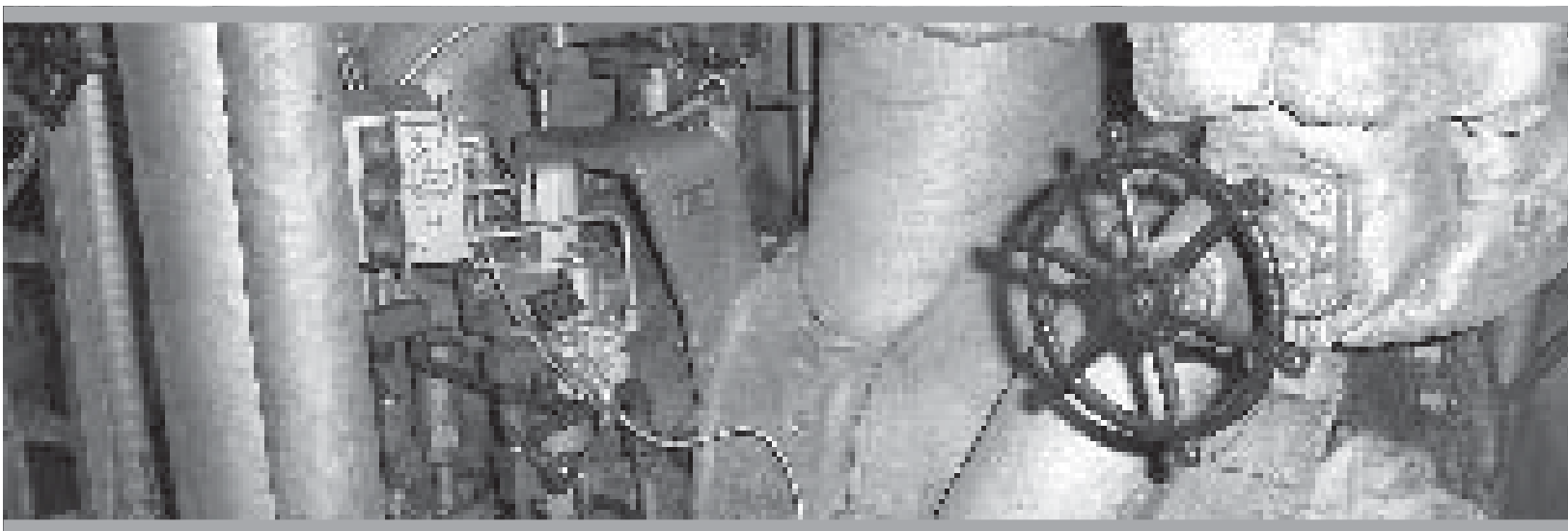


## شیوه صحیح لوله‌کشی در سیستم‌های بخار و جلوگیری از ایجاد ضربه قوچ

برگردان: مهندس جواد حسینعلی گل

یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که اغلب در سیستم‌های انتقال بخار ایجاد می‌شود، وجود صداهای آزار دهنده‌ای است که مربوط به ضربه قوچ می‌باشد. ضربه قوچ می‌تواند باعث خرابی دریچه‌ها، تله‌ها، شیرهای تنظیم‌کننده و لوله‌ها شود. در سیستم‌های بخار دو نوع ضربه قوچ وجود دارد: نوع اول معمولاً در لوله‌های رفت بخار و در اثر انباشته شدن آب کندانسه‌ای (چگالی‌ده) که در قسمتی از لوله به دام افتاده است ایجاد می‌شود. سرعت جریان بخار گذرنده از روی آب کندانسه باعث ایجاد امواجی درون آن می‌شود. این امواج به مرور بیشتر شده تا این که آب کندانسه به صورت یک توده سخت یا مانند یک گلوله، لوله را اشغال می‌کند. این توده آب، در اثر سرعت جریان بخار به حرکت درآمده و به اولین زانویی واقع در مسیر خود، ضربه‌ای را وارد می‌کند. قدرت ضربه ایجاد شده، معادل نیروی حاصل از نواخت یک پتک می‌باشد که می‌تواند زانویی را خرد کند.

دومین نوع ضربه قوچ سیستم‌های بخار در لوله‌های برگشت آب کندانسه شده و در اثر نفوذ حباب‌های بخار به درون این لوله‌ها صورت می‌پذیرد.



بخار با سرعت ۱۰۰۰۰ فوت بر دقیقه (معادل ۴۰۹/۹ مایل بر ساعت) می‌تواند آب را با سرعت بیش از ۱۰۰ مایل بر ساعت به حرکت در آورد. توده آب کندانسه توسط جریان بخار در طول لوله جابه‌جا می‌شود. ضربه قوچ نوع دوم در حقیقت ناشی از کاویتاسیون است که در اثر تشکیل و ورود حباب‌های بخار داخل لوله پر از آب به وجود می‌آید. هنگامی که گرمای نهان حباب به دام افتاده آزاد می‌شود، حباب ترکیده، ناگهان دیواره آب به عقب برگشته و نیروی شدیدی ایجاد می‌شود. نیروی حاصله ممکن است تویی شناور را له کرده و عناصر ترموستاتیکی داخل تله‌های بخار را نیز از بین ببرد. این نوع ضربه قوچ، معمولا در لوله‌های برگشت مایع یا در لوله تخلیه پمپ اتفاق می‌افتد. در سیستم لوله‌کشی بخار که به صورت صحیح اجرا شده است نباید هیچ نوع ضربه قوچی ایجاد شود.

#### ضربه قوچ در لوله‌های رفت (لوله‌های بخار)

ضربه قوچ در لوله‌های بخار معمولا در اثر انباشته شدن آب کندانسه ایجاد می‌شود. به منظور جلوگیری از این نوع ضربه قوچ، باید در هنگام نصب سیستم بخار، موارد مهم زیر را در نظر بگیریم:

- ۱- شیب لوله‌های بخار باید از دیگ بخار به سمت تله بخار باشد. همچنین سر هر رایزر، انتهای لوله اصلی و نیز در هر ۳۰۰ تا ۵۰۰ فوت از

طول مسیر لوله باید یک تله بخار نصب شود.

- ۲- برای جلوگیری از انباشته شدن آب کندانسه در هنگام بسته بودن شیر، باید سر همه شیرهای تنظیم بخار، تله بخار نصب شود.
- ۳- به منظور جلوگیری از تجمع آب کندانسه و ممانعت از حرکت توده‌های آب در طول لوله، باید در لوله‌های بخار از صافی‌های Y شکل مجهز به توری و آشغال‌گیر استفاده کرد.
- ۴- همه تجهیزاتی که در لوله بخار (رفت) آن‌ها از تنظیم‌کننده‌های مدوله بخار استفاده می‌شود، باید به روش ثقلی، آب کندانسه را از تله بخار خارج کنند. همچنین باید از ایجاد لیفت (اختلاف ارتفاع) در لوله برگشت اجتناب نمود.

#### ضربه قوچ در لوله‌های برگشت (لوله‌های مایع)

در بیشتر سیستم‌های لوله‌کشی، ضربه قوچ در لوله‌های برگشت بر اثر تشکیل حباب‌های بخار و ترکیدن آن‌ها ایجاد می‌شود. علت این امر غالبا وجود لیفت در لوله تخلیه تله بخار یا ورود مایع فشار بالا از تله به لوله برگشت مایع دمای پایین می‌باشد. وجود لیفت در لوله برگشت بعد از تله بخار، باعث ایجاد ضربه قوچ می‌شود. زیرا دمای آب کندانسه خروجی از تله به بیش از  $(100^{\circ}\text{C})$   $(212^{\circ}\text{F})$  خواهد رسید. آب کندانسه دمای بالا،

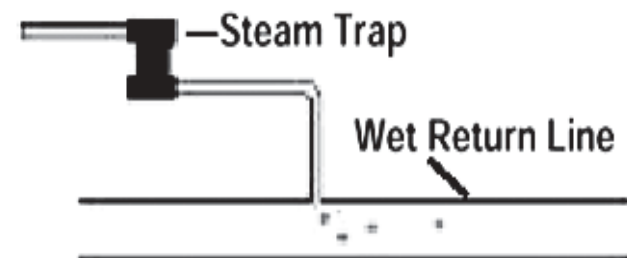
به‌طور آنی تبخیر و باعث تشکیل حباب‌های بخار می‌شود. این حباب‌ها در تماس با مایع سرد لوله برگشت، ترکیده و باعث ایجاد ضربه قوچ می‌شوند. تا زمانی که آب سرد، درون لوله برگشت جریان دارد، طبیعتاً ضربه قوچ شدیدتر شده و هنگامی که دمای لوله برگشت به بیش از  $212^{\circ}\text{F}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ ) برسد، ضربه قوچ معمولاً متوقف می‌شود. در بیشتر کاربردهای صنعتی به جای استفاده از سیستم‌های کمکی برگشت‌دهنده مایع، از لیفت‌ها استفاده می‌کنند. در هنگام نصب لیفت بیشتر از تله بخار سطلی معکوس استفاده می‌شود. زیرا ساختار این نوع تله به‌گونه‌ای است که موج ضربه قوچ را آرام می‌نماید. همچنین شیر یک طرفه، تله را در برابر ضربه قوچ و نیز برگشت آب کندانسه محافظت می‌کند. هنگام تخلیه تله بخار در لوله برگشت، سیال تبخیر و حباب ایجاد می‌شود. ترکیدن این حباب‌ها نیز ضربه قوچ را در پی دارد. این شرایط اغلب در نقاط اتصال بین تله‌های بخار فشار بالا و لوله‌های مایع پایین به‌وجود می‌آید. در نسخه‌های قدیمی تر راهنمای ASHRAE، برای کوچک کردن اندازه حباب‌ها، روشی ارائه شده است که براساس آن، آب کندانسه دمای بالا توسط لوله پخش‌کن که از سوراخ‌هایی به قطر  $1/8$  «تشکیل و به فاصله ۱ اینچ از یکدیگر واقع شده‌اند، وارد لوله برگشت می‌شود. روش دیگر استفاده از یک مبدل حرارتی برای همدمای کردن دمای لوله برگشت و تله بخار و یا استفاده از رادیاتور پره-لوله‌ای (Fine-tube) برای پایین آوردن دمای مایع کندانسه خروجی از تله بخار است. روشی که اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد، نصب یک فلاش تانک در خروجی تله است که موجب تبخیر مایع کندانسه خروجی از تله بخار در دمای  $212^{\circ}\text{F}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ ) و سپس پمپاژ آن به لوله برگشت می‌گردد.

### ضربه قوچ در لوله‌های برگشت (آب کندانسه)

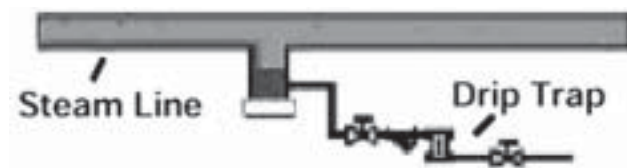
به منظور جلوگیری از ایجاد این نوع ضربه قوچ، باید در هنگام نصب سیستم، موارد زیر را در نظر بگیریم:

در صورت امکان از لوله برگشت ثقلی استفاده شود. در لوله‌های برگشتی که دارای قطر مناسبی هستند، مایع در قسمت پایین و بخار در قسمت بالا جریان می‌یابد. همچنین هوای مورد نیاز سیستم از قسمت بالا وارد می‌شود. ضربه قوچ ممکن است در لوله تخلیه پمپاژ نیز ایجاد شود. مایع خروجی از واحد تقطیر که دارای دمایی نزدیک به دمای اشباع است، ابتدا به سمت بالا دست خود که یک لوله افقی است رفته و سپس وارد تانک تغذیه ونت‌دار دیگ بخار می‌شود. در اثر ریزش مایع به داخل تانک، یک فشار منفی داخل لوله افقی به وجود می‌آید. هرگاه این فشار از فشار معادل در دمای اشباع کمتر بشود، ضربه قوچ ایجاد خواهد شد. یک ستون دوازده فوتی عمودی می‌تواند مایع کندانسه را در دمای  $190^{\circ}\text{F}$  تبخیر کند که این خود باعث ایجاد ضربه قوچ می‌گردد.

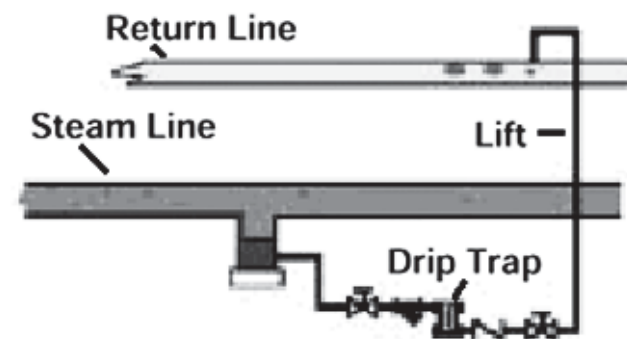
برای اصلاح این وضعیت، دو راه وجود دارد: ایجاد یک فشار برگشتی در پایین ستون و یا نصب یک شیر یک طرفه لولایی روی لوله افقی که در فشار اتمسفریک قرار داشته باشد. با باز شدن شیر یک طرفه، هوا وارد لوله‌ها شده و ستون عمودی تخلیه می‌شود. ضربه قوچ ممکن است در لوله تخلیه پمپ تغذیه دیگ بخار مربوط به واحد پیش گرمکن یا یا تانک هوازدا نیز اتفاق بیفتد. در سمت بالا دست لوله تخلیه و نزدیک دیگ بخار معمولاً یک شیر یک طرفه یا تنظیم کننده و یک شیر یک طرفه دیگر نیز



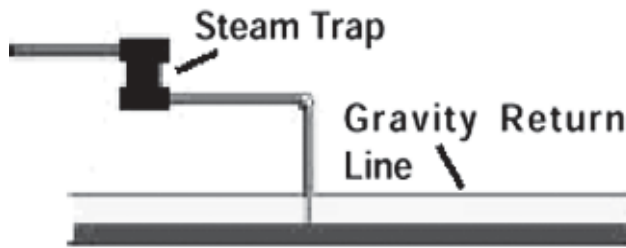
شکل (۱)



شکل (۲)



شکل (۳)

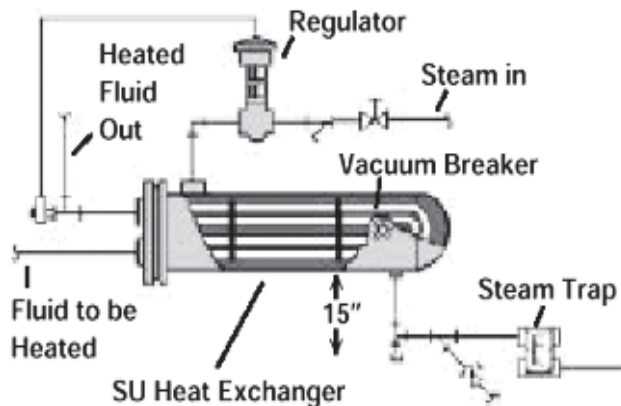


شکل (۴)

در قسمت خروجی پمپ نصب می‌شود. اگر شیر یک طرفه واقع در تخلیه پمپ، محکم بسته نشود، مایع کندانسه به داخل واحد تغذیه آب دیگ برگشته و باعث تبخیر مایع موجود در قسمت تخلیه پمپ می‌شود. متعاقب آن یک توده بخار در بالای لوله تشکیل شده و در نتیجه هنگامی که پمپ شروع به کار کند، ضربه قوچ اتفاق می‌افتد. این مشکل را می‌توان با تعویض شیر برطرف نمود.

#### نصب مبدل حرارتی از ایجاد ضربه قوچ جلوگیری می‌کند

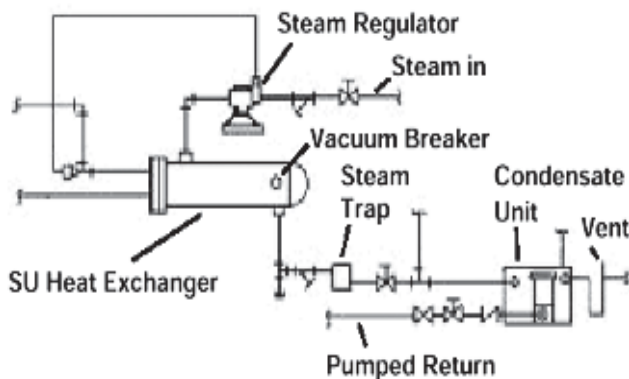
تله بخار باید قابلیت این را داشته باشد که تحت هر شرایطی مایع کندانسه را به‌طور کامل از پوسته مبدل حرارتی خارج نماید. برای گرم کردن سیالات تا دمای زیر  $212^{\circ}\text{F}$  ( $100^{\circ}\text{C}$ )، یک تنظیم‌کننده مدوله دما روی مبدل حرارتی نصب می‌شود. فشار درون پوسته در این شرایط 0 Psig خواهد بود. برای اطمینان از تخلیه آب کندانسه، باید در قسمت خروجی مبدل، تله بخار نصب و آب کندانسه به روش ثقلی، داخل لوله برگشت تخلیه شود. تله بخار ۱۵ اینچ پایین‌تر از خروجی مبدل حرارتی قرار می‌گیرد. فشار استاتیک ورودی به تله که در اثر هد ۱۵ اینچی ایجاد شده است معادل ۱/۲ Psig می‌باشد. این در شرایطی است که فشار بخار پوسته تقریباً معادل 0 Psig است. بنابراین تله بخار باید بر مبنای فشار دیفرانسیل ۱/۲ Psig طراحی شود. جهت کنترل بارهای غیر معمول هنگام راه‌اندازی سیستم، کل بار محاسبه شده را در ضریب اطمینان ۱/۵ ضرب می‌کنیم. تله بخار حرارتی - شناور بهترین گزینه برای یک مبدل حرارتی است. قسمت حرارتی این نوع تله بخار، هوای درون پوسته مبدل را به سرعت تخلیه و شناور مدوله آن، بین تخلیه آب کندانسه و میزان تولید آن، یک تعادل دائمی ایجاد می‌کند. (شکل ۱)



شکل (۵)

وجود نقص در تخلیه کامل مایع کندانسه موجب اختلال در کنترل دما شده و احتمال ایجاد ضربه قوچ را افزایش خواهد داد.

در صورت وجود لیفت در لوله برگشت بعد از خروجی تله، لازم است تا برای تخلیه آب کندانسه، یک فشار مثبت در پوسته مبدل ایجاد شود. برای این منظور باید آب کندانسه، به داخل پوسته برگشته و هنگامی که سطح لوله به حد کافی از آب پوشیده شد آن‌گاه فشار مثبت ایجاد خواهد شد. هر چند با ایجاد این فشار، آب چگالیده از داخل تله بخار عبور و از لوله برگشت عمودی بالا می‌رود، اما متعاقب آن، دمای داخل پوسته در اثر بخار باقی‌مانده افزایش می‌یابد که این مساله می‌تواند باعث بالا رفتن دمای سیال خروجی از لوله‌های مبدل شود. در صورتی که لوله برگشتی تله بخار دچار پس فشار یا لیفت باشد، جریان سیال داخل پوسته مبدل دچار طغیان شده و از مایع انباشته می‌شود. در صورت ورود بخار به پوسته به علت طغیان جریان، ضربه قوچ بسیار شدیدی ایجاد می‌گردد. این ضربه می‌تواند به تله بخار، شیر تنظیم بخار و لوله‌های مبدل حرارتی آسیب‌های جدی وارد ساخته و حتا در مواردی ممکن است باعث ترکیدن تله بخار و یا مبدل حرارتی گردد. لوله برگشت تله بخار باید با شیب ملایمی به واحد برگشت آب کندانسه‌ای که دارای ونت می‌باشد متصل شود. (شکل ۲)



شکل (۶)

بین بردن خلا، امکان ورود هوا به داخل پوسته را فراهم می‌سازد. در صورت عدم نصب خلا شکن، در پوسته مبدل فشار منفی ایجاد و باعث محبوس شدن آب درون آن می‌شود. در نتیجه سیستم‌های بخار آب برای توزیع مناسب گرما در ساختمان‌های مرتفع دچار مشکل می‌شوند. اگر سیستم‌های بخار به‌طور صحیح نصب شوند، سال‌های متمادی بدون سر و صدا و مشکل کار خواهند کرد.

#### خلاشکن‌ها

بخار موجود در آب که اغلب باعث ایجاد ضرباتی در پوسته مبدل‌های حرارتی می‌شود، نصب یک خلا شکن را الزامی می‌کند. خلا شکن با از

« فرستنده: مریم فهار

[www.irche.com](http://www.irche.com)

Iranian Chemical Engineers Website