت انتشار می یابد و این سیکل مانند آنچه که ذکر شد مجددا ادامه می آید ولی این بار با فشار مثبت.

زمان $T=2Tr=4L/a \text{ sec}$: بعد از این زمان یک سیکل کامل به پایان رسیده و سیکل

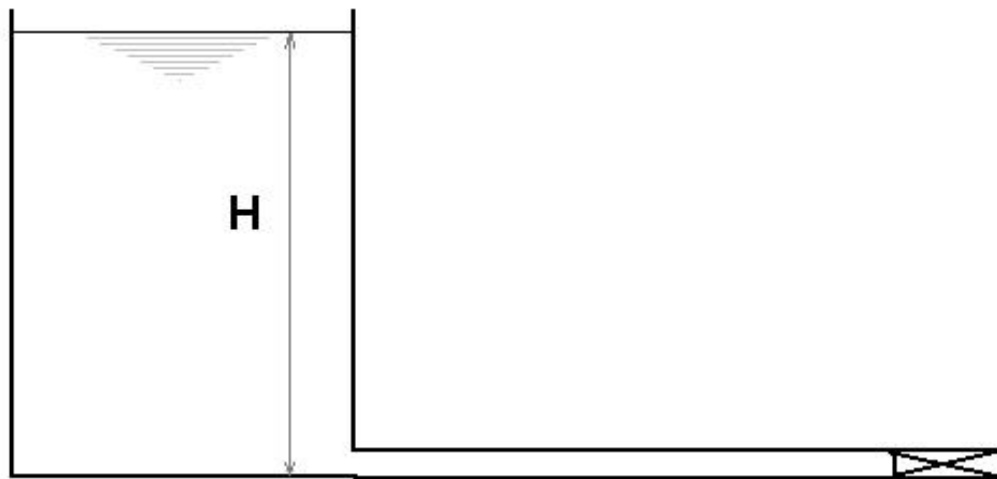


منحنی فشار نسبت به زمان در شروع خط لوله پمپاژ

جدید شروع می شود.

بستن آبی یک شیر

شرایط مثال: یک مخزن در ابتدای خط و یک شیر دروازه ای در انتهای خط قرار دارد.



وقتی که یک شیر بطور آبی بسته می شود، مایع پیش رونده با شیر برخورد می کند و متوقف می شود. این مایع سپس توسط مایعی که در خلاف جهت می آید و هنوز جریان دارد فشرده می شود. این فشار باعث افزایش فشار محلی جریان می شود. نتیجه این فشار اضافی این است که دیواره های لوله در اطراف جریان کش می آیند. سپس یک واکنش زنجیره ای در امتداد لوله روی می دهد، هر عنصر ساکن جریان بوسیله موج جریان مخالف فشرده می شود. اثرات واکنش زنجیره ای با یک موج فشاری، طول لوله را با سرعت a می پیماید که از معادله مقابل بدست داده می شود. $a = (E_v \div \{ \rho [1 + (D/t)(E_v/E)] \})^{1/2}$ که در معادله فوق؛ a سرعت موج فشاری بر حسب متر بر ثانیه (سرعت انتقال تغییر فشار در طول لوله)

E_v مدول حجمی سیال (برای آب $E_v = 2.2 \text{ Gpa}$)

E مدول الاستیسیته لوله (برای فولاد $E = 230 \text{ Gpa}$ و برای پی وی سی $E = 3.3 \text{ Gpa}$)

D قطر لوله بر حسب میلیمتر

t ضخامت لوله بر حسب میلیمتر است.

بطور مثال برای یک لوله فولادی منتقل کننده آب به قطر 200 میلیمتر و ضخامت 15 میلیمتر، سرعت انتشار موج فشار 1396.8 متر بر ثانیه است و اگر جنس لوله پی وی سی باشد سرعت 471.7 متر بر ثانیه خواهد شد.

مدت زمانی که موج فشار فاصله بین شیر و مخزن را می رود و برمی گردد نیز از معادله

$$T_r = 2L \div a$$

مثلا برای نمونه فوق اگر طول خط لوله 5 کیلومتر باشد، مدت زمان رفت و برگشت موج فشار برای لوله فولادی 7.159 ثانیه و برای لوله پی وی سی 21.9 ثانیه خواهد بود.

با بستن سریع یا ناگهانی شیر، فشار ناشی از ضربه قوچ به حد اضافه می شود. به این فشار

ناشی از ضربه قوچ P_h گفته می شود که از رابطه ذیل بدست می آید: $P_h = \rho a V$

حال اگر شیر بطور آهسته – نه ناگهانی- بسته شود، افزایش فشار (P_h) ناچیز خواهد بود

$$P_h \approx 2LpV \div t_c$$

که در آن t_c مدت زمان بستن شیر است.

در عمل هیچگاه نمی توان یک شیر را بطور آنی بست. در واقع برای بستن یک شیر – هر قدر هم سریع- به مدت زمانی برای بسته شدن کامل آن نیاز است که این موضوع در شیرهای بزرگ واضح تر است، البته این بدین معنی نیست که این شیرها از خطر ضربه قوچ در امان هستند.

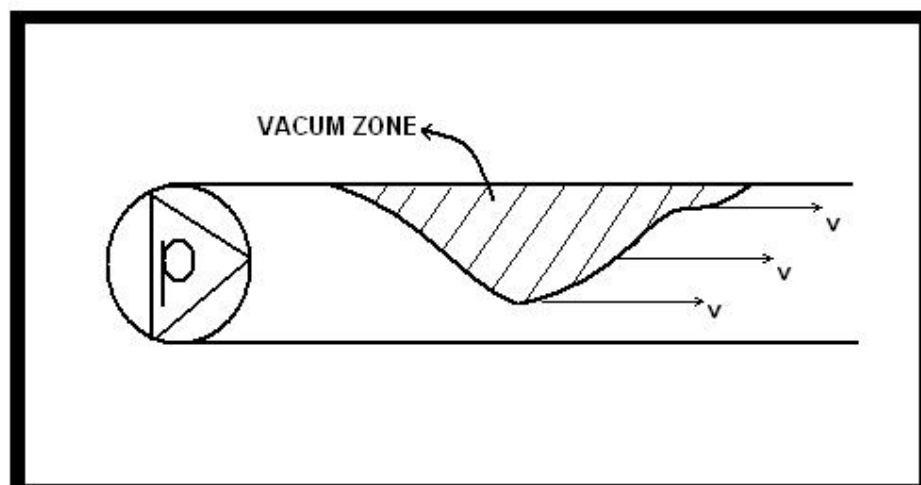
اگر t_c کوچکتر از $a \div 2L$ باشد افزایش فشار ناشی از بسته شدن شیر در حالت "بسته شدن سریع" به حالت "بسته شدن آنی" نزدیک می شود و اصطلاحاً می گویند شیر "به سرعت" بسته شده است و در مقابل اگر t_c بزرگتر از $a \div 2L$ باشد می گویند شیر "به آهستگی" بسته شده است.

علل بروز ضربه قوچ

چنانچه گفته شد تغییر سرعت باعث ایجاد موج فشار در خطوط لوله می شود و این تغییر سرعت در ایستگاههای پمپاژ به دلایل زیر ممکن است اتفاق بیافتد:

روشن کردن یک یا چند پمپ – خاموش کردن یا از کار افتادن ناگهانی یک یا چند پمپ – تغییر تنظیم شیرها یا بسته شدن ناگهانی شیرها – تغییر سرعت دورانی پمپ یا پمپ ها (در سیستم های دور متغییر) – پر کردن غیر اصولی خط لوله – استفاده از شیرهای یکطرفه نامناسب ، البته علت آخری، نوعی عامل تشدید کننده ضربه قوچ (و نه به وجود آورنده آن) است. بدین صورت که شیرهای یکطرفه ای که نتوانند سریع (قبل از معکوس شدن جریان در خط لوله) بسته شوند باعث تشدید ضربه قوچ شده و بروز پدیده کوبیده شدن دیسک شیرهای یکطرفه (Slamming effect) به همین دلیل است که صدا و ضربه شدیدی را بدنبال خواهد داشت.

از کار افتادن ناگهانی پمپ می تواند منجر به پدیده ای به نام گسیختگی ممتد (Extended Cavitation) شود. در برخی منابع نام این پدیده ، جدایش ستون سیال (Fluid Separation Column) نیز نامیده شده است. این حالت زمانی اتفاق می افتد که بعد از خاموش شدن ناگهانی پمپ، موج فشار منفی آنچنان باعث کاهش فشار در قسمت پشت



گسیختگی ممتد به هنگام از کار افتادن ناگهانی پمپ

بطور مثال افزایش فشار ناشی از خاموش شدن ناگهانی پمپ در خط لوله ای که سرعت آب در آن 2 m/s است به شرط آنکه ستون آب گسیخته نشود مطابق فرمول ژوکوفسکی 200 متر ستون آب خواهد بود.

$$\Delta H = (a \times \Delta V) / g = (1000 \times 2) / 9.81 = 200m$$

اما اگر ستون آب بطور مثال H=10m از هم گسیخته شود، تغییرات سرعت بجای 2m/s برابر است با :

$$\Delta V$$

$$\Delta H = (a \times \Delta V) / g = (1000 \times 14) / 9.81 = 1427$$

در نتیجه :

یعنی در این حالت افزایش فشار برابر با 1427 متر ستون آب (1427/7 بار) خواهد بود. درباره پر کردن غیر اصولی خط لوله باید گفت؛ در هنگام پر کردن خطوط لوله چون مقاومت کمی در مقابل پمپ وجود دارد مقدار آبدی پمپ ماکزیمم است. در این حالت اگر شیر نیم بسته در خط لوله باشد یا جسم خارجی (بعلت تمیز نکردن خط لوله قبل از پر کردن) وجود داشته باشد، هوای موجود در لوله با سرعت زیاد از شیر هوا تخلیه می شود که این امر منجر به افزایش سرعت سیالی می شود که در پشت توده هوا در حال حرکت است و این افزایش سرعت تا آنجا ادامه می یابد که کل هوا تخلیه شود، حال بعد از تخلیه آخرین حباب هوا سرعت سیال بطور ناگهانی کاهش می یابد (چون سیال نمی تواند به سهولت سرعت هوا از شیر خارج شود) و این تغییر ناگهانی سرعت منجر به ضربه قوچ خواهد شد.

راه اندازی پمپ های محوری نیز می توان باعث بروز ضربه شود. بدین صورت که بر خلاف پمپ های سانتریفیوژ ، شیر یکطرفه نمی تواند بلافاصله بعد از پمپ قرار بگیرد و عموماً قبل از شیر یکطرفه، یک شیر خلاء (Vacuum Valve) برای خروج هوا نصب می شود. حال در نظر بگیرد که پمپ محوری را راه اندازی کرده ایم، به مجرد اینکه آخرین حباب هوا از شیر خلاء(هوا) تخلیه شود تغییر سرعت بزرگی در جریان سیال روی می دهد که ضربه قوچ را در پی دارد. اگر در این موارد از شیر خلاء استفاده نکنیم هوای موجود بین پمپ و شیر یکطرفه آنقدر فشرده می شود تا فشار آن بیشتر از فشار استاتیک بعد از شیر یکطرفه بشود، در این موقع، شیر یکطرفه با صدا و ضربه بسیار شدیدی باز می شود. بنابراین بهتر آن است که در این موارد از شیرهای کنترلر پمپ (مخصوص پمپ های محوری) بجای شیر خلاء استفاده شود.

سامانه های درگیر در پدیده ضربه قوچ

کانال های انتقال آب که تحت فشار هستند یکی از این سامانه ها هستند زیرا جداره های کانال های سرپوشیده (تونل) بوسیله ضربه قوچ تخریب می شوند. البته خرابی پوشش تونلهای انتقال آب یکی از مباحث مربوط به سازه های هیدرولیکی در مهندسی عمران است. کلیه تجهیزاتی که بخار یا مایع تحت فشار را منتقل می کنند در معرض این پدیده هستند. که می توان به اتصالات، لوله ها، تله های بخار، تخلیه کننده ها (Vents) و نیز پمپ های پره ای اشاره کرد، بطور مشخص درباره چگونگی ایجاد ضربه قوچ بوسیله پمپ های پره ای باید گفت در هنگام قطع ناگهانی جریان برق، نیروی شافت گرداننده پره ها به بطور ناگهانی رو به صفر می رود و این روند منجر به ایجاد یک حالت مکش در خروجی پمپ می شود. همین افت ناگهانی فشار، بصورت موجی از فشار (مکنده) در طول مسیر لوله کشی پیش می رود و با رسیدن به یک منبع از سیال، مسیر رفته را بازمی گردد که ممکن است این اتفاق چندین بار ادامه پیدا می کند و باعث ایجاد موج های جدید شود که بعد از پیشروی در طول لوله با برخورد به مانعی مانند شیر یکطرفه یا منبع سیال به همان شکل اولیه یا به شکلی دیگر بازمی گردد که ممکن است منجر به ترکیدگی پوسته پمپ نیز بشود.

در توضیح شکل موج فشاری بازگشتی باید گفت موج رفت را اصطلاحاً موج انبساطی می گویند که در حین خاموش کردن پمپ ایجاد می شود که اگر به مانع نرمی مانند منبع سیال یا هوا برخورد کند به همان صورت بازمی گردد و اگر با مانع سختی مانند دیوار یا شیر یکطرفه برخورد کند بصورت موج فشاری تراکمی باز می گردد. این پدیده در حین استارت پمپ نیز بوجود می آید که موج فشاری ایجاد شده در آن، از نوع تراکمی است البته ضربه قوچ ناشی از آن، کمتر از ضربه قوچ هنگام خاموش شدن پمپ است. در سامانه های بخار در مواقعی که تبادل حرارت می کند (مثلاً در مبدل ها)، ممکن است مقداری از بخار داخل لوله ها، با از دست دادن حرارت، به مایع تبدیل شده و در قسمت های افقی خطوط لوله جمع شود، از سوی دیگر بخار با سرعت نسبتاً بالا از کنار قطرات مایع می گذرد و در نهایت به این قطرات (کندانسه) که به توده ای قابل توجه از مایع تبدیل شده اند- سرعت می دهد و آن را مانند ضربات متوالی چکش به اولین زانویی یا Tee یا هر انحراف مسیر دیگری که بر سر راه باشد می کوبد که ممکن است منجر به شکستن خط لوله از محل زانویی یا از محل دیگری شود. آسیب دیگری که ضربه قوچ به تجهیزات مرتبط با بخار می زند مربوط به تله بخارهای شناور و تله بخارهای ترموستاتیکی فشار متعادل است که بر اثر افزایش ناگهانی فشار- عموماً در فشارهای بالاتر از 200psi- مکانیسم عملکردی شان صدمه می بیند. بدین صورت که این ضربه باعث نامیزانی سطوح آب بندی (شیر و نشیمنگاه) یا پارگی یا تغییر شکل شناور یا فانوسی تله ترموستاتیک می شود. ضربه قوچ معمولاً پدیده مخربی بوده و در شبکه های لوله کشی باعث ایجاد خسارت و شکستگی می گردد. در خطوط انتقال آب، ایستگاه های پمپاژ و تأسیسات نیروگاه های برق آبی (توربین و خط انتقال آن) نیز این پدیده مورد توجه است.

نرم افزارهای محاسبه کننده اندازه ضربه قوچ

اکثر نرم افزارهای محاسبه کننده و شبیه ساز در زمینه ضربه قوچ از روش اجزاء محدود استفاده می کنند. در کل چندین مدل محاسباتی در این باره موجود است که از این میان می توان به مدل **quasi-steady** و مدل بسط چند جمله ای پروفیل سرعت و حل کمترین مربعات بوسیله الگوریتم **ABS** اشاره کرد. مدل اول که به عنوان مرسوم ترین روش برای محاسبات ضربه قوچ مورد استفاده قرار گرفته و اساس اکثر نرم افزار موجود در این زمینه است البته دارای نقاط ضعفی است که این ضعف عمدتاً مربوط به نوع نگرش به اصطکاک جدار لوله میباشد. در مدل **quasi-steady** تنش برشی در جدار جریان گذرا همانند تنش برشی در جریان دائمی فرض می شود و در محاسبات از یک نوع سرعت که همان سرعت متوسط جریان درون لوله است استفاده می شود ولی در مدل بسط چند جمله ای پروفیل سرعت، که بوسیله پرادو پیشنهاد شده -که می توان آنرا مدل اصطکاکی تنش برشی گذرا نیز نامید- علاوه بر اینکه در تنش برشی، گذرا بودن جریان لحاظ شده، بجای سرعت متوسط از پارامتر جدیدی بنام سرعت متوسط وزنی استفاده شده و پروفیل سرعت بصورت یک چند جمله ای عددی بسط داده شده که این عمل باعث افزایش دقت محاسبات گردیده است. در ادامه یکی از اولین و ساده ترین نرم افزارهای را که در زمینه عرضه شده است معرفی می کنم.

معرفی نرم افزار HAMMER

نرم افزار **HAMMER** برنامه ای است که اثرات ضربه قوچ را در یک مخزن و سامانه لوله کشی که دارای یک شیر در پایین دست جریان است (که توسط کاربر باز و بسته می شود) شبیه سازی می کند. این نرم افزار حاصل کار گروه سامانه های آب شهری دانشکده مهندسی عمران دانشگاه فن آوری کوئینزلند (استرالیا) به سرپرستی دکتر گراهام جنکینز در سال 1996 است. این نرم افزار، معادلات دیفرانسیل جریان گذرا در یک خط لوله ساده با یک مخزن در انتهای بالا دست و یک شیر در انتهای پایین دست را حل می کند. هدف نرم افزار فراهم کردن یک توضیح (نمایش) برای اثرات ضربه قوچ در یک سامانه ساده لوله و مخزن و شیر است. در حل معادلات دیفرانسیل از "روش مشخصه ها" استفاده شده است. رویه حل اتخاذ شده در برنامه، مبتنی بر یک روش تشریح شده توسط ویکتور ال-استریتز و ای-بنجامین وایلی (مکانیک سیالات، ویرایش اول SI، انتشارات مک گرو هیل، 1983) است. بحث کامل پدیده ضربه قوچ، قسمت معادلات دیفرانسیل، حل به "روش مشخصه ها" و شرایط مرزی در قسمت های 12.4 تا 12.8 منبع آمده است. در حالت محاسباتی خط لوله به 19 گره تقسیم شده که هر یک بطور مساوی در طول خط لوله قرار گرفته اند. در انتهای هر خط لوله نیز یک گره قرار دارد. در بالای دست، گره مخزن شرایط مرزی را مشخص می کند و در پایین دست گره شیر شرایط مرزی را معین می کند، بنابراین خط لوله به 20 قسمت مساوی از لوله تقسیم می شود. در حل "روش مشخصه ها" رویه گام زمانی بدین

راهکارهای محافظتی در مواجهه با پدیده ضربه قوچ

جهت محافظت تاسیسات خط لوله و پمپاژ در مقابل اثرات مخرب پدیده ضربه قوچ روشهای مختلفی وجود دارد. از هر روشی که برای کنترل این اثرات استفاده شود موضوعی که اساسی جلوه می کند اینست که تدابیر لازمه طوری مهیا گردند که تغییر رژیم جریان در شبکه لوله کشی به آهستگی و در مدت زمان طولانی صورت گیرد. برای رسیدن به این هدف دو راه اساسی وجود دارد:

الف- دخالت مستقیم در سیستم دستگاه پمپ و استفاده از وسایل مکانیکی مانند استفاده از چرخ طیار به منظور بالا بردن گشتاور اینرسی قطعات چرخنده
ب- تغییر حجم سیالی که در شبکه لوله کشی جریان دارد، مانند استفاده از مخزن هوا یا منابع دیافراگمی و ...

کلیه روشهای مختلف از نظر عملکرد در سه گروه طبقه بندی می شوند:

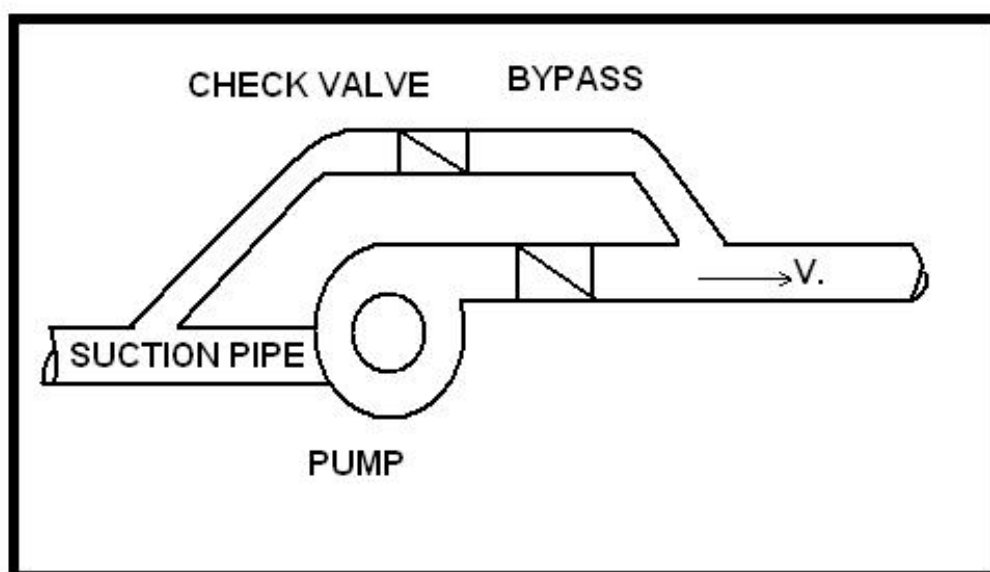
- 1- روشهای جلوگیری در مواردی که موج کم فشار باعث آسیب می شود.
- 2- روشهای جلوگیری در مواردی که موج پر فشار باعث آسیب می شود.
- 3- روشهای جلوگیری در مواردی که هم موج پر فشار و هم موج کم فشار باعث آسیب می شود.

اساس روشهایی جلوگیری از زیان ناشی از موج کم فشار، تغذیه شبکه لوله بوسیله سیال است که از تغییر سریع اندازه حرکت (مومنتم) ستون آب در لوله جلوگیری می کند. اساس روش های جلوگیری از زیان ناشی از موج پر فشار، تخلیه کردن کردن شبکه لوله از سیال است که از تغییر اندازه حرکت (مومنتم) ستون آب جلوگیری می کند. و در نهایت اساس روشهای جلوگیری از زیان ناشی از موج های کم فشار و پر فشار (توامان) استفاده از تجهیزاتی است که بتواند در مواقع مورد لزوم، سیال را تخلیه یا تزریق نماید. مانند مخازن سرج دو طرفه

- روش استفاده از چرخ طیار (Fly Wheel): یکی از روشهای جلوگیری از تغییر ناگهانی سرعت (دبی)، افزایش ممان اینرسی قطعات چرخنده موتور پمپ است. این روش در ایستگاههای پمپاژ کوچک و با صرف هزینه کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.

- انتخاب قطر زیاد لوله رانش (Discharge Pipe): با توجه به رابطه ژوکوفسکی چون میزان تغییرات سرعت با تغییرات فشار رابطه مستقیم دارد، اگر قطر لوله رانش بزرگتر انتخاب شود، تغییرات سرعت کمتر و تغییرات فشار نیز کمتر خواهد بود.

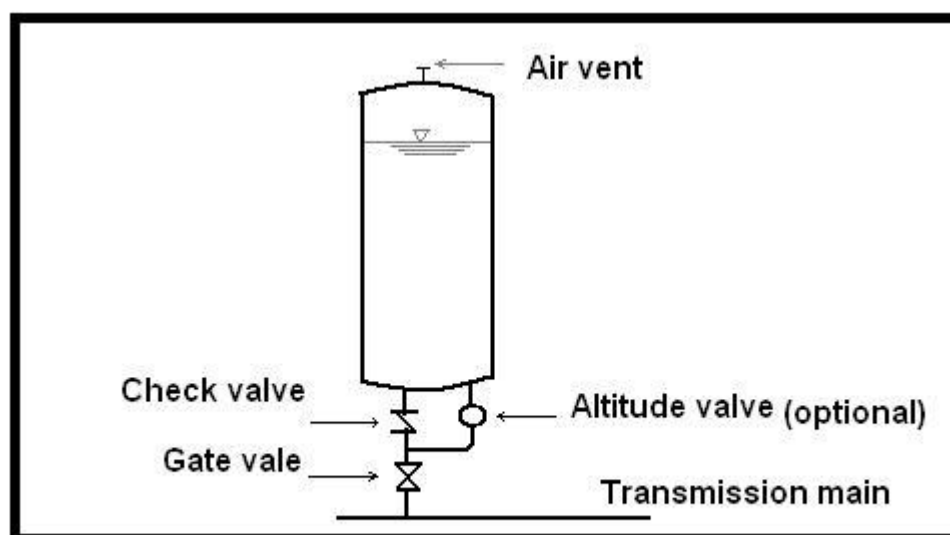
- نصب لوله کنار گذر (Bypass Pipe) : نصب لوله کنار گذر پمپ همراه با شیر یکطرفه به منظور تزریق سیال به خط لوله و برای جلوگیری از تغییرات سریع رژیم جریان است. بدین صورت که وقتی پمپ روشن است در اثر فشار پمپ در قسمت رانش آن، شیر یکطرفه لوله کنار گذر بسته است. موقعی که پمپ خاموش شود اگر فشار در لوله رانش بیش از حد کاهش یابد (یعنی پمپ بطور ناگهانی خاموش شده باشد) بطوریکه از فشار قسمت مکش نیز کمتر شود، شیر یکطرفه لوله کنار گذر باز شده و مقداری از سیال از لوله مکش به لوله رانش وارد می شود و از کاهش بیش از حد فشار در لوله رانش جلوگیری می کند.



کاربرد لوله کنار گذر همراه با شیر یکطرفه

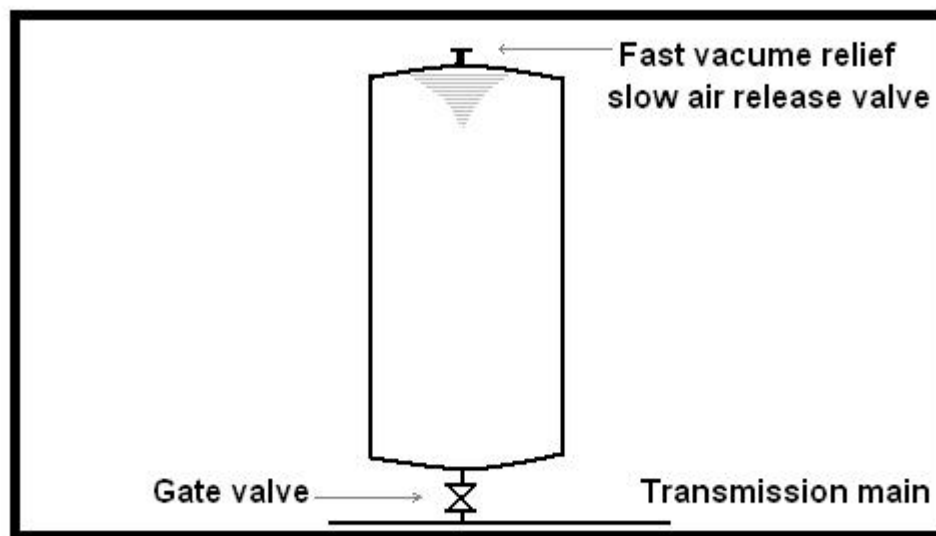
یکی از موارد مهم کاربرد لوله کنار گذر، در بوستر پمپ هاست. وقتی که بوستر پمپ خاموش می شود در لوله مکش پمپ، فشار بشدت افزایش می یابد. بنابراین با استفاده از یک لوله کنار گذر مجهز به شیر یک طرفه که مقداری از آب قسمت مکش بوستر پمپ را به قسمت رانش آن هدایت می کند می توان از افزایش فشار بیش از حد قسمت مکش کاست.

- مخزن سرج یک طرفه (One Way Surge Tank) : این مخزن برای جلوگیری از



شمای یک مخزن سرج یکطرفه

- **مخزن سرچ دو طرفه (Two Way Surge Tank) :** این مخزن برای کنترل اموج پر فشار و کم فشار در خط لوله رانش بکار می رود و از افزایش یا کاهش بیش از حد خط لوله جلوگیری می کند. فرق آن نیز با مخزن سرچ یک طرفه نیز در عدم وجود شیر یکطرفه در آن است. این مخزن معمولا در محلی که ارتفاع خط شیب هیدرولیکی نسبت به خط لوله زیاد



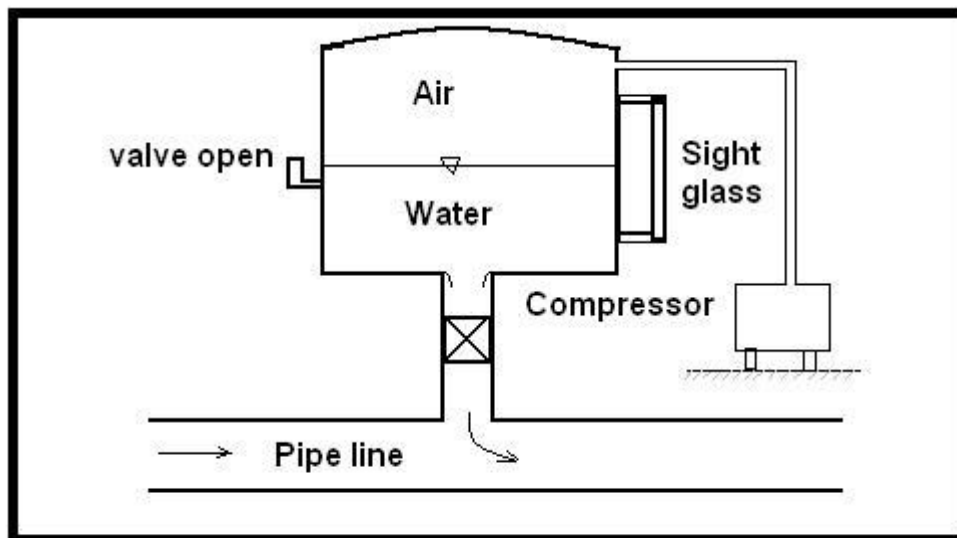
شمای یک مخزن سرچ دو طرفه

نباشد بکار می رود.

در سیستم های انتقال آب، می توان با اتخاذ تدابیری از قبیل انتخاب شیرهای یکطرفه مناسب، بستن و باز کردن شیرها در خروجی پمپ ها بصورت کاملا آرام (برای مینیم کردن تغییرات فشار) است. نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد آنکه قبل از روشن کردن یک پمپ، باید شیر خروجی بسته باشد و بعد از استارت زدن آرام آرام باز شود، همینطور قبل از خاموش کردن پمپ، ابتدا باید شیر خروجی به آرامی بسته شود و سپس پمپ خاموش شود.

- **نصب مخزن هوا (Air vassel) :** مخازن هوا در واقع نوعی از مخازن سرچ دو طرفه هستند با این تفاوت که بعلت تحت فشار قرار گرفتن می توانند در اندازه های کوچکتر و در داخل ایستگاه پمپاژ نصب شوند. این مخازن محفظه ای نسبتا کوچک هستند که هوای فشرده در بالا و آب در پایین قرار می گیرد. طراحی و انتخاب حجم مخازن هوا باید بطور دقیق انجام بگیرد. اندازه مخازن نباید آنقدر کوچک باشد که به هنگام پریود تقلیل فشار، به سرعت

خالی شده و سبب ورود هوا به داخل خط لوله گردد. همچنین حجم هوای بالای محفظه باید به اندازه ای انتخاب شود که هنگام تخلیه آب مخزن به لوله، تغییرات فشار هوا زیاد نباشد.



شمای یک محفظه هوا همراه با تجهیزات مربوطه

چنانچه این حجم کوچک انتخاب شود، تغییرات فشار آن زیاد بوده و عملاً کمکی به کنترل کاهش و افزایش فشار نخواهد کرد. از سوی دیگر حجم بزرگ مخزن نیز باعث بالا رفتن هزینه تاسیسات خواهد شد.

بطور کلی تغییرات فشار هوای موجود در محفظه هوا، بستگی به حجم اولیه هوا، مقدار آب تخلیه شده و نحوه تحول ترمودینامیکی هوای محفظه دارد. معمولاً این تغییرات را در محاسبات بصورت پلی تروپیک ($PV^n = cte$) فرض نموده و توان n را بین $1/2$ تا $1/4$ انتخاب می کنند. برای بهبود تاثیر این مخازن بعنوان یک میرا کننده نوسانات فشار، از وسایل ایجاد کننده افت موضعی در دهانه مخزن استفاده می شود. تجربه نشان داده است که اگر میزان افت انرژی سیال در مسیر برگشت آن به داخل مخزن هوا، بیش از مقدار افت فشار در جهت خرنج سیال از مخزن هوا باشد، در طول رفت و آمدهای پی در پی موج، نوسانات فشاری بسرعت مستهلک می شوند. یکی از روشهای بالا بردن افت فشار در مسیر برگشت، گذاشتن نازلی در دهانه ورودی است. (شکل فوق) لیکن ساده ترین روش استفاده از لوله کنار گذر با شیر یکطرفه یا اوریفیس است. در این روش سیال هنگام ورود به مخزن از لوله کنار گذر-که قطر کمتری دارد- عبور کرده، در نتیجه افت فشار سیال در مسیر برگشت بیشتر خواهد شد. با باز و بسته نمودن و تنظیم شیر لوله کنار گذار می توان افت فشار در لوله کنار گذر را در حد بهینه نگه داشت. باید توجه داشت که با گذشت زمان بدلیل حل شدن هوای بالای مخزن در داخل آب، سطح آب در مخزن بالا رفته و حجم هوای موجود کم می شود. برای پر کردن مجدد هوا تا سطح مورد نیاز، از کمپرسور هوا استفاده می شود.

- **نصب شیر فشار شکن (Release Valve):** این شیرها معمولاً در قسمت رانش، بعد از شیر یکطرفه نصب شده و با تخلیه مقداری از آب سیستم، از افزایش بیش از حد فشار در خط

لوله جلوگیری می کنند. شیرهای فشارشکن مجهز به فرمان هیدرولیکی هستند بطوریکه به محض خاموش شدن پمپ، فرمان هیدرولیکی شیر را باز نموده و پس از تخلیه مقداری آب از لوله رانش، بتدریج بسته می شوند. این شیرها معمولاً از نوع سوزنی بوده و جریان سیال لوله رانش را از طریق لوله ای به مخزن تغذیه پمپ برمی گردانند. شیرهای فشارشکن موجود بازار معمولاً زودتر از پنج ثانیه نمی توانند باز شوند بدین جهت در مواردی که مقدار $2L/a$ کوچکتر از پنج باشد کاربرد ندارند.

- کنترل ضربات شبه قوچ در سامانه های بخار: در سامانه های بخار برای جلوگیری از تجمع قطرات مایع، باید لوله ها را بصورت شیبدار از دیگ بخار تا محل تخلیه قطرات (Drip Trap) نصب کرد. همچنین می توان از صافی های Y شکل -که دارای پرده صافی افقی هستند- برای جلوگیری از جمع شدن قطرات و حرکت توده ای آنها در موقع شروع جریان بخار استفاده کرد.

بطور خلاصه برای جلوگیری از اثرات مخرب ضربه قوچ روشهای مختلفی ارائه شد. انتخاب روشهای فوق با ترکیبی از آنها بستگی به وضعیت فیزیکی و هیدرولیکی سیستم دارد. راهنمای انتخاب متد پیشگیری اثرات ضربه قوچ در سیستم های ایستگاه پمپاژ و خطوط لوله در جدول ذیل بطور موجز بیان شده است:

متد پیشگیری	شاخص انتخاب	ملاحظات
افزایش ممان اینرسی پمپ (چرخ طیار)	$(WR^2N^2) \div (\zeta ALH_0^2) > 0.01$	برای خطوط لوله کوتاه (حداکثر 3 کیلومتر)
نصب لوله کنارگذر برای پمپ همراه با شیر یکطرفه	$(aV_0) \div (gH_0) >= 1$	برای مواقعی که ارتفاع تولیدی پمپ بمراتب کمتر از aV_0/g است.
تانک موج گیر (سرج) دو طرفه	کم $h =$	برای مواقعی که ارتفاع خط شیب هیدرولیکی نسبت به پروفیل خط لوله زیاد نباشد.
تانک موج گیر (سرج) یکطرفه	$(aV_0) \div (gh) > 1$	ارتفاع نظیر فشار تانک موج گیر $h =$ برای مواقعی که پروفیل خط لوله بطور کلی سربالا است.
شیرهای ایمنی	$(aV_0) \div (gH_0) <= 1$ و	برای مواقعی که پروفیل خط لوله بطور کلی سربالین است. امکان

بروز پدیده جدایش ستون مایع وجود دارد.	$2L/a > 5 \text{ sec}$	
برای اکثر مواقع	$(aV_0) \div (gH_0) < 1$	محفظه هوا

که در جدول فوق :

WR^2 ممان اینرسی قطعات گردنده همراه با سیال داخل پمپ بر حسب Kg-m^2

N سرعت گردش پمپ بر حسب R.P.M

ζ وزن مخصوص سیال بر حسب Kg/m^3

A سطح مقطع لوله بر حسب m^2

L طول خط لوله بر حسب m

H_0 ارتفاع نظیر پمپاژ بر حسب m

a سرعت انتشار امواج فشاری بر حسب m/s

V_0 سرعت اولیه سیال در داخل خط لوله بر حسب m/s

g شتاب ثقل جاذبه زمین بر حسب m/s^2

h ارتفاع خط شیب هیدرولیکی در نقطه ای از خط لوله بر حسب m

منابع :

- 1- پمپ و پمپاژ- دکتر سیداحمد نوربخش- انتشارات دانشگاه تهران- چاپ هشتم- 1382
- 2- پمپهای گریز از مرکز و پمپاژ- امور مهندسی صنایع پمپ سازی ایران- چاپ اول- 1375
- 3- ضربت قوچ آبی و سیستمهای حفاظتی- علی وکیلی تهامی- انتشارات آیدین- چاپ اول- 1382
- 4- سایت های اینترنتی