محاسبه ضربه‌قوچ آب

مهندس پژمان رحمانی‌نیا
منبع: کاتالوگ‌های فنی Carrier

یک موج فشاری ناگهانی هنگامی که شیری به سرعت باز و بسته می‌شود یا هنگامی که پمپی با خط‌دهش خالی شروع به‌کار می‌کند، یا به‌طور ناگهانی خاموش می‌شود، می‌تواند به‌وجود آید. این پدیده نتیجه‌ی یک تغییر ناگهانی در سرعت جریان سیال در ترکیب با مشخصات لوله‌کشی است. این موج ناگهانی و ضربه‌ای به‌وسیله‌ی یک سری از صداهایی شبیه ضربات چکش آشکار می‌شود که به‌عنوان ضرب‌قوچ آب[1] شناخته می‌شوند که می‌تواند دارای بزرگی کافی برای ایجاد صدمات و آسیب‌های پیچیده و فاجعه‌آور درون سیستم لوله‌کشی باشد.

برای جلوگیری از شرایط ایجاد ضربه‌قوچ آب موارد زیر را لحاظ کنید:

۱- سرعت‌های سیال بیشتر از ۵ فوت بر ثانیه در سیستم‌های لوله‌کشی پلاستیکی تاثیر ضرب هیدرولیکی را افزایش می‌دهند که در اثر روشن و خاموش کردن پمپ‌ها و باز و بسته شدن سریع شیرها هستند. سرعت سیال که از ۵ فوت در ثانیه تجاوز نکند به‌عنوان عدد ایمن و مطمئن لحاظ می‌شود، و تاثیرات ضربه آب را به حداقل می‌رساند.

۲- شیرهای تخلیه فشار[2] را نصب کنید تا تاثیرات ضربه‌قوچ آب را کاهش دهد یا از بین ببرد و فشار اضافی و سیال اضافی را از سیستم خارج کند.

۳- شیرهای دارای راه‌انداز با حرکت آرام به سمت بسته شدن برای کنترل سرعت در موقعیت‌های باز و بسته شیرها باید نصب شوند.

این شیرها می‌توانند به طریق الکتریکی یا پنیوماتیکی کنترل شوند، و

جدول(۱): ضرایب کشسانی در دمای ۷۳°F

مواد مصرفی	PVC	CPVC
ضرایب (psi)	۴۰۰/۰۰۰	۳۶۰/۰۰۰

جدول (۲): ثابت‌های موج (برای لوله حامل آب در دمای ^{O}F ۷۳ و ۰.۴۲= e)

اندازه																					
درجه لوله	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40	80	40
PVC	1/30	4/35	3/27	1/32	8/26	8/30	9/25	6/29	7/22	9/26	9/20	25	5/22	7/18	1/23	3/20	7/19	7/15	9/20	7/16	5/14	19
CPVC	9/28	1/34	1/26	8/30	9/25	6/29	7/21	7/25	9/19	9/23	4/19	1/22	8/17	4/21	9/15	9/19	9/14	8/18	2/14	3/18	8/13	1/18

خطاهای احتمالی افراد را حذف کند.

افزایش فشـار که در اثر ضربه‌قوچ آب ایجاد می‌شـود به فشار اسمی کاری سیستم اضافه می‌شود.

جهت محاسـبه این افزایش فشـار، لازم است که اول به یک ضریب ترکیبی کشسانی[3] سیستم لوله – مایع برسیم:

$$E' = \frac{1}{\frac{1}{E_w} + \frac{d}{4tE_p}(5-4e)} = 57,531 psi$$

جایی که:

E`: ضریب کشسانی ترکیب لوله – سیستم (psi)

D: قطر داخلی لوله (in)

e: نسـبت پواسـون[4] برای مـواد لوله‌های ترموپلاسـتیک، شـیر در محدوده‌ی ۰.۳۸ تا ۰.۴۲

E_p: ضریب کشسانی برای لوله (psi، از جدول ۱)

E_w= ضریب کشسانی مایع، آب برابر با ۳۰۰۰۰۰psi

t= ضخامت دیواره لوله (in)

مثـال ۱: برای یک لوله‌ی PVC بـا درجه ۸۰ و اندازه‌ی ۴ اینچ (قطر داخلـی ۳.۷۸۶ اینـچ و ضخامت دیواره ۰.۳۳۷ اینچ) که حامل آب اسـت، ضریب کشسانی ترکیبی به این صورت محاسبه می‌شود:

$$E' = \frac{1}{\frac{1}{300,000} + \frac{3.786}{4(0.337)400,000}[5-4(4.2)]} = 37,531 psi$$

حال افزایش فشار ناشی از ضربه‌قوچی آب عبارت است از:

$$\Delta P = \frac{V\sqrt{\frac{m}{G_c}E'}}{12}$$

که در آن:

ΔP: افزایش فشار ناشی از ضربه آب (psi)

m: چگالی مایع، (آب ۶۲.۴ پوند بر فوت مکعب)

G_c: ثابت ابعادی برابر با ۳۲.۲ پوند فوت بر پوند مجذور ثانیه

E`: ضریب کشسانی لوله – سیستم (psi)

V: کاهش سرعت عامل به‌وجود آورنده‌ی ضربه‌قوچ (فوت بر ثانیه)

مثال ۲: آب به میزان ۲۵۰gpm (۶.۵ ft/sec) در یک خط فشار ۴۰psi در حال جریان است. اگر شیر در این خط ناگهان بسته شود، افزایش فشار به‌دست‌آمده به این صورت محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = \frac{6.5\sqrt{\frac{62.4}{32.2}37531}}{12} = 146 psi$$

کل فشار خط برابر است با :

Ptotal= ۴۰ + ۱۴۶= ۱۸۶ psi

یک لوله‌ی پلاستیکی (PVC) با اندازه‌ی ۴ اینچ برای فشار ۳۲۰ psi در نظر گرفته شده است، بنابراین در این شرایط مشکلی ایجاد نمی‌شود.

نکته : مطمئن شـوید که کلیه اجزا و متعلقات سیسـتم برای محاسبه فشار در نظر گرفته شوند.

بـرای راحتی، جـدول (۲) ثابت‌های مـوج را بـرای اندازه‌های رایج لوله‌های حامل آب در دمای ^{O}F ۷۳ نشان می‌دهد.

ثابت موج برای محاسبه سریع افزایش فشار در نتیجه ضربه قوچی آب به‌صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$\Delta P = VC$$

که در آن:

ΔP= افزایش فشار ناشی از ضربه آب (psi)

C= ثابت موج از جدول (۲)

V= کاهش سرعت بوجود آورنده‌ی ضربه آب

پی‌نوشت:

1-water hammer

2- Pressur reliey valve

3- Combined modulus of elasticity

4- Poisson, s ratio