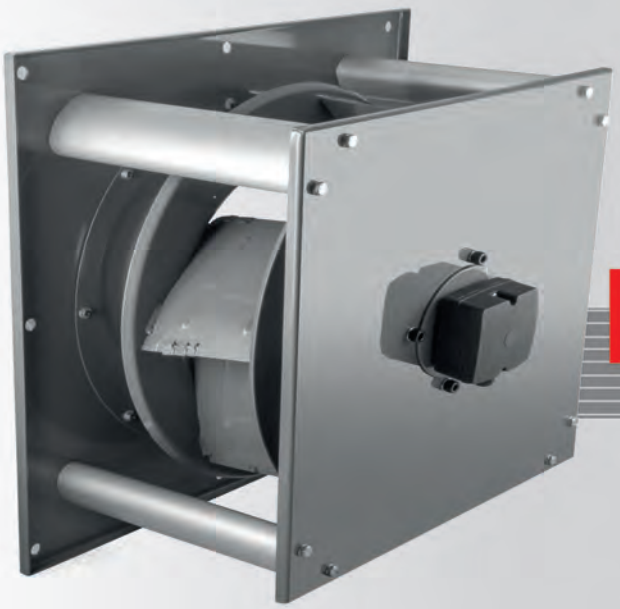
۱۶۱
ماهنامه‌ی اختصاصی - شماره‌ی صد و شصت و یکم - دی ۱۴۰۲ - ۱۰۰ هزار تومان
حرارت و برودت
انجمن تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه مطبوع ایران
IHMA
ارگان انجمن تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه مطبوع ایران - شماره ثبت: ۴۱۹-۳/۲-۳۲ - شاپا: ۲۲۵۱۶۶۷۰

Eurovent
Axial Fan
VIB Series

دمنده
DAMANDEH®
تولیدکننده انواع الکتروموتور و فن های
خانگی، صنعتی، تاسیساتی، پارکینگی
و قطعات لوازم خانگی



Plug Fan
PEB Series
با تکنولوژی روز اروپا
With Modern European Technolgy

Fan Coil
Blower
BEF Series

www.damandeh.com
sale@damandeh.com
+9821 35 27 21 07
+9821 35 27 21 09

Jebelli Studio
Design: 88 88 55 83

ماهنامه‌ی اختصاصی - شماره‌ی صد و شصت و یکم - دی ۱۴۰۲ - ۱۰۰ هزار تومان
ماهنامه‌ی فنی و مهندسی با روش‌های خبری - تحلیلی - اطلاع‌رسانی - آموزشی - پژوهشی
۱۶۱
حرارت و برودت
انجمن تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه مطبوع ایران
IHMA
ارگان انجمن تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه مطبوع ایران - شماره ثبت: ۴۱۹-۳/۲-۳۲ - شاپا: ۲۲۵۱۶۶۷۰

اعضای هیئت مدیره انجمن و شورای سیاست‌گذاری ماهنامه:

مهدی بستان‌چی: رئیس هیئت مدیره
علی آرین‌پور: نایب رئیس هیئت مدیره
مسعود موحدیان: عضو هیئت مدیره و خزانه‌دار
منوچهر شجاعی: عضو هیئت مدیره
علی کمرئی: عضو هیئت مدیره
اکبر سیفی: بازرس انجمن

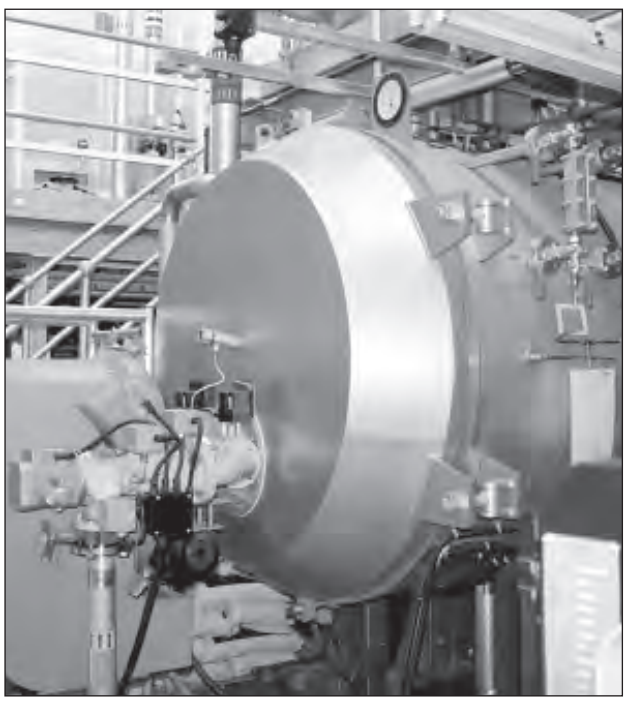
صاحب‌امتیاز: مطالعات آینده‌نگر پارسیان
مدیر مسوول: مهندس محمدحسین دهقان
سردبیر: دکتر مهدی بستان‌چی

دبیر تحریریه: مهندس مسعود بستان‌چی
اعضای تحریریه ماهنامه به ترتیب حروف الفبا:
مهندس محمدرضا افضلی، دکتر حسین بزم‌آرا، مهندس حسن بهرامی، دکتر مهدی بستان‌چی، دکتر رونالد بغوزیان، مهندس علیرضا حدادی، مهندس محمد جهاندیده، مهندس بهرام خاکپور، دکتر مهرزاد خراسانی، مهندس علی رسولی، مهندس محمدرضا رزاقی اصفهانی، مهندس حمید رستگاری، مهندس مرتضی سعیدی، مهندس غلامرضا سالارکیا، دکتر سهند سلطاندوست، دکتر مجید سلطانی، دکتر مصطفی سفیدگر، دکتر محمد شهرخ‌خانی، مهندس مزدک صدری افشار، دکتر عبدالرزاق کعبی‌نژادیان، مهندس حسن محمدی، دکتر مصطفی مافی، مهندس فرشید مومنی، دکتر مهدی معرفت، مهندس روح‌الله واصف، مهندس رحمن نصیری، مهندس مرتضی ناصری‌نژاد

مدیر تحقیق و توسعه: مهندس مهدی زادا‌کبر
مدیر داخلی: دکتر سپیده سیدفرجی
مدیر اجرایی: اسدالله امینی
مسوول مالی و توزیع نشریه: فیض‌الله قربانی جیرنده
ناظر چاپ: رحیم محمدی

دفتر نشریه: تهران، مفتح جنوبی، روبروی دانشگاه خوارزمی، جنب هتل مینا، پلاک ۸۸
تلفن واحد اشتراک: ۵۸۳۹۲۸۹۰-۰۲۱ **پذیرش آگهی:** ۲۰۵۳۰۶۸-۰۹۹۱

■ چاپ آگهی‌ها به‌معنای تایید محتوای آن‌ها توسط انجمن تولیدکنندگان سیستم‌های تهویه مطبوع ایران و ماهنامه نیست.
■ استفاده از مطالب این نشریه در صورت اخذ مجوز کتبی مقدور است.
■ کلیه درآمد حاصل از این ماهنامه صرف تحقیق و توسعه صنعت HVAC ایران می‌گردد.
● لیتوگرافی، چاپ و صحافی: چاپ و نشر یزدا (کیلومتر ۱۱ جاده قدیم کرج، شهرک صنعتی گلگون، خیابان پنجم جنوبی، پلاک ۳۵)
● آماده‌سازی قبل از چاپ و صفحه‌آرایی: **نشر یزدا**



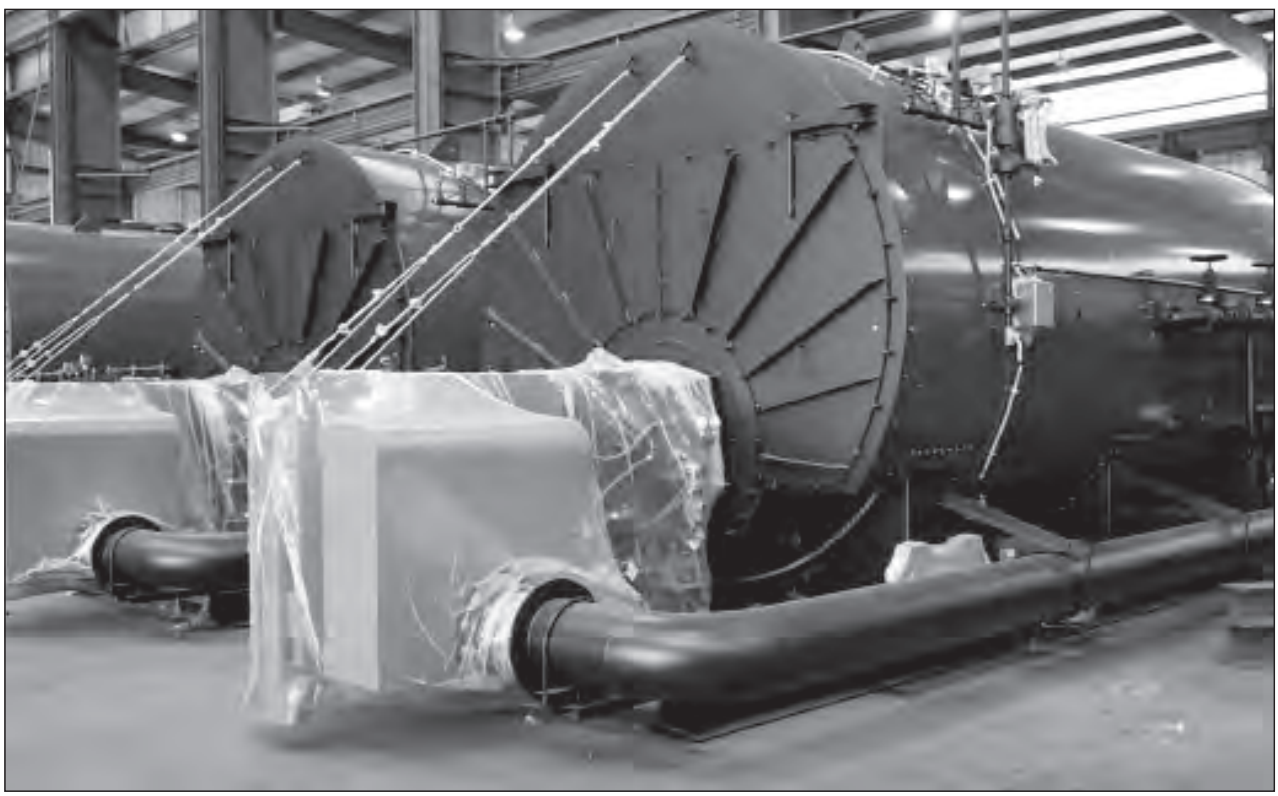
موضوع این شماره: **دیگ‌های بخار**

کنترل‌های مستقل ۲۶
خطی بودن کنترل ۳۰
انقباض و انبساط ۴۵
کنترل دوجزیی ۴۵
مدیریت مشعل ۴۷
کنترل نرخ احتراق - عمومی ۵۳
کنترل نرخ احتراق - بالا - پایین ۵۵
ایجاد حالت خطی ۵۷
کنترل راه‌اندازی ۵۸

پیامک و واتساپ: ۰۹۹۱-۲۰۵۳۰۶۸

Website: www.hvacassociation.com
Email: info@hvacassociation.com

دیگ بخار



بیایید با پارامترها شروع کنیم که مقداری یا ثابتی هستند که با شرایط سیســـتم تغییر می‌کنند. آنچه کنترلر درک می‌کند نوع پارامتر نیست بلکه داده ورودی به آن است که قبلا برای او تعریف شده است و در ازای آن‌ها خروجی تولید می‌کند. ســـیگنال ورودی توسط دو شاخص نقطه تنظیم شـــده SP (Set point) و مقادیر متغیر، مقایسه شـــده و سیگنال خروجی مطابق با آن‌ها صادر می‌گردد.

متغیر فرآیند مقداری است که بیانگر اندازه‌گیری انجام شده از هر آن چیزی است که قصد کنترل آن را دارید. مثلا اندازه‌گیری فشار یا سطح و غیره.

نقطه تنظیم شـــده همان مقداری است که شـــما می‌خواهید متغیر فرآیند برابر آن باشد. مثلا اگر می‌خواهید فشار بویلر 100psig باشد نقطه تنظیم شـــده را برابر 100psig قرار دهید. حال دیگر کار تمام است و کنترلر از روی آن دســـتگاه را کنترل خواهد کرد. این مقدار همیشه توسط اپراتور تنظیم نمی‌شود و ممکن است خروجی یک کنترلر دیگر باشد. اگر شما آن را تنظیم می‌کنید به آن «محلی» اتلاق می‌شـــود ولی به خروجی کنترلر دیگر «ریموت» گفته می‌شـــود. توجه کنید که این لغات شـــاید تناسبی با معنی مفروض شما نداشته باشد. حتا اگر شـــما از بویلرخانه خارج شده و به برج آب بروید تا set point کنترلر آن را تنظیم کنید این کار شما همچنان تنظیم محلی اســـت. فقط در صورتی تنظیم ریموت است که توسط یک کنترلر دیگر انجام گیرد پس آن را با مسافت قاطی نکنید.

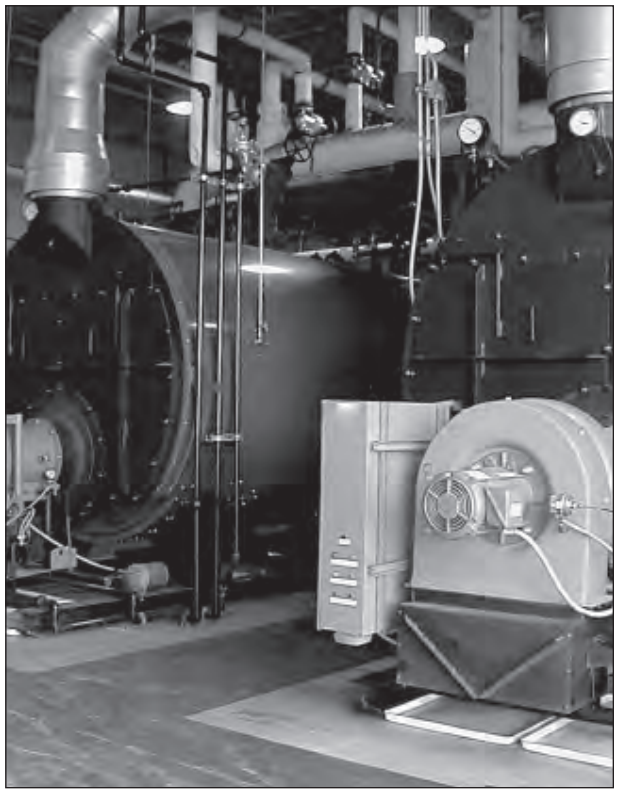
حال می‌توانیم حلقه را تعریف کنیم. حلقه برای تعریف بخش‌های سیستم کنترل است چون هر حلقه کنترل مثل یک دایره انتها ندارد. پارامتری را که می‌خواهیم کنترل کنیم (متغیر فرآیند) توسط کنترلر دریافت شده و با sp مقایسه می‌کند تا سیگنال خروجی مقتضی را ارسال کند. تغییر خروجی باعث تغییر متغیر فرآیند شده و کنترلر مجددا آن را مقایسه می‌کند تا در نهایت مقدار مطلوب حاصل شود. حلقه کنترلی شامل کنترلر، وسیله اندازه‌گیری متغیر فرآیند، منبع sp، وسیله‌ای که فرمان خروجی را اجرا می‌کند و هر آنچه که مقدار متغیر فرآیند یا sp را تغییر دهد می‌باشد.

یک حلقه ممکن است به سادگی یک کنترلر سطح باشد (که شامل یک کنترلر با تنظیم sp داخلی، فرستنده سطح و شیر کنترل می‌باشد) تا کنترلرهایی با کامپیوترهای متعدد با کاربرد و کارآیی بیش‌تر. محدودیت عملی یک حلقه در لوازمی است که متغیر فرآیند را تحت تاثیر قرار می‌دهند و هر یک از آن‌ها می‌تواند بخشی از یک حلقه کنترل دیگر باشد. همیشه یک رینج کنترل وجود دارد؛ مقادیری که کنترلر استفاده می‌کند حد بالا و پایین دارند. رینج فرستنده‌ها باید تنظیم شود تا امکان کنترل صحیح و اعمال تغییرات در مقادیر اندازه‌گیری شده فراهم آید. این رینج توسط مهندس واحد تعیین می‌شود تا کنترل سیستم به‌درستی انجام گیرد. مساله اصلی دقت و پایداری آن است.

اگر شما اپراتور واحد بخار فشار پایین هستید، فرستنده‌ای که سیگنالی در رینج 0–30psig تولید کند می‌تواند فشار 10±0.15psig را حفظ کند زیرا فرستنده‌ای که دقت آن ±0.5% است می‌تواند سیگنالی با این دقت تولید کند. واحدی که در فشار 3000psig کار می‌کند رینج فرستنده آن باید 0–4000psig با دقت ±20psig باشد که لزوما کنترل دقیقی فرض نمی‌شود. بنابراین ممکن است مهندس فرستنده‌ای با رینج 2500–3500psig با دقت 5psi انتخاب کند.

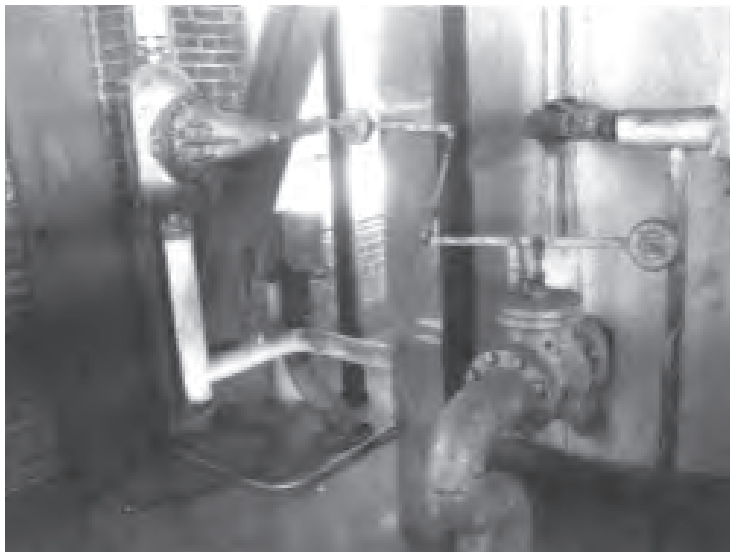
سیگنال‌های کنترل هم دارای رینج هستند و معمولا هر سیستم رینج یکسانی برای تمام دستگاه‌های آن سیستم استفاده می‌کند. رینج‌های استاندارد بسیاری برای سیگنال‌ها وجود دارد که رایج‌ترین آن‌ها 3–15psig (پنوماتیکی)، 0–5volt (الکتریکی و الکترونیکی)، 4–20mA (الکترونیک) می‌باشند. در واحدی که کنترل‌های جدید و قدیمی را با هم دارند مواجه شدن با مخلوطی از این رینج‌ها غیرعادی نخواهد بود. سایر رینج‌هایی که ممکن است ببینید عبارتند از، 0–30psig، 0–60 و 3–27 پنوماتیکی، 0–10volt، 5+ تا 5–، 0–12 و 0–24 در سیستم‌های الکتریکی و الکترونیکی. موارد دیگری هم وجود دارد که استفاده آن بسیار خاص و محدود است.

سیگنال کنترل بیانگر مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده یا متغیر فرآیند است. شما می‌توانید سیگنال را اندازه‌گیری کرده و با دانستن رینج



فرستنده، مقدار واقعی متغیر را تعیین کنید. یک مثال ساده می‌تواند حلقه‌ای برای حفظ 200psig پس از یک شیر کنترل فشار باشد که در آن رینج فرستنده 0–30psig و رینج سیگنال 0–30psig فشار هوا باشد. شما می‌دانید مقدار سیگنال برای sp باید 20psig باشد (یا معادل آن) و مقدار واقعی را می‌توان با ضرب سیگنال کنترل در 10 تعیین نمود. اگر یک شاخص فشار ریموت می‌خواستم، می‌توانستم خروجی فرستنده با ¼ اینچ لوله جیوه را به 0–30psig فشارسنج رسانده و یک صفر به هر عدد روی صفحه گیج اضافه کنیم. لوله و فشارسنج پایین‌تر خیلی ارزان‌تر از کشیدن لوله فولادی بخار تا موقعیت دورتر با گیج قوی است. اولین نشانه علت استفاده از ابزار دقیق صرفه‌جویی مالی آن است.

ابزار دقیق شامل وسایلی است که می‌توانند در حلقه‌های کنترلی استفاده شوند ولی هیچ کار کنترلی انجام نمی‌دهند. آن‌ها فقط مقادیر پارامترها را در فرآیند نشان می‌دهند. ما از عبارت کنترل و ابزار دقیق برای تعریف سیستمی استفاده می‌کنیم که علاوه بر حفظ پارامترها در مقادیر مطلوب، خروجی‌هایی را ارایه می‌دهد که به شما می‌گوید چه‌طور کار می‌کند و چه کاری انجام می‌دهد. قبل از این‌که موضوع سیگنال‌ها را کنار بگذارم باید مفهوم صفر زنده را بگویم. وقتی ما مهندسان عبارت صفر زنده را به‌کار می‌بریم منظورمان صفر نیست. به‌عبارت ساده‌تر صفر زنده



◄ **شکل(1): شیر کنترل شناور**

سیگنال‌های کنترل آن‌هایی هستند که مقدار سیگنالی که صفر را نشان می‌دهد بیش از صفر است مثلا در رینج‌های 3–15psig یا 4–20mA، 3 و 4 به‌عنوان صفر این رینج‌ها هستند. علت اصلی برای صفر زنده این است که می‌توانید از آن مطمئن باشید. فرستنده فشار پاراگراف قبلی می‌تواند در خروجی صفر با فشار صفر اعمالی به آن تنظیم شود اما نمی‌توانیم مطمئن باشیم که آن صفر به‌درستی محقق خواهد شد؛ ممکن است یک اتصال شل یا زانوی سفت وجود داشته باشد که باید رفع شود. با صفر زنده می‌بینیم که مقدار سیگنال، وقتی فرض می‌شود که با فشار صفر در اتصال فرآیند قرار دارد [صحیح است] و می‌توان در حالی‌که سیگنال از هر جهت به صفر نزدیک می‌شود خروجی را تنظیم نمود. اندازه‌گیری فشار یا جریان منفی بسیار سخت است که صفر زنده این مشکل را حل می‌کند. احتمالا این بیش از چیزی است که می‌خواهید درباره کنترل بدانید اما خواهید دید که فهمیدن آن‌ها به شما در گرفتن جواب پرسش‌هایتان (درباره سایر سیستم‌های کنترل) کمک خواهد کرد.

یک کاربرد رایج، کنترلر سطح ساده است که من از آن برای ارایه مثالی از روش‌های کنترل استفاده خواهم کرد. بهتر است با یک شیر کنترل شناور ساده (شکل 1) شروع کنیم که سطح (متغیر فرآیند) را با کنترل جریان آب خروجی از مخزن حفظ می‌کند. وقتی هیچ جریانی از مخزن خارج نمی‌شود شیر باید بسته باشد و وقتی هم که آب با نرخ بالا تخلیه می‌شود، شیر باید کاملا باز شود. برای تغییر وضعیت شیر، سطح آب مخزن باید تغییر یابد. وقتی مصرف آب پایین است سطح در بالا قرار می‌گیرد و در بالاترین سطح، شیر کاملا بسته است. سطح را نمی‌توان در یک نقطه نگه داشت چون سطح باید تغییر کند تا جریان کنترل شود.

تغییر مورد نیاز در متغیر فرآیند برای انجام کنترل «دروپ» است و تفاوت بین مقدار متغیر در نبود جریان و حداکثر جریان می‌باشد. کنترلر شناور قابل مقایسه با وسایل مستقل است که پارامترها را در حد مطلوب حفظ می‌کنند. وقتی جریان کم باشد کار آن‌ها بهینه بوده و خطای متغیر قابل قبول است. فاکتورهای دیگری هست که اجازه نمی‌دهد همه کنترل‌ها به‌سادگی شیر کنترل شناور باشند. فشار یا جریان آب تغذیه ممکن است به‌قدری بالا باشد که حتا شیر کنترل شناور کار نکند.

اگر هد فشار به‌اندازه کافی زیاد شود فارغ از موقعیت شناور، به زور شیر را باز خواهد کرد. همین سیستم موجود در شکل به وضوح با افت فشار کم در شیر کنترل کار می‌کند. شما می‌توانید حداکثر فشار تغذیه را برای شیر شناوری که ورود آب به مخزن را کنترل می‌کند محاسبه کنید. حجم شناور را یافته و در چگالی آب مخزن ضرب کنید ($62.4 lb/ft^3$ در آب سرد). حاصل را در طول بازوی شناور از مفصل تا وسط شناور ضرب کنید. این حداکثر گشتاوری است که شناور می‌تواند بر شیر وارد کند چون در این نقطه، شناور آزاد نیست. با تقسیم گشتاور بر طول بازوی مفصل شیر (از مفصل تا وسط دیسک) حداکثر نیروی وارد بر شیر به‌دست می‌آید. با تقسیم این نیرو بر مساحت دیسک شیر که متحمل اختلاف فشار بین تغذیه و مخزن است حداکثر اختلاف فشار برای شیر شناور به‌دست می‌آید.

اگر تخلیه، وارد مخزنی که در فشار جو قرار دارد می‌شود، حاصل،

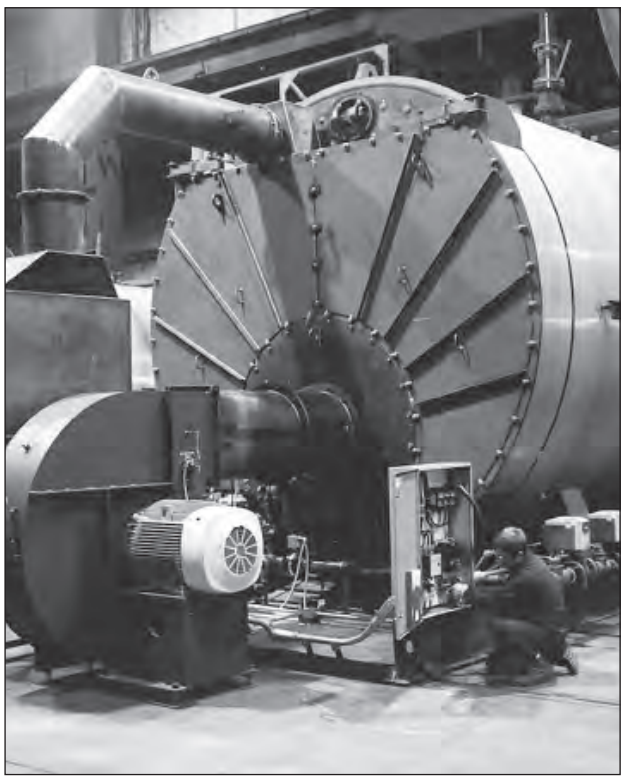
حداکثر در مخزن خواهد شد که بیش‌ترین فشار قابل تحمل شیر است.

اگر جریان زیاد است، دریچه شیر باید به‌قدر کافی بزرگ باشد تا بتواند جواب‌گوی آن باشد. با استفاده از روش مشابهی که گفتم می‌توانید ببینید که دیسک شیر به‌قدری بزرگ خواهد شـــد که آب با فشار خیلی پایین هم می‌تواند آن را باز کند. می‌توانید از شـــناور بزرگ‌تر استفاده کنید اما اندازه آن محدودیت دارد. به‌همین خاطر گاهی شناورها را به‌صورت استوانه‌ای می‌ســـازند ولی باید آن‌ها را طوری انتخاب کنید که بتوانند کنترلر را فعال کنند. مشکل دیگر شـــناورهای بزرگ این است که وقتی در معرض فشار زیاد قرار بگیرند (در مخازن بسته‌ای مثل بویلر) متلاشی می‌شوند.

شما می‌توانید طول بازوی شـــناور را برای افزایش گشتاور درازتر در نظر بگیرید اما آن‌هم محدودیت‌هایی مثل اندازه مخزن و افزایش دروپ را دارد. حتما دیگر فهمیده‌اید که چرا از شناورها برای کنترل سطح در یک کنترلر تنظیمی که سطح آب مخزن را حفظ می‌کند می‌توان با همان کنترلر ساده مقایسه کرد. می‌توانیم از شیر تحریک با شناور، برای کنترل استفاده کنیم که می‌تواند درست مثل شیر شناور باشد اما حجم خیلی کوچک‌تری از آب را با شیر خیلی کوچک کنترل می‌کند. بنابراین می‌تواند هد بالایی را اداره کند. شاید هرگز کنترلی از این نوع را نبینید (شکل 2 که در آن شیری ظرف را با کمـــک فنر پر می‌کند) اما برخی مفاهیم کنتـــرل را می‌توانید از روی آن دریابید. شـــیر، جریان را به ظرف بالای شیر کنترل اصلی منتقل می‌کند. با افت ســـطح آب، شیر شـــناور جریان را به داخل ظرف افزایش می‌هد تا آن را پر کند. سطل سنگین‌تر شده و فنر را به پایین می‌راند تا شیر تخلیه را ببندد.

دریچه تخلیه ســـطل آب را به بیرون می‌ریزد چون در غیر این‌صورت شیر بسته شده تا زمانی‌که آب داخل ســـطل تبخیر نشود باز نخواهد شد. کنترل با تغییر سطح آب سطل انجام می‌گیرد. پر می‌شود تا تخلیه را ببندد و خالی می‌شـــود تا آن را باز کند. به تفاوت بین این سیســـتم و شیر کنترل شناور ســـاده دقت کنید. یک منبع خارجی برای فعال کردن سیستم به‌کار می‌رود (وزن آب) و فرستنده و شیر کنترل اصلی بدون هیچ محدودیتی در فاصله بین آن‌ها از هم جدا هســـتند که این یک ویژگی دیگر سیستم‌های کنترل است.

در این سیســـتم باید به یک چیز دیگر هم توجه کنید. شیر کنترلی که به‌عنوان کنترلر اســـتفاده می‌شود مثل شیر شناور معمولی نیست چون رو به عقب کار می‌کند. دقت کنید که جریان آب آن با ســـطح کاهش می‌یابد که این درست برعکس شیر شناور ساده اســـت. علت این است که نقطه مفصل در ســـمت دیگر شـــیر قرار دارد و برای فعال کردن سیستم کنترل ضروری است. این سیستم حاوی مفهوم کنترلی است که باید با آن اخت شـــوید، کنترل‌ها هم به‌صورت عامل مستقیم و هم عامل معکوس در آن

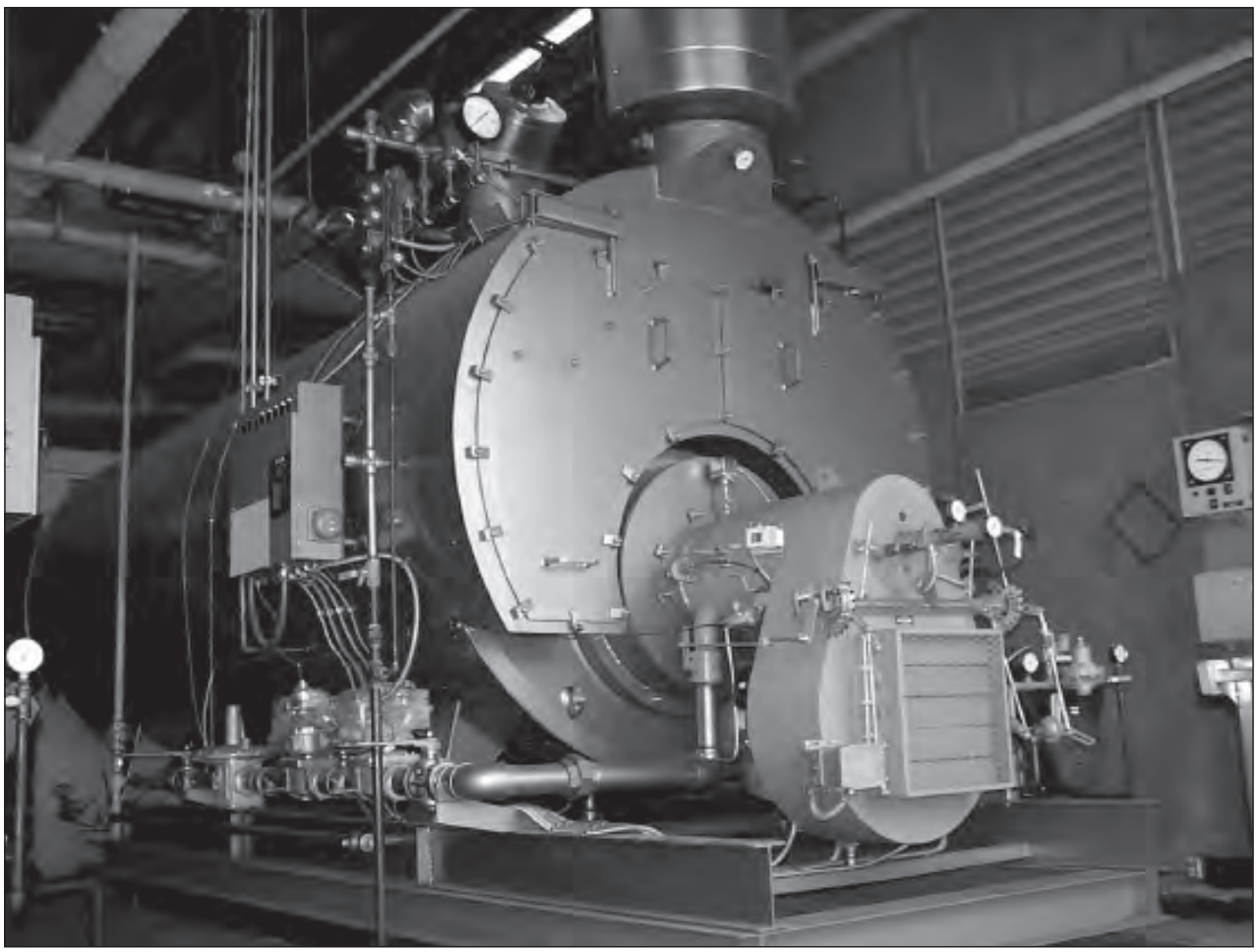


وجود دارند. کنترلر عامل مستقیم با افزایش مقدار متغیر، خروجی خود را افزایش می‌دهد. کنترلر عامـــل معکوس با افزایش مقدار متغیر، خروجی خود را کاهش می‌دهد.

امروزه دیگر چنین سیستم‌هایی را نخواهید دید، چون مشکلاتی مثل خورنده بودن آن و مسدود شدن توســـط رسوبات را دارند. ما کنترل‌های هیدرولیکی هم داشـــتیم (که با روغن کار می‌کرد نـــه با آب) ولی به‌خاطر هزینه بالا و نشتی منسوخ شده و با کنترل‌های پنوماتیکی جایگزین شدند که کنترل‌های میکروپروســـوری هم از آن‌ها پیشی گرفتند. کنترل‌های الکتریکـــی و الکترونیکی همچنـــان در صنعت می‌تازنـــد. من در دوره کنترل‌های پنوماتیکی ســـطح بالا زندگی می‌کردم که با هزینه کم کنترل دقیق‌تری انجام می‌داد ولی شما با کنترل‌های الکترونیکی سیر می‌کنید.

یک سیســـتم کنترل معمول یک فرســـتنده خواهد داشـــت که یک سیگنال متناســـب با مقدار متغیر اندازه‌گیری شـــده تولید می‌کند و یک کنترلر مجزا به همراه عنصر نهایی (عملگر) هم به آن اضافه می‌شـــود. ما می‌توانیم سطح آب مخزن را به ســـطح ظرف مرتبط کنیم ولی با مسدود شدن با فرسایش مجرای تخلیه تغییر خواهد کرد و همچنین متاثر از افت فشار در شیر و سایر فاکتورها هم می‌باشد.

می‌توان کنترلر شیر شناور را با ایجاد سوراخ در لوله خروجی به فرستنده



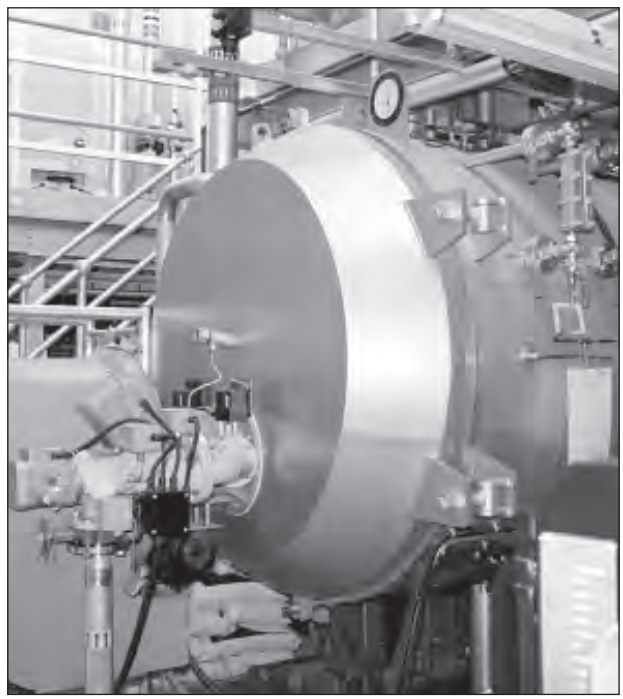
تبدیل کرد تا آب از آنجا تخلیه شده و از ظرف به‌عنوان مخزن استفاده کند. نصب یک فشارسنج در لوله ورودی ظرف شاخصی از خروجی فرستنده خواهد بود. مشکل این است که فرستنده فشار نمی‌تواند سیگنال کنترلی را که کاملا متناسب با سطح مخزن باشد تولید کند. تغییر فشار تغذیه آب، فرسایش شیر و اوریفیس تخلیه و اصطکاک پکینگ شیر، همگی ترکیب می شوند تا تغییراتی در سیگنالی که خطا ایجاد می‌کند بدهند.

میل به صحت و مهم‌تر از آن قابلیت تکرار موجب توسعه دقت فرستنده‌ها توسط ایجاد فیدبک شده است. فیدبک خروجی است و از آن برای تست یا تصحیح خروجی (با آنچه اندازه‌گیری می‌کنیم) استفاده می‌کنیم. بیایید شیر کنترل را اصلاح و از هوای فشرده به جای آب استفاده کنیم. استفاده از هوا دو مزیت دارد. یکی وزن سبک آن است؛ وزن زیاد موجب تغییر مقدار سیگنال نمی‌شود. مهم‌تر از آن، نشتی هوا، کثافت‌کاری ندارد. اپراتورها معمولا از نشت فرستنده‌های آبی شاکی هستند ولی حتا به هوا توجه هم نمی‌کنند.

ما حتا آرایش شیر و شناور را هم عوض می‌کنیم تا بازوی شناور فنر را متراکم کند که عکس‌العمل آن توسط دم‌هایی که محتوای فشار خروجی هستند وارد می‌شود؛ که فرستنده مشابه شکل (3–10) خواهد بود.

اوریفیس از سطل به تغذیه هوا منتقل شده و دارای نازلی هم می‌باشد. نازلی که خروجی آن به صفحه هادی می‌خورد شیر ما خواهد بود (خیلی ارزان‌تر از شیر) و شیر با بازوی شناور حرکت می‌کند چون می‌خواهیم خروجی به‌درستی نشانگر سطح مخزن باشد. جریان شیر براساس موقعیت شناور تغییر نمی‌کند و به تفاوت بین موقعیت شناور و تعادل نیروهای فنر و دم‌ها پاسخ می‌دهد.

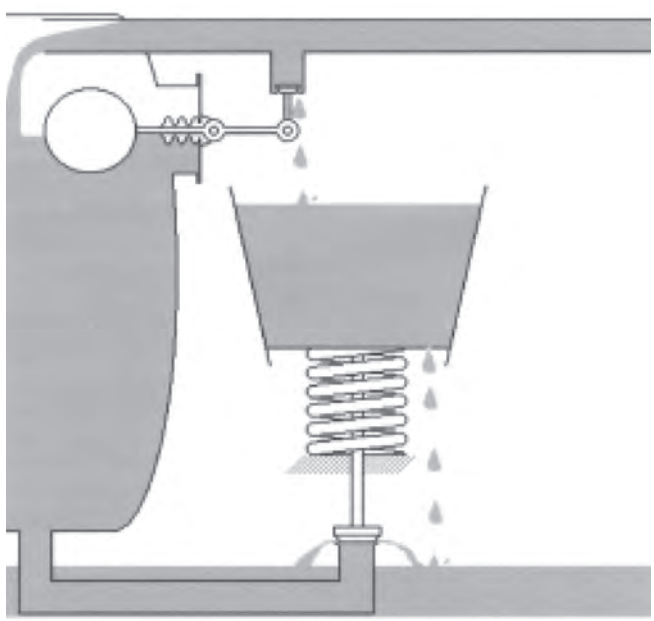
ساختمان آن مثل فرستنده‌های پنوماتیکی معمول است. با افزایش سطح، نازل از صفحه هادی دور می‌شود بنابراین هوای بیش‌تری از نازل خارج می‌شود. فشار در دم‌های خروجی کاهش می‌یابد بنابراین فنر، روی شناور فشرده شده و روی صفحه هادی باز می‌شود. پایین آمدن سطح نازل به‌طرف صفحه فشرده می‌شود بنابراین فشار افزایش یافته و دم‌ها



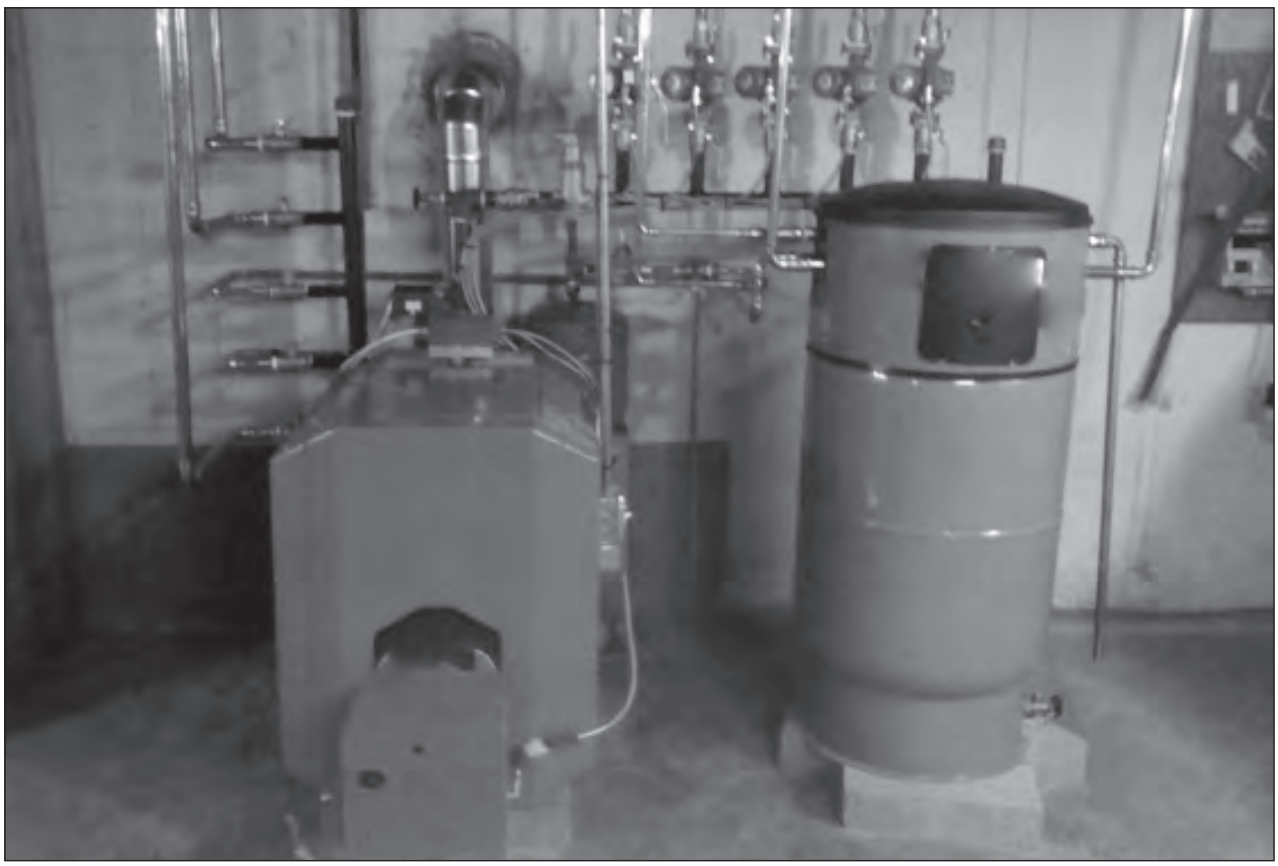
با فشـــردن فنر صفحه هادی را به طرف پایین فشار می‌دهند. فرستنده از اصل تعادل فشار استفاده می‌کند که در آن فشار خروجی فرستنده، فیدبک می‌شود تا تعادل وسیله را ذخیره کند که در این مورد موقعیت نصب نازل و صفحه است.

این فرســـتنده، عامل معکوس است و خروجی با افت سطح افزایش می‌یابد. در عکس(3)، شـــیر، مخزن را تخلیه می‌کند پس ســـطح پایین می‌آید. چنین فرســـتنده‌ای را می‌توان در کنترل مستقیم شیر آب جبرانی متصل به مخزن تغذیه بویلر اســـتفاده کرد چون می‌توانیم اجزای داخلی شیر را عوض کنیم. فشار هوای رو به افزایش ممکن است شیر را باز کند. سیستم نشان داده شـــده از فرستنده به عنوان کنترلر استفاده می‌کند و کار هم می‌کند اما به‌ندرت به این شـــکل انجام می‌شـــود که دلایل متعددی از جمله هزینه و توان در آن دخیل اســـت. در حالت هوای فشرده ما قادر به ساختن شیر خیلی ساده‌تری در فرســـتنده یا کنترلر بودیم که این کار در کاهش هزینه بسیار موثر بود.

کاهش انـــدازه مصرف را نیز به‌شـــدت کاهش مـــی‌داد پس هزینه بهره‌برداری پایینی هم دارد. فرســـتنده کوچک نمی‌تواند مقادیر هوای زیادی را جابه‌جا کند. پس شاید گذراندن هوای فشرده کافی برای افزایش دادن فشـــار در دیافراگم شـــیر کنترل پنوماتیکی زمان زیـــادی ببرد. اگر فرستنده به‌عنوان کنترلر استفاده شـــود تاخیر زیادی در عملکرد به‌وجود خواهد آورد. چون باید تمام هوا برای شـــیر کنتـــرل را علاوه بر پر کردن دم‌های فیدبک و لوله‌هـــای متصل عبور دهد. خروجی بســـیار محدود فرســـتنده‌ها از اســـتفاده آن‌ها به‌عنوان کنترلر به دلایل فوق جلوگیری می‌کند.



◄ **شکل(2): شیر کنترل سطحی**

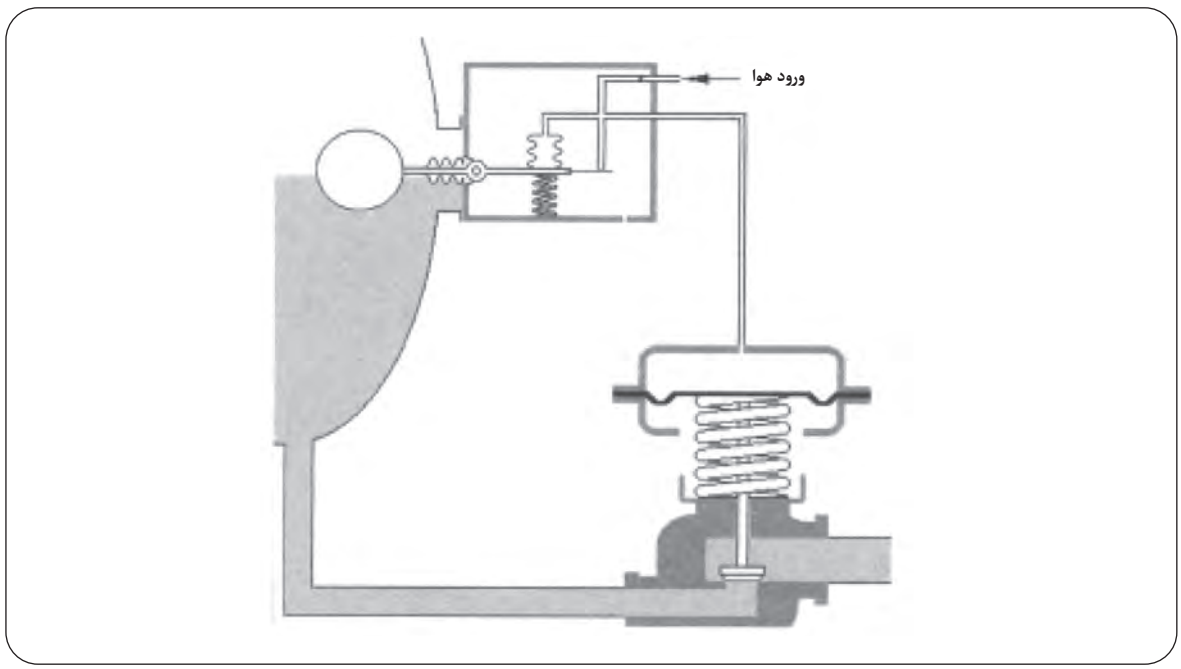


فرستنده ساده ما ممکن است دروپ هم داشته باشد هرچند که به‌اندازه سایر روش‌ها قابل توجه نیست چون مسافت بین نازل و صفحه هادی تغییر می‌کند تا فشار خروجی را افزایش یا کاهش دهد. این امر، یک اختلاف بین سیگنال کنترل و موقعیت شناور به‌وجود می‌آورد. فاکتور مهم دیگر در طراحی فرستنده نیز امکان افزایش دروپ را می‌دهد. چون طراح بایستی امکان بروز اشتباه را می‌داد (مثل از دست رفتن فشار) پس صفحه هادی معمولا از فولاد فنری انعطاف‌پذیر است که می‌تواند هنگام پایین بودن سطح و نبود فشار هوا برای متراکم کردن فنر و حفظ موقعیت نازل و صفحه بدون شکستن خم شود. با افزایش سیگنال کنترل مقداری از فشار برای خم کردن صفحه و افزایش دروپ استفاده می‌شود. برای کاهش این اثر روی فرستنده و صرفه‌جویی بیش‌تر در هوا طراحان نازل‌ها را کوچک‌تر کرده‌اند. مشکل نازل کوچک‌تر این بود که هوای کم‌تری را منتقل می‌کرد و نشتی در مسیر فرستنده به سایر لوازم، خطا به‌وجود می‌آورد و خروجی کم‌تر از مقدار لازم می‌شد.

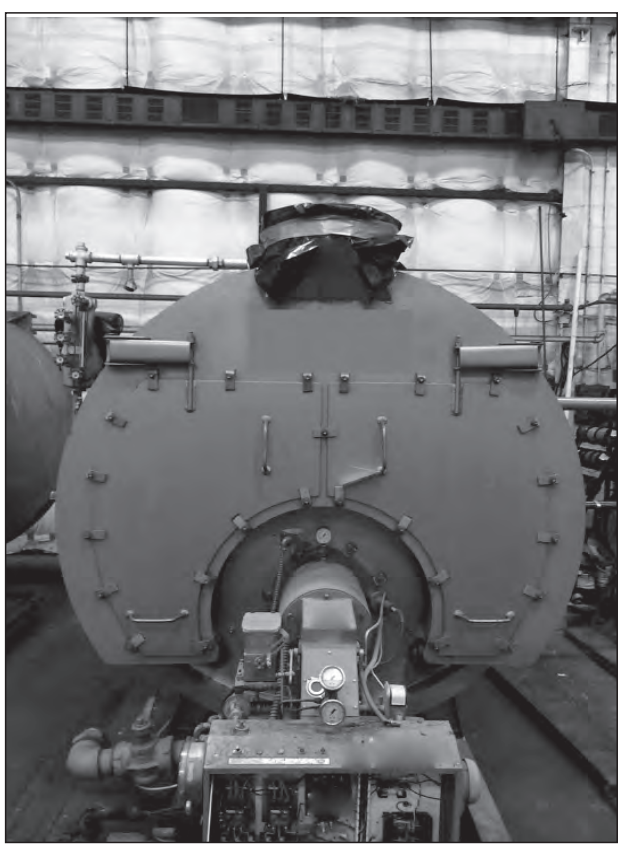
برای رفع مشکل نشتی، طراحان به فرستنده‌ها بوستر اضافه کردند. صرفه‌جویی حاصل از کاهش مصرف هوای فشرده به روش‌های فوق هزینه بوستر را توجیه می‌کرد. بوستر مشکلات نشتی خط را حل می‌کرد چون هوای نازل فقط دم‌های فیدبک دیافراگم بوستر را تغذیه می‌کند (شکل 4–10). سطح بزرگی از دیافراگم نیروی کافی برای جابه‌جا کردن شیر تامین می‌کند بنابراین فرستنده می‌تواند هوای کافی برای جبران نشتی داشته باشد بدون این‌که مقدار سیگنال تحریف شود. حتا امکان نشت‌یابی با مقایسه گیج متصل به دم‌های خروجی و لوله وسیله دیگر را برای اپراتور فراهم می‌کند. با اصلاح طراحی فرستنده‌ها نازل‌ها کوچک‌تر هم شدند و در برخی موارد از بوستر برای تغذیه دم‌های فیدبک استفاده می‌شود.

باور کنید یا نه، حالا می‌توانید متوجه همه نوع وسیله کنترل پنوماتیکی شوید چون مسایلی را که تشریح کردیم اصول صادق در همه دستگاه‌های پنوماتیکی است با استفاده از پنوماتیک مفاهیم دیگر کنترل را هم ارایه خواهم کرد.

قبل از این‌که از فرستنده سطح بگذریم می‌خواهم فرستنده‌های جابه‌جایی را هم تشریح کنم. شما هم بالاخره روزی با آن مواجه خواهید شد چون برخی مشکلات شناورها توسط آن‌ها حل می‌شود. اگر تا به‌حال



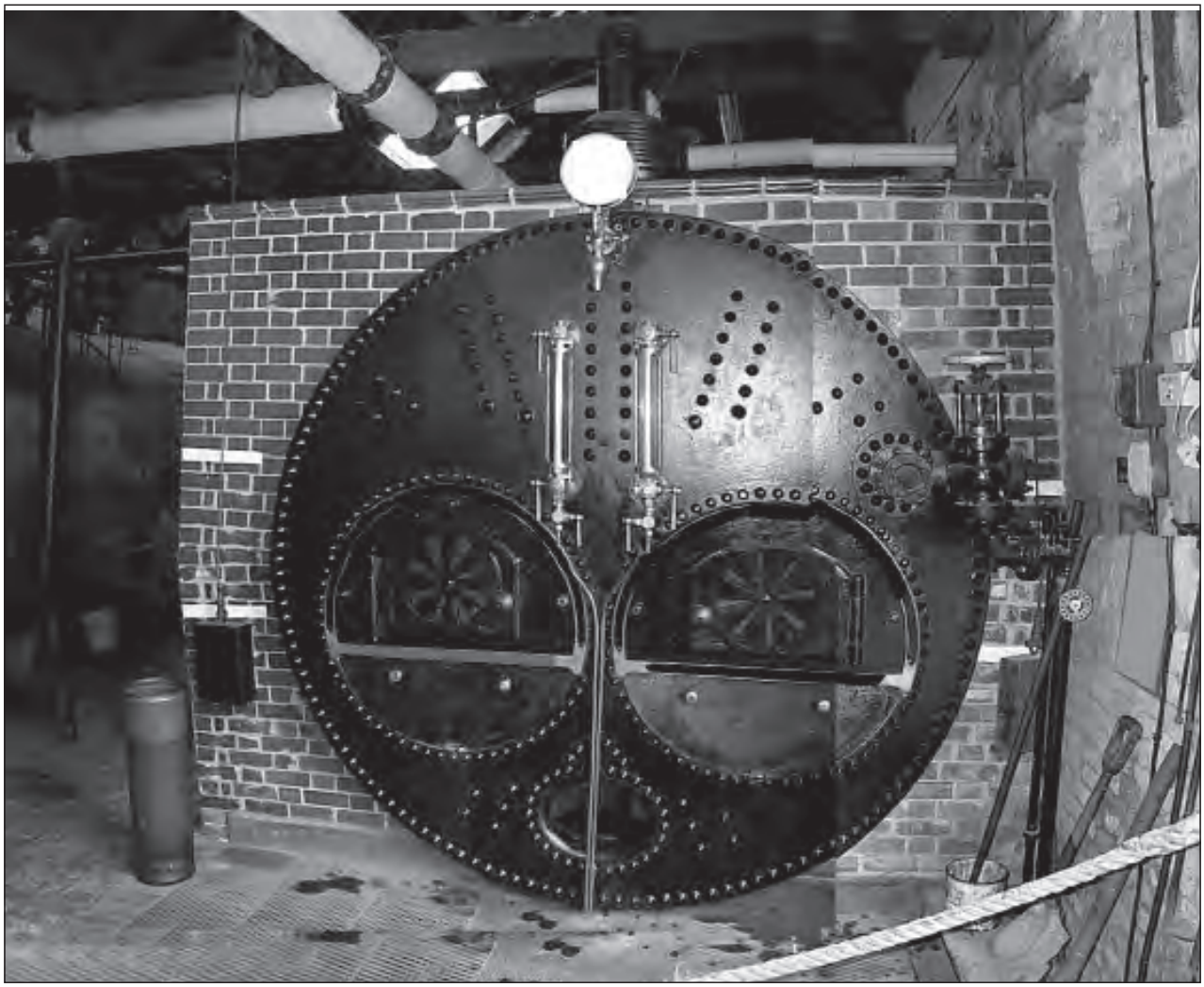
◄ **شکل(3): فرستنده سطح پنوماتیکی**



با شیر پرکن توالت کار نکرده‌اید به حمام رفته و محفظه مخزن را برداشته و لوازم داخل آن را کنترل کنید. اگر توالت شما از نوع جدید و فشاری نیست یا فلاش‌سنج ندارد، یک شیر شـــناور در آنجا برای کنترل پر شدن مخزن توالت وجود خواهد داشـــت. به‌آرامی روی آن فشار دهید تا کاملا زیر آب فرو برود. به نیروی مورد نیاز توجه کنید. حال به کتاب مراجعه کنید. دیدید که هر چه عمق بیش‌تر می‌شد نیاز نیروی فشاری به شناور بیش‌تر می‌شد. نیروی اضافی برابر اســـت با اختلاف بین وزن‌های داخل شـــناور و وزن آبی که جابه‌جا می‌کند، همان قانون شناوری. فرستنده‌های جابه‌جایی، نیروی شناور را توسط نیروی تولید دم‌های فیدبک تامین می‌کنند.

فرستنده‌های فشار هم از قوانین مشابه تعادل نیرو برای تولید خروجی توســـط دم دیگر یا دیافراگمی که فشـــار فرآیند را حس کرده و آن را توسط فیدبک خروجی تعدیل می‌کند استفاده می‌کنند. فشارهای مختلف با تغییر اندازه دم یا دیافراگم اداره می‌شوند. فرستنده‌های فشار می‌توانستند (در صورتی‌که لازم بود برای هر رینج فشاری، دم خاصی ساخته شود)، بسیار گران تمام شـــوند، بنابراین در رینج استاندارد توسط تنظیم مفصل بین دو میله متصل به دم و فیدبک قابل تنظیم هستند.

فرســـتنده‌های دما هم به‌طور مشـــابهی کار می‌کنند و فقط نیازمند دریافت حرکت یا نیروی متناســـب با دما هستند تا آن را به سیگنال تبدیل کنند. حســـگرهای بی‌متال از حرکت یا نیروی تولیدی توســـط انبساط اختلاف دمایی مایع برای تولید حرکت اســـتفاده می‌کنند و فرستنده‌هایی

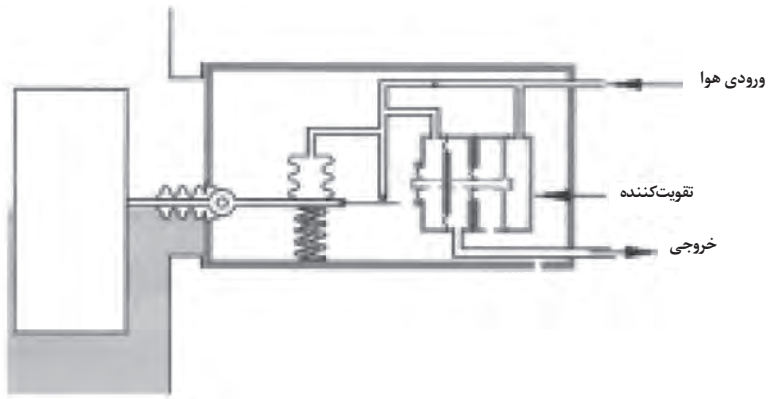


که با گاز پر می‌شوند از افزایش فشار متناسب با دما استفاده می‌کنند.

فرستنده‌های فشـــار الکترونیکی و هد، مقادیر فرآیند را با روش‌های مشابه مذکور برای فرستنده‌های پنوماتیکی حس کرده و نیرو یا حرکت را به ولتاژ یا جریان تبدیل و با اســـتفاده از آهن‌ربای الکتریکی فیدبک تولید می‌کنند. فرســـتنده‌های دما از مقاومت در برابر جریان الکتریکی استفاده می‌کننـــد که این مقاومت با دما تغییر می‌کند. وســـیله دیگر ســـنجش‌ها ترموکوپل است. دو ســـیم از مواد مختلف که انتهای آن‌ها به‌هم متصل اســـت وقتی در معرض اختلاف دما قـــرار بگیرند ولتـــاژ تولید می‌کنند. توجه کنید که دمای مرجع انتهای دو ســـیم باید پایدار باشـــد تا ســـیگنال قابل اطمینانی متناســـب با دما از انتهای دیگر دریافت کند. فرستنده‌های دیجیتال از روش مشابهی اســـتفاده کرده و سیگنال آنالوگ را به دیجیتال تبدیل می‌کنند.

در تمام اهداف عملی تمام سیگنال‌های پنوماتیکی، ولتاژ و جریان، آنالوگ هستند. ســـیگنال معرف مقدار فرآیند است. می‌توانید سیگنال را اندازه گرفته و مقدار فرآیند را از مقدار سیگنال تعیین کنید. سیگنال آنالوگ همین است، مقداری که نشانگر دیگری است.

تفاوت سیگنال‌های دیجیتال در چیست؟ آن‌ها معمولا به‌سرعت از ولتاژ منفی به مثبت تغییر می‌کنند بنابراین هیچ راهی نیســـت که بتوانید یک اندازه‌گیر روی ترمینال‌های ســـیگنال قرار داده و آن را اندازه‌گیری کنید. مقدار سیگنال دیجیتال تابعی از تعداد تغییرات مقدار و زمان بین هر تغییر بوده و به‌قدری پیچیده است که فقط کامپیوتر می‌تواند آن را بخواند. چرا آن‌ها بهتر هستند؟ چون مقدار واقعی مهم نیست. هر مقاومت بزرگ در سیم‌های ســـیگنال ولتاژ مثل ترمینال شـــل می‌تواند خطا ایجاد کند. ســـیگنال‌های دیجیتال متشکل از صفر و یک هستند که صفر، هر چیزی



◄ **شکل(4): تقویت‌کننده فرستنده**

بین 15volt–5 محسوب شده و یکِ هر چیزی بین 15volt تا 5– می‌باشد. این رینج قابل توجه ولتاژ خطاها را به حداقل رسانده و ویژگی‌های دیگر انتقال سیگنال دیجیتال، دقت و قابلیت اطمینان بیش‌تری نسبت به انتقال سیگنال آنالوگ به‌وجود می‌آورد. همه این ویژگی‌ها در کنار هزینه کم‌تر باعث شده این سیستم‌ها جایگزین انواع دیگر شوند.

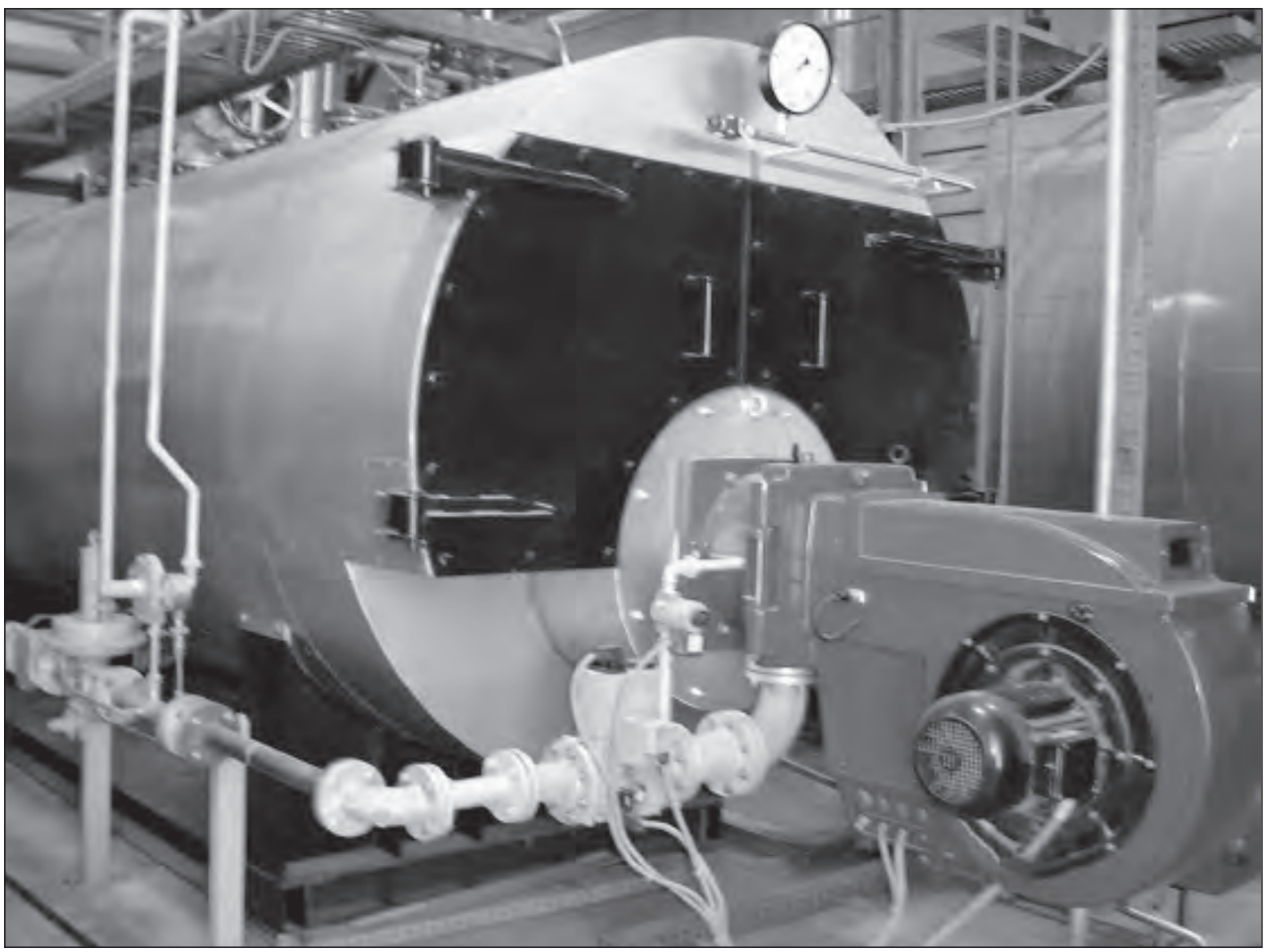
درک من از کاربرد کنترل بر اساس کنترل‌های پنوماتیکی است به‌همین‌خاطر در ارایه مثال برای توضیح مفاهیم از آن‌ها استفاده خواهم کرد. شاید هرگز کنترل پنوماتیکی را در واحدها نبینید اما مفاهیم برای همه نوع سیستم کنترل یکسان است و می‌توان آن‌ها را بسط داد. من حتا از کنترلری که کاملا منسوخ شده هم استفاده خواهم کرد (شکل 5–10).

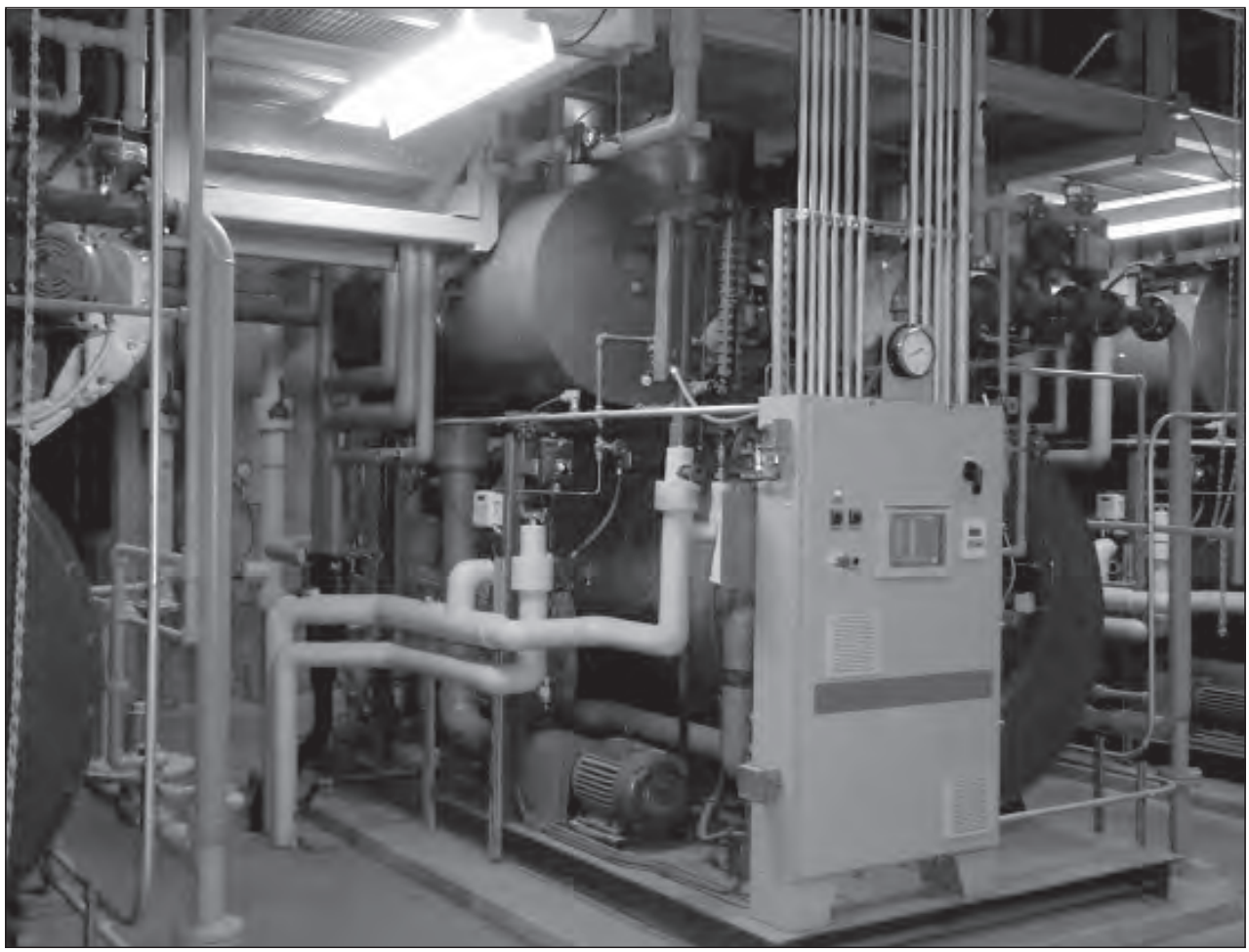
این دستگاه چهار محفظه دیافراگم دارد که می‌توانند با دم هم جایگزین شوند. محفظه‌های خروجی و ورودی A به پایه فرستنده محکم شده‌اند. در وسط بست‌هایی وجود دارند که به پایه و میله متصل می‌شوند. میله در وسط مجموعه قرار گرفته و به دیافراگم‌ها و بست میله متصل است. یک متر خیلی نازک فولادی دو بست را به هم متصل کرده و مفصل کنترلر را می‌سازد. دو بست می‌توانند شل شده و در طول پایه و میله به موقعیت‌های راست و چپ حرکت کنند. شیر در محفظه خروجی شناور بوده و اگر میله به‌طور ساعت‌گرد بچرخد باز شده و هوا وارد می‌شود و اگر باد ساعت‌گرد بچرخد شیر بسته شده و ورود هوا قطع می‌شود.

بیایید با کنترل تناسبی شروع کنیم. آنجایی است که خروجی کنترل متناسب با اختلاف بین مقدار فرآیند و sp باشد. فرض کنید از همان فرستنده سطح قبلی استفاده می‌کنیم تا مقدار فرآیند را تعیین کنیم. پس کنترلر ما برای کنترل سطح استفاده خواهد شد. همچنین فرض می‌کنیم سطح از نوع عامل معکوس است بنابراین افزایش در خروجی کنترلر،

شیر را خواهد بست. وقتی سطح آب مخزن افزایش یابد سیگنال کنترل افزایش خواهد یافت. برای به‌کار انداختن سیستم هر افزایشی در مقدار فرآیند باید خروجی را افزایش دهد تا شیر بسته شود. حال می‌توانیم به دستگاه کنترل نگاه کرده و ببینیم چه‌طور باید متغیر فرآیند را وصل کنیم. دم خروجی در سمت راست میله فشرده می‌شود تا هر افزایشی در خروجی میله را حول مفصل در جهت خلاف عقربه‌ها بچرخاند. این سیستم تعدیل فشار است بنابراین متغیر باید میله را در خلاف جهت بچرخاند تا نیروها متعادل شوند.

اگر میله بخواهد در جهت عقربه‌ها بچرخد هوای بیش‌تری به خروجی و دم آن منتقل می‌شود تا آن را برگرداند. اگر بخواهد خلاف عقربه‌ها بچرخد، شیر ونت باز می‌شود تا خروجی را کاهش دهد. متصل کردن سیگنال از فرستنده تا دم پایین (A) کار را انجام می‌دهد. حال یک تغییر در سطح یک تغییر در خروجی کنترلر به‌وجود می‌آورد تا شیر کنترل را باز یا بسته کند. این کنترلر خیلی شبیه بوستر سیگنال است چون یک تغییر در خروجی ایجاد می‌کند که کاملا مطابق تغییر در ورودی است. با تغییر خروجی فرستنده سطح از حداقل به حداکثر، خروجی کنترلر مقدار مشابهی را تولید می‌کند زیرا سطوح دم یکسان هستند. آن‌ها بیش‌تر شبیه کنترلر شناور کار می‌کنند و مستلزم تغییر سطح در رینج کامل شناور هستند تا شیر کنترل را بین باز و بسته قرار دهند. دلیل استفاده از سیستم کنترل، اصلاح عملکرد شیر کنترل شناور است. می‌توان تغییر سطح را با حرکت دادن مفصل کنترلر به‌طرف خروجی کاهش داد. بیایید کنترلر را طوری تنظیم کنیم تا فاصله از مرکز ورودی فرآیند تا مفصل دو برابر فاصله دم خروجی تا مفصل شود (دو سوم طول میله). حال اگر تغییر سطح، خروجی فرستنده را 1psi تغییر دهد، خروجی کنترلر باید 2psi تغییر کند تا تعادل نیرویی را حفظ کند. تفاوت متناسبی در تغییر سیگنال‌هایی که خروجی آن باید دو برابر ورودی تغییر کند، وجود دارد. این مفهوم کنترل تناسبی است و در این مورد بهره کنترلر 2 می‌شود یعنی خروجی باید دو برابر ورودی تغییر کند. حال کنترلر شیر آب را با نصف تغییر در خروجی فرستنده سطح،



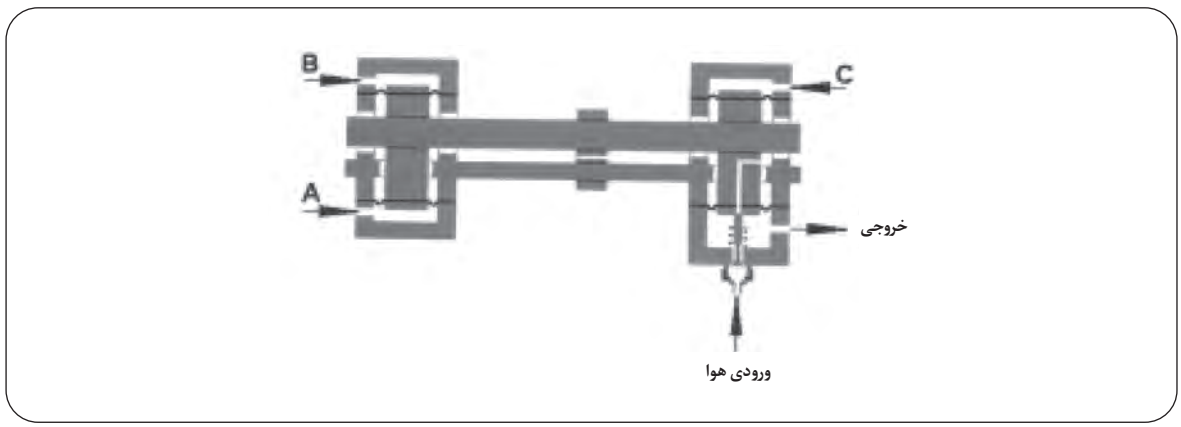


بین ٪75–25 رینج سیگنال باز می‌کند.

می‌توانستیم بهره را به‌قدری افزایش دهیم که تغییر خیلی کمی در متغیر فرآیند به وجود آید تا کورس کامل شیر کنترل را ایجاد کند تا سطح آب زیاد تغییر نکند. این حالت کارآیی خوبی نخواهد داشت چون هر حرکتی در سطح آب تغییر شدیدی در وضعیت شیر به‌وجود آورده و شیر را مستهلک می‌کند. همچنین درجایی‌که خروجی با رابطه کوچکی نسبت به سطح واقعی مخزن تغییر می‌کند نویز وجود خواهد داشت.

برعکس می‌توان بهره را به چیزی کم‌تر از 1 کاهش داد که می‌تواند مشکل دیگری به‌وجود آورد، شیر آب هرگز بسته نشود. ممکن است در بهره‌برداری عادی واحد کار کند اما وقتی واحد خاموش است خروجی کنترلر نمی‌تواند به اندازه‌ای افزایش یابد که شیر را ببندد. بهره خیلی زیاد، سروصدای بالا و کارکرد نامنظم را موجب خواهد شد و بهره خیلی کم باعث عدم کارکرد تحت بارهای زیاد می‌شود.

مشکل این آرایش کنترلر این است که هیچ راهی برای تنظیم sp وجود ندارد. در تمام فعالیت‌های عملی، sp مرکز موقعیت فرستنده است. به منظور داشتن sp قابل تنظیم، از دم B کنترلر استفاده کرده و با سیگنال کنترلی که قابل تنظیم است تغذیه می‌کنیم. سیگنال sp در این مورد توسط رگولاتور فشار هوای ساده تولید می‌شود. با اتصال رگولاتور به دم برعکس آن‌که سیگنال را از فرستنده دریافت می‌کند، یک کنترلر sp ساخته‌اید. حال خروجی کنترلر متناسب با اختلاف (همان خطا) بین sp و سیگنال سطح منتقل شده است. به جای این‌که فقط روی فشار فرستنده شناور عمل کند، به اختلاف بین sp و متغیر فرآیند هم وابسته است. فشار sp روی دیافراگم B عمل کرده و انتهای سمت راست میله را برخلاف سیگنال فرآیندی که از A می‌آید فشار می‌دهد. نیرویی که می‌خواهد میله را بچرخاند معادل تفاوت بین دو فشار ضرب در سطح دیافراگم است. تمام کنترل‌های جدید با سیگنال خطا کار می‌کنند نه سیگنال واقعی. حال تغییرات در خروجی متناسب با تغییرات خطا است نه تغییرات سطح. مهم‌ترین بخشی که باید متوجه شوید این است که شما می‌توانید خطایی



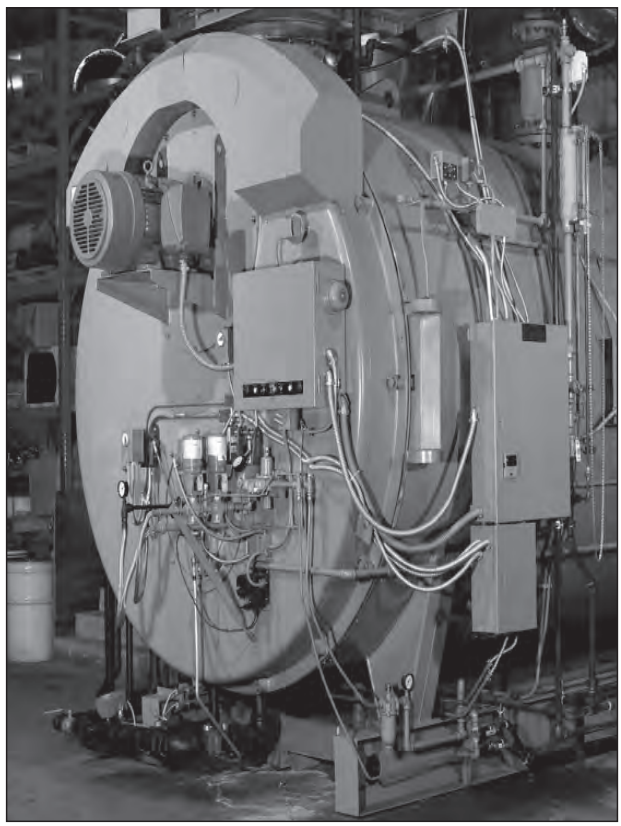
◄ **شکل(5): جمع‌زن نسبت هاگان**

را با تغییر دادن sp ایجاد کنید. بایـد بهره را در این مورد خیلی بیش‌تر از 2 در نظر بگیریم در غیر این‌صورت خروجی به‌اندازه تغییر نمی‌کند تا شیر را کامل باز کند.

استفاده از کنترلر sp امکان بهره‌گیری از چیزی بیش‌تر از رینج کنترل سطح را برای فرستنده فراهم می‌کند. پس می‌توان فرستنده را همچون کنترل برای ابزار دقیق هم اسـتفاده کرد. می‌توانیـم بازوی درازی را به شناور بسته و سیگنال خروجی متناسـب با تقریبا کل ارتفاع مخزن ایجاد کنیم. بنابراین می‌توانیم اندازه سـطح را حتا وقتی در رینج کنترل نیست تعیین کنیم. برای مثال، فرستنده سـطح می‌تواند طوری تنظیم شود که سـطح را از 0 تا 6in نشـان دهد. ما رینج کنترل را انتخاب و بهره کنترلر را مطابق آن تنظیم می‌کنیم. اگر می‌خواهیم کنترل بین 10in انجام شـود باید بهره را روی 6 تنظیم کنیم. اگر sp روی 50in تنظیم شود وقتی سطح به 55in برسد کاملا بسته و در 45in بسـته خواهد شد. می‌توان sp را بین 55in–5 هـم تنظیم کرد. ما باید نصف رینج کنتـرل را رزرو کنیم تا کنترل داشته باشـیم. به‌همین خاطر اسـت که sp نمی‌تواند در جایی بین رینج فرستنده (در زمان اسـتفاده از کنترل تناسبی) قرار گیرد. اگر sp را در 58in قرار دهیم نخواهیم توانست کورس شیر خروجی را کامل کنیم.

شاید حالا از خود می‌پرسـید کنترلی که 10in نیاز دارد تا کار کند آیا در کنترل سطح آب بویلر قابل قبول است؟

اگر مجبور به استفاده از چنین سیستمی شویم باید بهره را 60 بگیریم تا سطح را داخل 1in، sp نگه داریم. دو جواب برای این سوال وجود دارد. اول این‌که ما معمولا حداکثر 2in را برای رینج فرستنده سطح بویلر در نظر می‌گیریم حتا اگر بویلر صد فوت ارتفاع داشته باشد. محدودیت‌های عملی در زمان استفاده از کنترل برای رینج ابزار دقیق وجود دارد اما کنترل تنظیم مجدد پالایشی اسـت که فقط می‌تواند به‌صورت زیبا توصیف شود، sp را



واقعی می‌کند.

برای تبدیل کنترلر موجود به نوع تنظیم مجدد (شکل 6-10) برخی لوله‌ها، شیر سوزنی و یک محفظه کوچک به آن اضافه می‌کنیم. حال کنترلر مستلزم خواص دینامیکی است. تنها زمانی این کنترلر در تعادل است که sp و متغیر فرآیند کاملا برابر بوده و خروجی تغییر نکند. در کنترلر تناسبی، سیستم می‌توانست با نگه‌داشتن سطح در مقداری کم‌تر یا بیش‌تر از sp پایدار باشد. حال سمت چپ کنترلر فقط زمانی متعادل است که خط صفر باشد. هرچند که باز هم ممکن است وقتی فشارهای داخل خروجی و دم تنظیم مجدد متفاوت باشند، خروجی کنترلر تغییر کند.

اگر به‌نظرتان مفهوم قابل اداره‌ای نیست عجله نکنید، چون این سیستم مزایای خوبی دارد که در انتهای بحث آن را تحسین خواهید نمود. بهره‌برداری کنترل تنظیم مجدد سخت است و می‌دانم که بسیاری تکنیسین‌ها درک خوبی از آن ندارند چون به سرعت فکر می‌کنند و نه پاسخ به خطا. کاربرد این دستگاه می‌تواند به درک آن کمک کند زیرا تاثیرات دینامیکی مشهود است. بیایید با یک حالت پایدار که فشار دم خروجی مطابق با فشار در دم تنظیم مجدد بوده و خطا صفر است، فرض کنید متغیر فرآیند افت کرده و خطا تولید می‌کند، عملکرد تناسبی کنترلر به‌سرعت جواب و خروجی را به اندازه خط ضرب در بهره تغییر می‌دهد. همین‌طور فرض کنید خطا فورا با تغییر خروجی تصحیح نشود. چون هم‌اکنون تفاوتی بین کنترل خروجی و دم تنظیم مجدد وجود دارد، هوا از شیر سوزنی به محفظه حجم و دم تنظیم مجدد می‌رود. چون خطا پایداری می‌کند خروجی تا جایی تغییر می‌کند که خطا را تعدیل کند. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که به حد عملکردی برسد (opsig یا اعمال فشار). این اتفاق معمول نیست و معمولا واکنش کنترلر متغیر را به نقطه sp برمی‌گرداند که مزیت خوب این سیستم است. همچنین می‌توانید ببینید که کنترلر در تعادل با هر فشاری در خروجی است. سیگنال خروجی می‌تواند هر چیزی از صفر تا فشار تغذیه باشد که توسط فشار معادل در دم تنظیم مجدد تعدیل شده است و کنترلر تا زمانی که sp و متغیر مساوی هستند متقاعد خواهد بود. برخلاف کنترل تناسبی نیازی به خطا در متغیر نداریم تا به خروجی لازم برسیم.

این نوع کنترل می‌تواند سطح بویلر را در حالی که وضعیت شیر کنترل را از بسته در بار پایین تا حالت کاملا باز در بار زیاد درست در جایی مطلوب نگه دارد. همچنین امکان نگه‌داشتن فشار هد بخار در 120psig چه در آتش کم یا زیاد و حتا زمانی که به‌جای یک بویلر، 5 بویلر را به‌کار می‌بریم فراهم می‌کند. مزیت دیگر این سیستم امکان حفظ دقیق نسبت هوا به سوخت است.

تنظیم این کنترلر خیلی سخت‌تر از کنترلر تناسبی است اما مزایای مضاعف آن (تناسب + انتگرال) برقراری تطابق در فرآیند را تسهیل می‌کند. انتگرال یک مفهوم ریاضی به معنی انباشتن مقدار میانگین است تنظیم شامل تغییر دادن بهره (کنترل تناسبی) و تنظیم مجدد (کنترل تناسبی) و تنظیم مجدد (کنترل انتگرالی) است تا این‌که ترکیب آن‌ها پاسخی به وضعیت نامطلوب که در آن متغیر در مدت کوتاهی به sp برمی‌گردد بدهد. در منحنی خطا - زمان، خطای بزرگ با تغییر سریع در متغیر فرآیند که به‌سرعت به sp نزدیک می‌شود آغاز می‌گردد، کمی از آن فراتر رفته و دوباره برگشته و بر آن منطبق می‌شود. این کار خیلی قشنگی است ولی انجام آن در واقعیت بسیار سخت است.

به‌طورکلی به کنترلر تنظیم مجددی برخورده‌ام که تمام تنظیمات را بلوکه کرده بود (مثل بستن کامل شیر سوزنی)، چون اپراتور تنظیمات آن را نفهمیده بود، فراموش نکنید کنترلر تناسبی مستلزم وجود خطا برای انجام وظیفه است و تلاش آن برای حداقل کردن خطا موجب نوسانات شدید در خروجی خواهد شد که همان ناپایداری است. این نوسانات حاصل عدم پاسخ سریع کنترلر است.

ممکن است چند هزارم تا چند ثانیه طول بکشد تا تاثیر کامل تغییر در خروجی مشاهده شود. تنظیم مناسب کنترلر تنظیم مجدد این مشکل را

رفع می‌کند که شامل بهره و انتگرال اســت. بهره، بخش تناسبی بوده و خروجی خطا ضرب در زمان اســت. خروجی زمانی تغییر می‌کند که خطا تغییر کند. انتگرال، تعدیل تنظیم مجدد بوده و مقدار خطا ضرب در مقدار انتگرال را تکرار می‌کند. توجه کنید تاثیر تنظیم مجدد تکرار خطا اســت. تنظیم انتگرال معمولا نشــانه‌گذاری می‌شود تا شاخص تکرارها بر دقیقه باشد. یعنی اگر انتگرال روی 60 تکرار بر دقیقه تنظیم شده، خروجی را با مقداری معادل با خطا در هر ثانیه افزایش یا کاهش می‌دهد.

تنظیم مناســب بهره و انتگرال امکان بازگشت سریع و راحت فرآیند به sp را فراهم می‌کند. حــال که نحوه کار کنترلر را یاد گرفتید انتخاب نوع تنظیم و جهت چرخش را که گام بزرگی در تنظیم کنترلر اســت به درستی انجام خواهید داد.

تنظیم بهره کنترلرهای قدیمی خیلی پیچیده‌تر از انواع جدید است. به این منظور باید دو ســری پیچ را که فنر مفصل را نگه‌می‌دارد باز کرده و آن را جابه‌جا و سفت نمود. با این کار خروجی نامیزان شده و باید آن را مجددا تنظیم نمود. بهره را در کنترل‌های مدرن می‌توان بدون تاثیر در خروجی تنظیم کرد. اگــر بهره را افزایش دهید خروجی مطابق با خطا بیش‌تر تغییر خواهد کرد. خطا همان اختلاف بین نقطه تنظیم شده (sp) و متغیر فرآیند است.

تنظیم انتگرال دســتگاه قدیمی (کامل‌کننده نسبت)، کار را زیاد دچار اشــکال نکرد چون تنظیم شیر ســوزنی آن تاثیری را که جذب میله برای

تنظیم بهره داشـــت، ندارد. اگر شیر ســـوزنی را باز کرده‌اید تعداد تکرار بر دقیقه را افزایش داده‌اید چون هوا می‌تواند ســـریع‌تر در آن جاری شـــود. بستن شیر تکرارها را کم کرد.

مثل تنظیم کنترلـــر، بهره یا تنظیم مجدد را برای متعادل کردن جذب سیستم تنظیم می‌کنید. اگر تغییر در خروجی کنترلر به‌سرعت متغیر را تغییر می‌دهد می‌توان اکثر کارکرد کنترل را به‌عهده کنترل تناســـبی گذاشت. اما اگر سیســـتم به کندی به خروجی کنترلر جواب می‌دهد تنظیم انتگرال خیلی حساس اســـت. آنچه هنگام بروز خطا اتفاق می‌افتد، نحوه تنظیم کنترلر را به شما نشان خواهد داد.

هنگام راه‌اندازی سیســـتم جدید، من کنترلر را با اســـتفاده از برخی تنظیمات اولیه که میانگینی برای سیستم‌های قابل مقایسه است تنظیم کرده و ســـپس به حالت خودکار تغییر می‌دهم تا نتیجه را ببینم. نوسانات سریع متغیر نشان‌دهنده ناپایداری است که باید سریعا بهره را کاهش داد. ســـپس به آرامی آن را افزایش داده و به‌طور دقیق تنظیم نمود. اگر فرآیند در اثر تاثیرات خارجی تغییر نمی‌کند باید خطا تولید کرده و نتیجه را مشاهده نمود. کارکردن با خطایی که خودتان ایجاد می‌کنید خیلی راحت‌تر اســـت چون به‌طور عمد مقدار قابل قبول و راحتی مثل ٪10 یا 5، 1 برای آن قرار می‌دهید.

چه‌طور خطا ایجاد کنید؟ کافی اســـت sp را تغییـــر دهید. اگر فرآیند خیلی بیش‌تر از sp است، بهره را کاهش دهید. اگر به‌نظرتان این کار طول خواهد کشـــید انتگرال را افزایش دهید. اما اگر sp برگشته و زیاد نوسان می‌کند انتگـــرال را کاهش دهید. اگر فرآیند به آرامـــی به sp برمی‌گردد، انتگرال را افزایـــش دهید تا کمی از sp فراتر برود. معمولا تغییرات در یک تنظیم مستلزم تغییر معکوس دیگری در زمانی است که به مشخصه‌های مطلوب کنترلر نزدیک می‌شوید. افزایش بهره احتمالا مستلزم کاهش در تنظیم مجدد و برعکس می‌باشد.

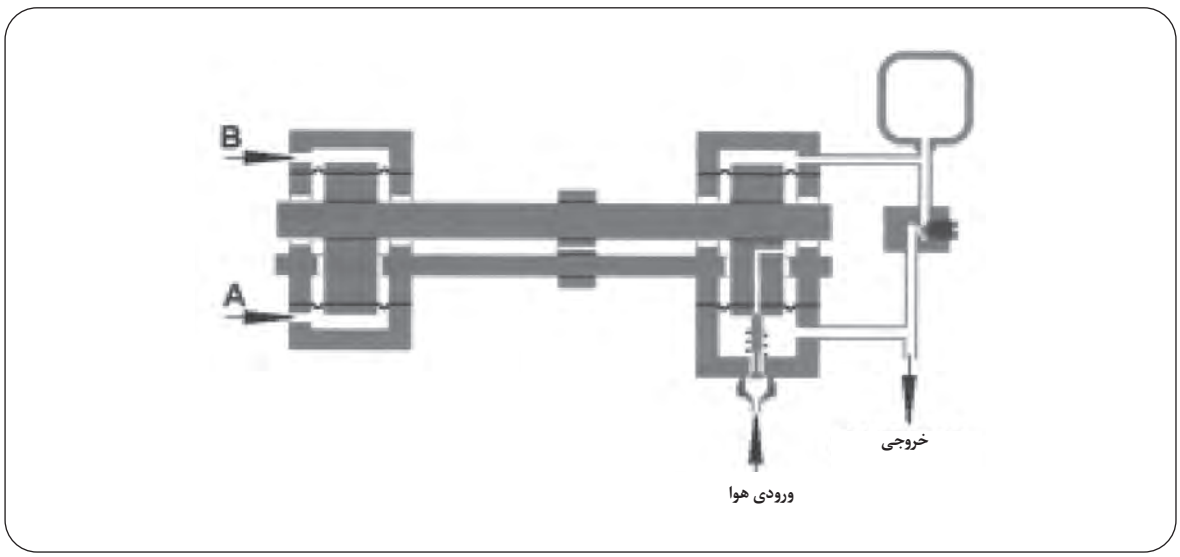
شـــکل (7)، تفســـیر من از آن شـــکل عمودی اســـت کـــه در تمام دســـتورالعمل‌های تنظیم کنترلر می‌بینید. خوشبختانه بحث قبلی، آن را برایتان ملموس‌تر می‌کند. دریافت خروجی شـــکل روی نگارنده یا وسیله دیگر که بتوانید با چیزی مثل شکل (7) مقایسه کنید سخت بود اما امروزه می‌توانید از نگاره استفاده و پروسه را تسریع کنید.

حال باید بگویم که روال همیشـــه به این ســـادگی نیســـت. برخی سیستم‌ها طوری تنظیم شده‌اند که هر 5 ثانیه تا یک دقیقه ثبت شوند. در این صورت هر نگاره‌ای که به آن نگاه می‌کنید می‌تواند به‌کلی نوســـاناتی را که به‌وجـــود آورده‌اید رفع کند. کاملا مراقب ایـــن محدودیت بالقوه در داده‌های الکترونیکی باشید.

در تنظیم کنترلرها هیچ جایگزینی برای تمرین به منظور کسب تجربه

وجود ندارد. اگر می‌خواهید با کنترلر در حال کار تمرین کنید باید تنظیمات بهره و انتگرال را قبل از شروع به تمرین ثبت کنید تا در انتها آن‌ها را مجددا ذخیره کنید. اگر پس از ذخیره کنترلر مثل سابق کار نکرد تنظیم را از جهت مخالف انجام دهید. این ایراد ممکن اســـت ناشـــی از پسماند باشد، که مربوط به اصطکاک در سیستم‌ها است اما می‌تواند تقریبا در هر وضعیتی اتفاق بیفتد. بهتریـــن راهی که من برای توضیح آن می‌شناســـم مربوط کردن به عملکرد شـــیر کنترل پنوماتیکی بدون مســـتقرکننده است. شیر کنترل شکل (8–10) شامل یک محفظه در بالای دیافراگم است که فشار کنترل می‌تواند روی ساقه شـــیر و فنری که در برابر نیرو مقاومت می‌کند فشار وارد آورد.

بدون پســـماند موقعیت شـــیر می‌تواند کاملا متناسب با فشار کنترل باشـــد. نیروی وارده معادل مســـاحت دیافراگم ضرب در فشـــار کنترل خواهد بود. برای ســـیگنال کنترل 3–15psig و ســـطح دیافراگم $50in^2$، نیرو از 150lb در ســـیگنال صفر تا 750lb در ٪100 آن می‌رسد. فنر فشرده می‌شـــود تا نیروی 150lb را زمانی‌که شیر بسته است تعدیل کند. اگر ثابت این فنر 600 باشد در صورتی‌که کورس شیر 1.5in باشد ثابت فنر 400lb/in (600÷1.5) خواهد شد.



◄ **شکل(6): جمع‌زن با متعلقات تنظیم مجدد**

اما در مورد پسماند پکینگ شیر در ساقه آن سفت است تا از نشتی آن جلوگیری کرده و ساقه شـــیر را هم در جای خود نگه می‌دارد. اصطکاک همیشه برخلاف حرکت ساقه عمل می‌کند، بنابراین علیه نیروی دیافراگم فشار وارد خواهد کرد. این کار موجب بروز اختلاف در موقعیت شیر برای سیگنال داده شده بســـته به باز و بسته شدن شیر خواهد شد. گراف شکل (9) منحنی پسماند است که به شیر فوق اعمال می‌شود.

پســـماند مکانیکی تنها چیزی نیســـت که در موقعیت شیر کنترلی که مستقیما با سیگنال کنترل کار می‌کند اختلاف ایجاد کند. تفاوتی در مقدار هوایی که کنترلر باید بســـته به موقعیت شـــیر عبور دهد وجود دارد چون حجم دیافراگم با تغییر موقعیت شـــیر افزایش و کاهش می‌یابد تا عملکرد کنترلر را دچار اختلال کند.

مشکلاتی مرتبط با سیال کنترل شده هم وجود دارد. وقتی شیر بسته است تفاوت فشار ورودی و خروجی شیر روی سطح دریچه شیر عمل کرده و نیروی دیگری بر ســـاقه شیر وارد می‌کند. اگر این شیر، شیر کنترل بویلر است وقتی بویلر در مدار باشـــد بهترین کارکرد را خواهد داشت اما وقتی خاموش باشد نشـــت خواهد کرد چون افت فشار در شیر به‌قدری بالاست که بر نیروی کنترل فشار غلبه می‌کند. می‌توانید با اطمینان از بسته ماندن شیر با ترکیب مســـاحت دیافراگم و فشـــار محفظه بر این مشکلات غلبه کنید. افزودن مستقرکننده هم کمک می‌کند چون می‌تواند با فشار عملگر بیش‌تری کار کند.

مستقرکننده‌ی شیر یک کنترلر دیگر است که با مقایسه موقعیت واقعی با سیگنال کنترل موقعیت شـــیر را کنترل می‌کند. سیگنال کنترل یک sp

ریموت می‌شـــود چون در جای دیگری تولید می‌شود. یک مستقرکننده نســـبتا ساده در شـــکل (10) نشان داده شده اســـت. sp ریموت سیگنال پنوماتیکی است که به مستقرکننده می‌آید.

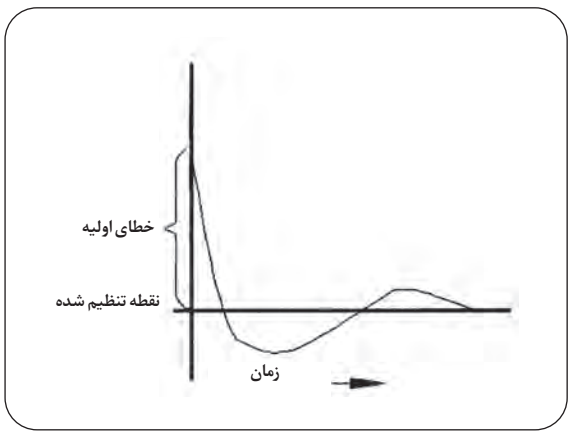
تغییرات ســـیگنال، کنترل نیرو در دیافراگم را تغییر می‌دهد. بنابراین فنر، فشرده یا باز می‌شود تا وضعیت شـــیر را برای وارد یا خارج کردن هوا به دیافراگم تغییر دهد. فشار در دیافراگم مثل خروجی کنترلر تنظیم مجدد است. مستقرکننده می‌تواند فشار تغذیه بیش‌تری نسبت به رینج سیگنال کنترل اســـتفاده کند تا بر هد فشار زیاد شیر و اصطکاک پکینگ سفت شده غلبه کند.

به‌نظر مـــن تمام شـــیرهای موجود در واحـــد بویلر بایـــد مجهز به مســـتقرکننده باشـــند. امروزه بـــا ســـیگنال‌های کنتـــرل الکترونیکی مستقرکننده باید فشار هوا را برای مطابقت با سیگنال الکترونیکی تنظیم کند. یک مستقرکننده ساده دو شـــیر برقی یکی برای ورود هوا و دیگری برای تخلیه آن دارد.

فکر می‌کنـــم الان زمـــان خوبی بـــرای صحبت دربـــاره انحلال تنظیم مجدد است چون مســـتقرکننده و کنترلرهای تنظیم مجدد چنین مشـــخصه‌ای دارند. شـــیر کنترل آب تغذیـــه مثال خوبی اســـت. یک مستقرکننده روی شیر قرار می‌دهیم و فشـــار دیافراگم عملگر شیر وقتی بویلر خنک شـــد از دست رفت چون بایستی بر فشار آب تغذیه که در تلاش برای باز کردن شیر اســـت غلبه می‌کرد. با تحت بار قرار گرفتن بویلر فشار عملگر تغییر نکرد. وقتی بویلر شـــروع به تولید بخار کرده و سطح آب افت کند کنترلر سطح سیگنال کنترل را افزایش می‌دهد. در بهره‌برداری نرمال ممکن اســـت شیر ســـریع‌تر جواب دهد اما پس از خاموش شدن این‌طور نخواهد بود. علت این است که مستقرکننده باید تمام هوا را که در دیافراگم متراکم شـــده بود، تخلیه کند تا با تولید فشار کافی شیر را در برابر فشار آب تغذیه بسته نگه دارد.

کنترل‌هـــای پنوماتیکی اصل چنین کاری انجـــام می‌دادند و تعریف صفر زنـــده آن را در هر دو طرف رینج ســـیگنال کنترل به‌وجود آورد. یک کنترلر 3–15psig می‌تواند به خروجی معادل فشار تغذیه استاندارد 18psig یا خروجی صفر منتهی شود. اگر آن یک حالت ارادی نباشد خروجی نهایتا متغیر فرآیند را در جهت صحیح قرار داده و به sp باز خواهد گشـــت. ولی باقی نمانده و از آن رد خواهد شد چون خروجی تغییر نکرده است. با وجود کنترلر تنظیم مجدد چنین نخواهد شـــد چون خروجی در یکی از دو انتها است.

وقتی خطا در جهت مخالف باشـــد خروجی تغییر خواهد کرد. در این دوره وقتی کنترل از صفر تشـــکیل می‌شود یا از فشـــار تغذیه افت می‌کند وسیله کنترل‌شده (مثلا شیر) جواب نمی‌دهد چون فقط به سیگنال‌های



◄ **شکل(7): منحنی خطای کنترلر – زمان، راهنمای تنظیم**

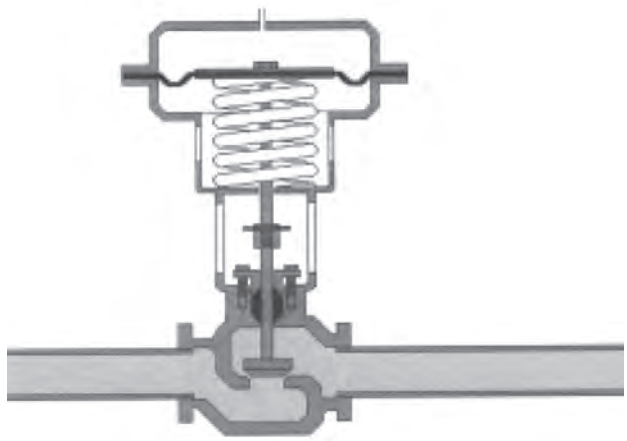
داخل رینج کنترل پاســـخ می‌دهد. نتیجه، یک تاخیر طولانی (چند ثانیه) قبل از برگشتن خروجی به رینج کنترل عادی است بنابراین متغیر در تمام محل نوســـان می‌کند. این تاثیر انحلال تنظیم مجدد است. شما چنین چیزی را در کنترلرهای جدید نخواهید دید، چون طراحان سعی در حذف

آن داشته‌اند. شـــاید با آن در مستقرکننده‌های شـــیر و عملگرهای دمپر مواجه شوید.

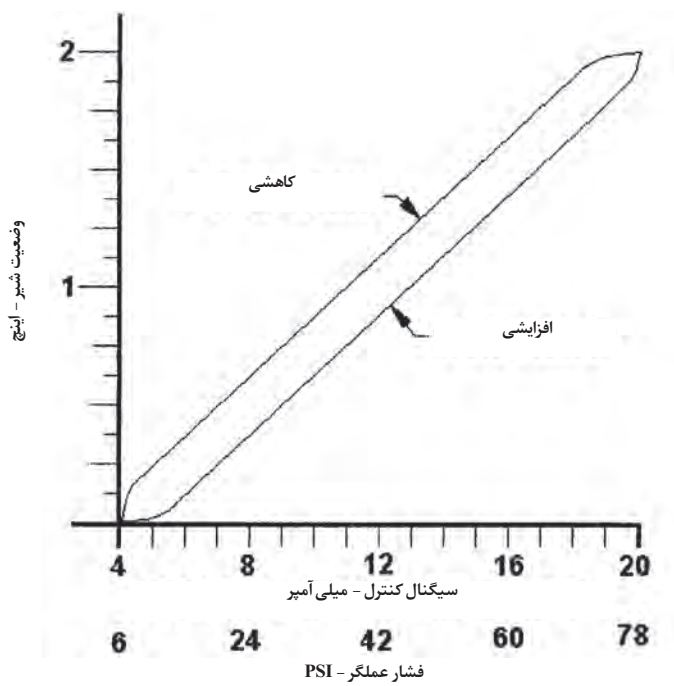
انحلال تنظیم مجدد تنها مشکل موجود نیست. احتمالا لغات بدون رویه و بدون نوســـان را در مورد کنترلرها خواهید شنید. اگر در واحد خیلی قدیمـــی کار کنید می‌توانید مفهوم آن‌ها را بهتر درک کنید. سیســـتم‌های پنوماتیک قدیمی که تجهیزاتی مثل تکمیل‌کننده نسبت دارای واحدهای مجزای دستی یا خودکار بودند روی پانل کنترل نصب شده و امکان کنترل دستی را فراهم می‌کردند. شکل (11) چنین واحدی را نشان می‌دهد.

تنظیم sp چیزی بیش‌تر از رگولاتور فشـــار دارای یک دگمه در جلوی صفحه نبود. sp روی یک فشارســـنج که در بالای دگمه قرار گرفته نشان داده می‌شد. خروجی کنترلر هم روی فشارسنج دیگری نشان داده می‌شد و یک رگولاتور فشار دیگر سیگنال خروجی دستی را تولید می‌کرد. دسته موجود در وســـط نیز برای ســـوییچ بین حالات خودکار و دستی قرار داده شـــده بود. اگر این دسته را بین حالات عوض می‌کردید در حالی‌که sp این دو با هم متفاوت بود مسلما شاهد یک انفجار در بویلر می‌بودید. خروجی ممکن بود از خروجی تولید شده توســـط کنترلر به تنظیمات حالت دستی بپرد. برای جلوگیری از بروز چنین حادثه‌ای این دســـته دارای وضعیت وسط هم بود تا خروجی‌ها را با هم مطابقت دهد. در زمان سوییچ از حالت خودکار به دستی، نشانگر عوض می‌شـــد تا سیگنال دستی را نشان دهد و شما بایستی آن را قبل از رســـاندن به حالت دستی تنظیم می‌کردید تا با خروجی خودکار منطبق شـــود. در حالت برعکس یعنی ســـوییچ از حالت دستی به خودکار نیز باید چنین فرآیندی را تکرار می‌کردید. همان‌طور که می‌بینید می‌بایستی فرآیند تطابق سیگنال را طی انتقال بین حالات دستی و خودکار انجام می‌دادید و در غیر این‌صورت... انفجار.

این پانل‌های کهنه تا زمانی که نشتی نداشتند و شما فرآیند را به‌سرعت انجام می‌دادید به‌خوبی کار می‌کردند. من از منســـوخ شدن آن‌ها متاسف شـــدم چون می‌توانستم خروجی دســـتی مورد نظرم را در موارد مقتضی اعمال کنم.



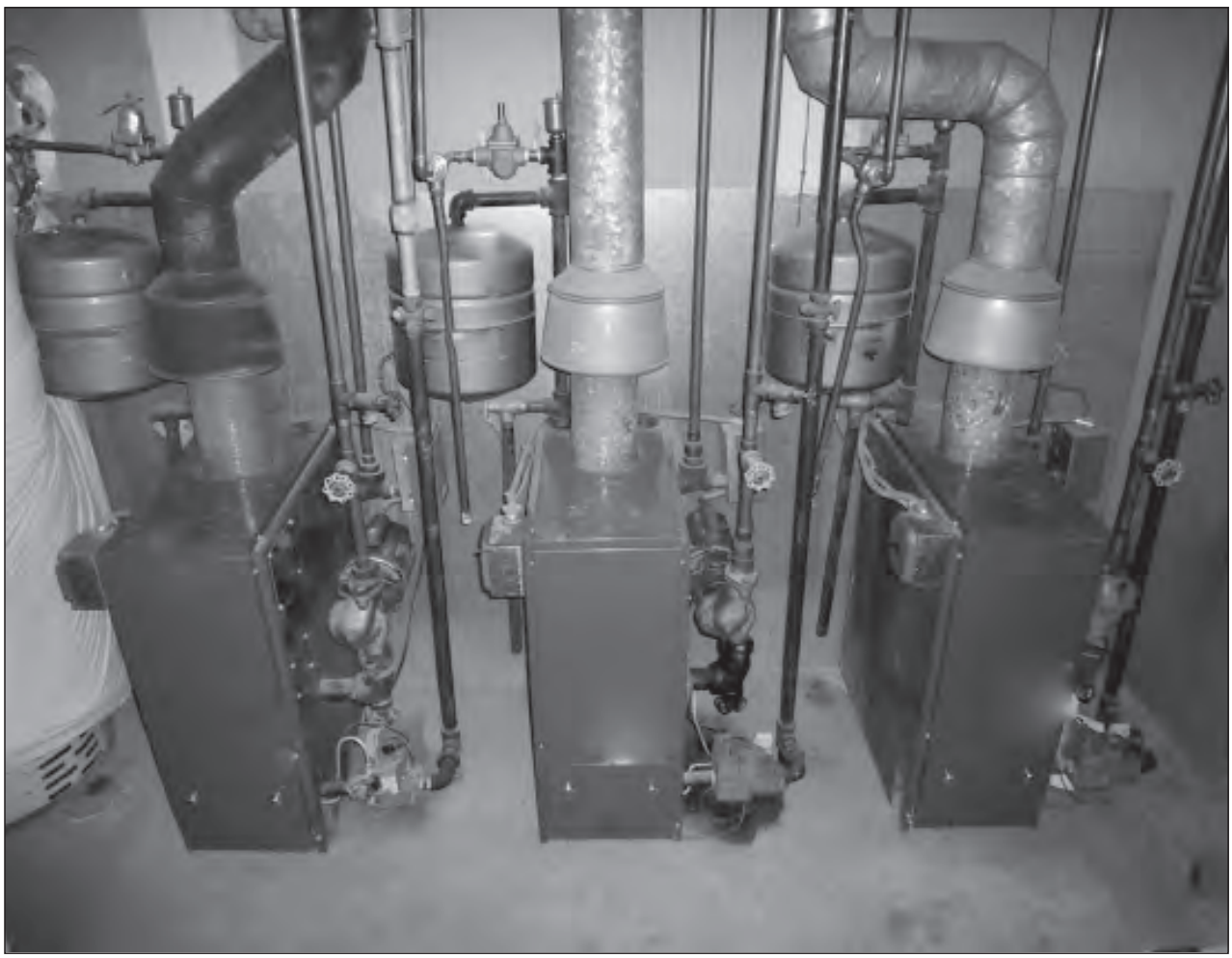
◄ **شکل(8): شیر کنترل پنوماتیکی ساده**



◄ **شکل(9): منحنی پسماند**

شاید با کنترلرهای دارای نشانگر تعادل هم مواجه شوید که شامل یک لوله پلاستیکی شـــفاف در روی پانل کنترلر به‌همراه یک گوی کوچک در داخل لوله بود که لقی خیلی کمی داشت. یک طرف آن به خروجی دستی و طرف دیگـــر به خروجی خودکار متصل بود و در هنگام ســـوییچ حالات بایستی تنظیم را طوری انجام می‌دادید که گوی در وسط قرار گرفته و بعد دسته سوییچر را به حالت مورد نظر می چرخاندید.

با اصلاح کنترل هـــای پنوماتیکی، ســـازنده‌ها کنترلرهای کوچک دیگری در داخل دستگاه‌ها قرار دادند تا سیگنال خودکار به‌صورت خودکار

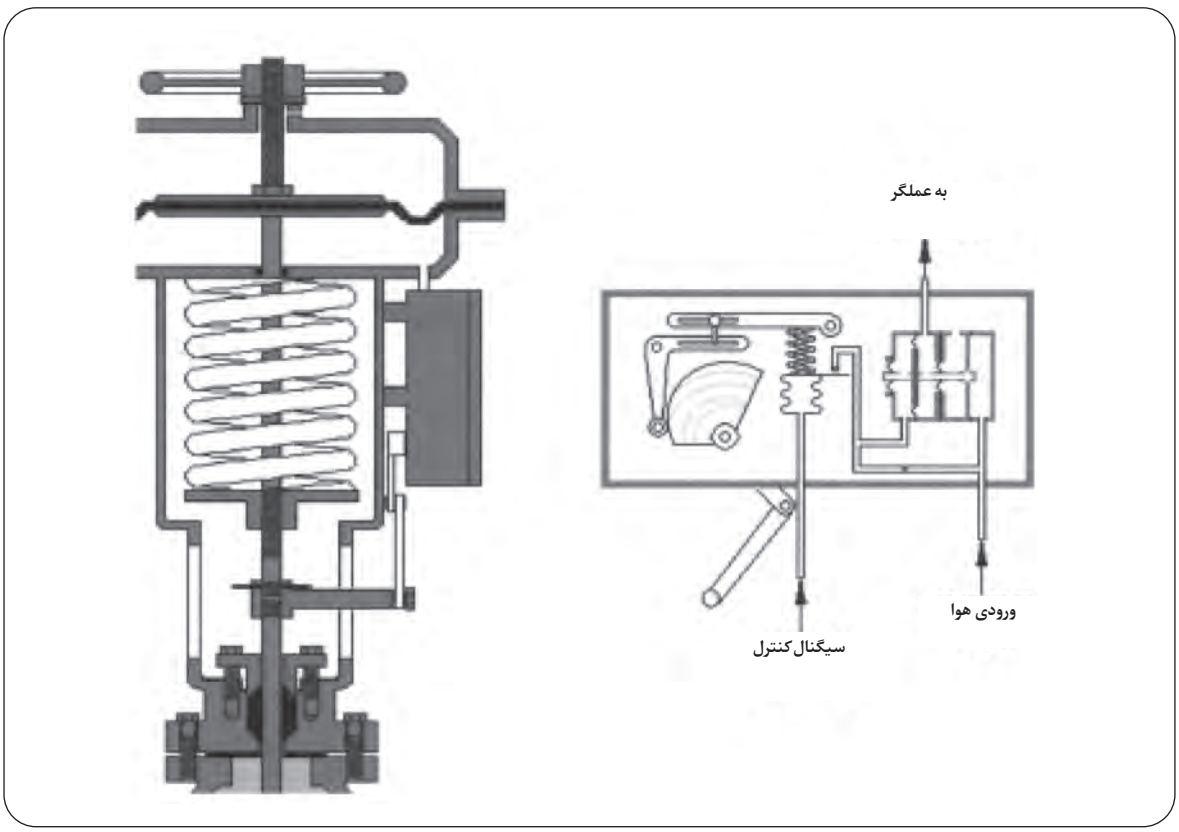


پیرو خروجی دستی شود. خروجی دستی هم به‌طور خودکار تنظیم می‌شد تا مطابق حالت خودکار شده و امکان انتقال بدون فرآیند و بدون انفجار را بین حالات دستی و خودکار برقرار کند. کنترلرهای الکترونیکی همچنین رویه‌ای داشتند. کنترلرهای مدرن هم عملگرهای مشابهی دارند.

بایاس از لغاتی است که مهندسان کنترل برای عملیات جمع و تفریق استفاده می‌کنند. این کارکرد در کنترلرها زیاد اتفاق می‌افتد اما شما آن را نمی‌بینید. این یک بخش جدانشدنی در پانل‌ها شد که توسط یک رگولاتور کنترل انجام می‌شد و خروجی رگولاتور ترکیبی از خروجی کنترلر و فشار وارد بر فنر بود. تنظیم دستی فنر را بارگذاری می‌کرد و در کل چیزی شبیه شکل (12) بود. وقتی طراحان متوجه شدند که اپراتورها از تنظیم این فنر برای ایجاد اختلاف در خروجی حالات دستی و خودکار استفاده می‌کردند پانل دیگری به‌نام پانل بایاس ساخته و رگولاتور را روی آن قرار دادند.

فکر می‌کنم اطلاعات کافی درباره کنترل‌ها ارایه کرده‌ام و شما می‌توانید اکثر مشکلاتی را که ممکن است با آن‌ها مواجه شوید رفع نمایید. اگر بتوانید لغات تناسبی، انتگرال و بایاس را به هم ربط دهید دنیای کنترل‌ها برایتان ملموس‌تر می‌شود. حال شاید بپرسید کنترل اشتقاقی چه فرآیندی است؟ شما لغت اشتقاقی را به‌ندرت استفاده خواهید کرد چون در کاربردهای خاص به‌کار می‌رود.

کنترل اشتقاقی را می‌توان نرخ نامید که ویژگی مفیدی در سیستم‌هایی است که فرآیند به‌سرعت در آن‌ها تحت تاثیر عوامل بیرونی دچار مشکل می‌شود. وقتی هیچ رابطه‌ای بین آنچه خروجی، کنترل می‌کند و عامل مشکل وجود ندارد، کنترل اشتقاقی یک ضرورت است. دستگاه کامل‌کننده نسبت را به کنترلر نرخ تبدیل می‌کنیم که چیزی مثل شکل (13) است. بدون هیچ تغییری در متغیر فرآیند، خروجی کنترلر معادل خروجی کنترلر تنظیم مجدد است. کنترل نرخ با تغییرات متغیر فرآیند اتفاق می‌افتد. تغییر آرام متغیر تاثیر کم‌تری در خروجی خواهد



◄ **شکل(10): مستقرکننده شیر ساده**

داشت چون هوای کنترل به‌قدری سریع از شیر سوزنی تخلیه می‌شود که فشار در دم تقریبا یکسان باقی می‌ماند. در صورت انجام سریع تغییر، هوا نمی‌تواند به‌سرعت از شیر تخلیه شود در نتیجه اختلال حاصل، افزایش یا کاهش شدیدی در خروجی به‌وجود می‌آورد.

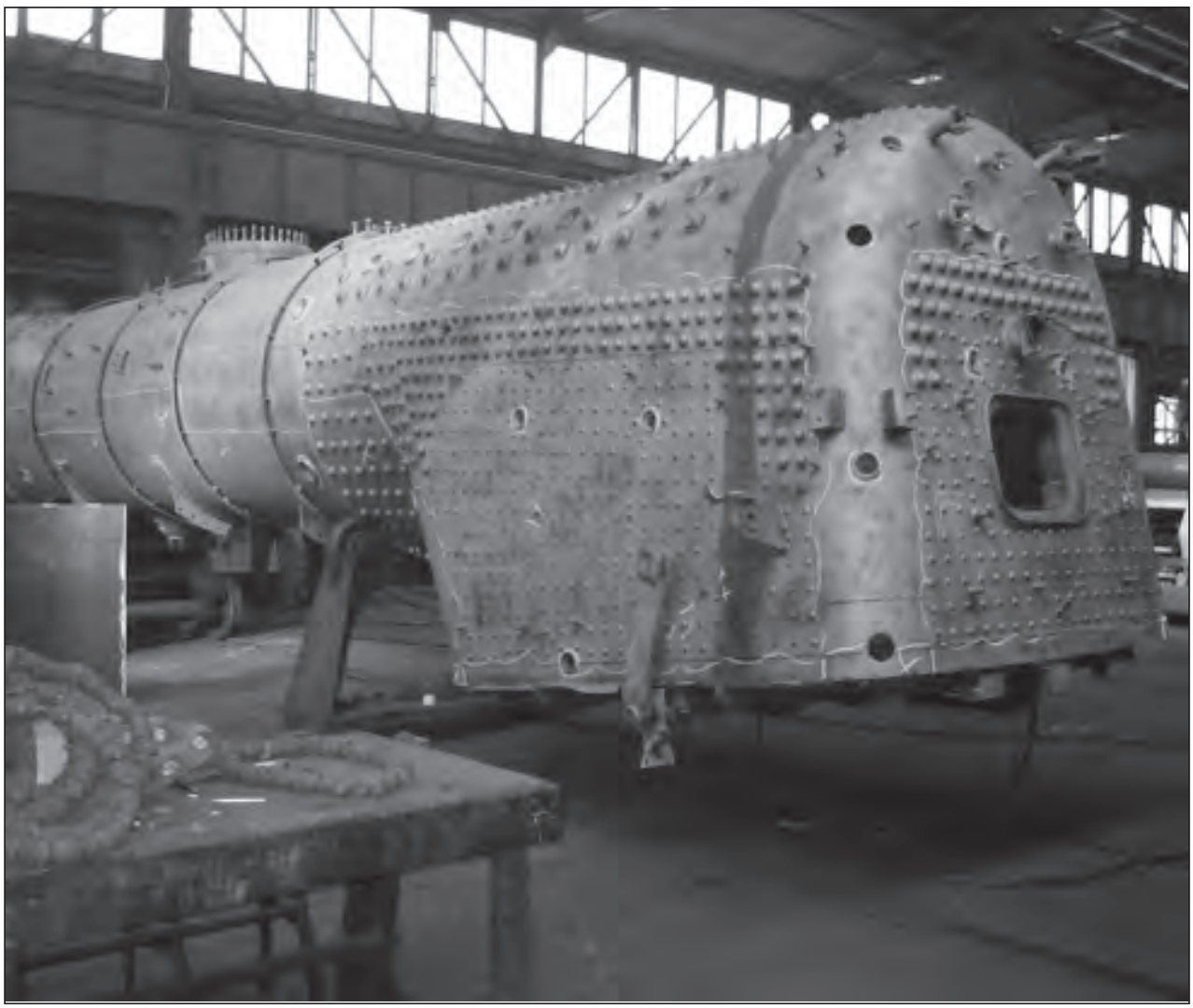
برخی سازنده‌ها این دستگاه را کنترلر پیش‌عملگر می‌نامند چون خروجی نهایی را بر اساس عمل متغیر فرآیند تغییر می‌دهد. شما می‌توانید ببینید خروجی این دستگاه چه‌قدر مطابق با نرخ تغییر متغیر فرآیند تغییر می‌کند. وقتی متغیر از تغییر باز می‌ایستد خروجی اشتقاق همیشه صفر است. علت این نام‌گذاری هم تناسبی بودن خروجی با نرخ تغییر ورودی بوده و تنظیمات برحسب تکرار در دقیقه است.

برای داشتن درکی از این‌که در کجا می‌توانید از کمک کنترل نرخ استفاده کنید سیستم حفظ سطح یک مخزن را در نظر بگیرید اما مخزن یک شیر تخلیه اضافی دارد که به‌طور دستی کنترل می‌شود. اگر سطح نرمال است و هیچ جریانی از مخزن خارج نمی‌شود، کنترلر تنظیم مجدد مقدار حداقل را در نظر گرفته و شیر تغذیه را خواهد بست.

حال یک نفر تخلیه دستی را کاملا باز می‌کند. سطح ناگهان شروع به افت کرده و کنترلر تنظیم مجدد به اندازه کافی سریع پاسخ نمی‌دهد تا از این افت جلوگیری کند. کنترل نرخ تغییر سریع را متوجه شده و دستور می‌دهد شیر خروجی سریعا باز شود.

افت دیگری که باید بدانید اتصال سری (cascade) است که معنی آن استفاده از خروجی یک کنترلر به عنوان ورودی در کنترلر دیگر می‌باشد. کنترل‌های سری، زمانی مفید هستند که خروجی یک فرآیند وارد دیگری می‌شود. تغییرات فرآیند اول که ناشی از خروجی کنترلر هستند تغییرات متناسبی در فرآیند دوم به‌وجود می‌آورد و می‌توانید تاثیر بر کنترلر دوم را با استفاده از خروجی کنترلر اول به عنوان ورودی کنترل دوم کاهش دهید. معمولا کنترل سطح درام و فشار کوره در بویلر توسط کنترلر سری انجام می‌گیرد.

لغاتی از این دست در صنایع مختلف فراوان است ولی دیگر امکان افزودن به تعداد آن‌ها در این کتاب وجود ندارد. شما باید مفهوم آن‌ها را با دقت در نقشه‌های کنترل درک کنید. تعداد لغات محدودی در خواندن نقشه‌ها قبل از ورود به فرآیندهای کنترل مخصوص بویلر مفید خواهند بود.



نقشـــه‌های کنتـــرل، دیاگرام‌هایـــی روی کاغذ هســـتند که معرف المان‌های سیستم کنترل در فرآیند و نحوه اتصال آن‌ها به هم می‌باشند. هر چیز خیلی پیچیده‌تر از سیســـتم ساده کنترل تناســـبی معمولا چنین نقشه‌ای دارد. نقشـــه‌های کنترل همان نقشه‌های PID نیست. PID، حد فرآیند و مکان قرار گرفتن فرســـتنده‌ها و اجزای کنترل را در فرآیند نشان می‌دهد.

نقشـــه‌های کنترل نحوه اتصال فرســـتنده‌ها و اجـــزای کنترل را در سیســـتم برای کنترل فرآیند نشـــان می‌دهند. نقشـــه‌ای خوب است که فرستنده‌ها را در بالای شِما و اجزای کنترل را در پایین نشان دهد تا جریان از ورودی به خروجی رو به پایین باشـــد. خطوط موجود در نقشه نشانگر جریان اطلاعات اســـت اما شاید نحوه ارسال را مشـــخص نکند. آن‌ها ممکن است سیگنال فرآیند مثل 3–15psig پنوماتیکی یا 4–20mA جریان باشـــد. اما می‌تواند دیجیتال یا یک چیز خاص مثل نور (مثل فیبر نوری) باشد. دانستن نحوه ارسال سیگنال برای درک عملکرد سیستم ضروری نیست مگر این‌که بخواهید آن را تعمیر کنید.

نقشـــه کنترل تک حلقـــه‌ای ســـاده‌ای را در شـــکل (14) می‌بینید. نقشه‌های سیســـتم‌های دیگر که در ادامه آورده شده درک شما را از آن‌ها اصلاح خواهد کرد. این حلقه، سیستم کنترل سطح است که قبلا تشریح شده و در نمادشناســـی نقشه کنترل ارایه شده اســـت. در این نقشه‌ها از نمادهای اســـتاندارد (تایید شده توســـط اتحادیه ابزار دقیق آمریکا ISA و اتحادیه سازندگان تجهیزات علمی SAMA). استفاده می‌کنند.

فرستنده سطح (LT) سیگنال متغیر فرآیند را که وارد کنترلر می‌شود،

تولید می‌کند. خط رونده به کنترلر معرف سیگنال سطحی است که از فرستنده به هر وسیله‌ای که سیستم کنترل دیکته کرده به‌طرف کنترلر می‌رود.

sp کنترلر (سطح مطلوب آب) در کنترلر ایجاد و با A نشان داده شده است. این نشانه معرف خروجی آنالوگی است که به‌طور دستی ایجاد شده. K در داخل چهارضلعی بیانگر کنترل تناسبی بوده (معمولا مهندس‌ها از حرف K برای نشان دادن مقدار ثابت استفاده می‌کنند و بهره کنترلر تناسبی مقدار ثابتی است که خطا را به آن ضرب می‌کنیم) و نشانه بعد از + نماد انتگرال است. شاید بپرسید چرا؟ ما در مورد PID صحبت می‌کنیم که حالا در K+ ظاهر شده، چرا؟ چون مهندس‌ها از نمادهای روی نقشه‌ها برای گفتن عملکردها و گیج کردن سایر مهندس‌ها استفاده می‌کنند. شوخی کردم. در ISA مجموعه نمادها در وسط توسط یک دایره با PID در داخل آن جایگزین می‌شود تا معرف کنترلر باشد. این روش جزییات بیش‌تری را نشان می‌دهد.

لوزی به همراه T در خروجی کنترلر نماد سوییچ انتقال است (مثل دستی به خودکار) و لوزی خروجی آنالوگ مجاور آن معرف مدار خروجی دستی است. من در نقشه‌های خود دایره‌های کوچکی با حرف S در داخل آن را برای نشان دادن مقدار سیگنال کنترل قابل اعمال در گیج یا خروجی مریی دیگر استفاده می‌کنم تا اپراتورها مقدار آن را بدانند. من آن را در LT نشان داده‌ام. داشتن آن در زمانی‌که فرستنده، راه دور بوده و یا چند طبقه از اتاق کنترل فاصله دارد مفید خواهد بود.

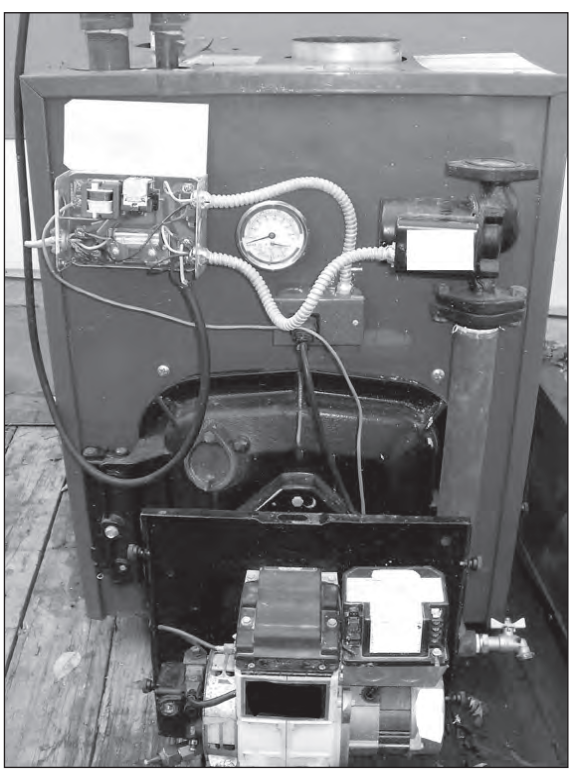
این کنترلر باید متغیر فرآیند، sp، تنظیمات خروجی دستی و خروجی کنترلر را نشان دهد و می‌تواند از برخی لوازم سوییچ فقط با یک نمایشگر استفاده کند. پس هر بار فقط یکی را نشان می‌دهد. خواهید دید که خروجی کنترلر در مستقرکننده شیر نشان داده نشده اما باید باشد. حرف Z برای نشان دادن وضعیت است و ZC در اینجا برای نشان دادن مستقرکننده شیر یا همان کنترلر وضعیت است.

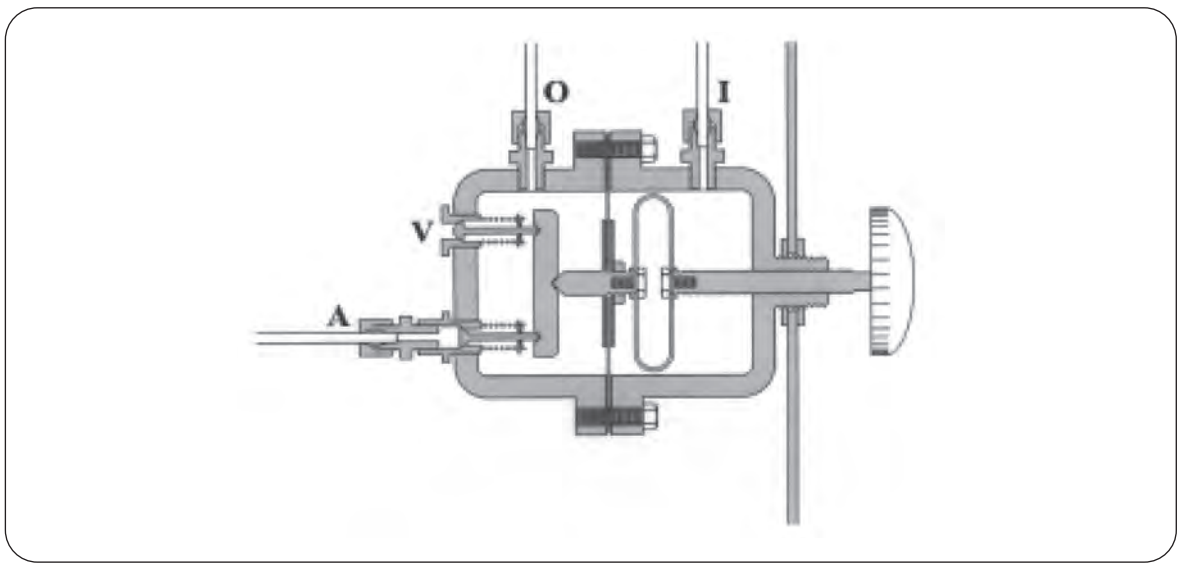
شکل (15) حلقه مشابهی را با نمادگذاری ساده‌تر و مطابق ISA نشان داده است. می‌بینید که جزییات نشان داده نشده و شما نیازمند اسناد دیگری برای شفاف‌سازی هستید. اما عملکرد کنترلر یکسان است.

یک مشخصه واضح، خط موجود در وسط نماد است (یا حتا نبود آن). این خط نشانگر نصب بودن آن روی پانل کنترل است. گاهی دو خط موجود در بالا و پایین نقشه‌ها بیانگر جدایش میان پانل و محیط است. این دو شکل می‌توانند اصلاح شوند تا خطوط معرف جریان منطقی از طریق دسته‌بندی نمادها با همدیگر حذف شود.

کنترلر شکل (14) می‌توانست در کنار مستقرکننده شیر نشان داده شود تا نشان دهد تمام آن عملکردها در کنترلر و مستقرکننده مجتمع در یک بسته روی شیر کنترل قرار دارد. نمادهای فرستنده و کنترلر PID را می‌توان در کنار هم قرار داده و پکیج بودن آن دو را نشان داد. حال که مفاهیم و نقشه‌های کنترل را مرور کردیم بهتر است برخی سیستم‌های کنترل استفاده شده در واحدهای بویلر را ببینیم.

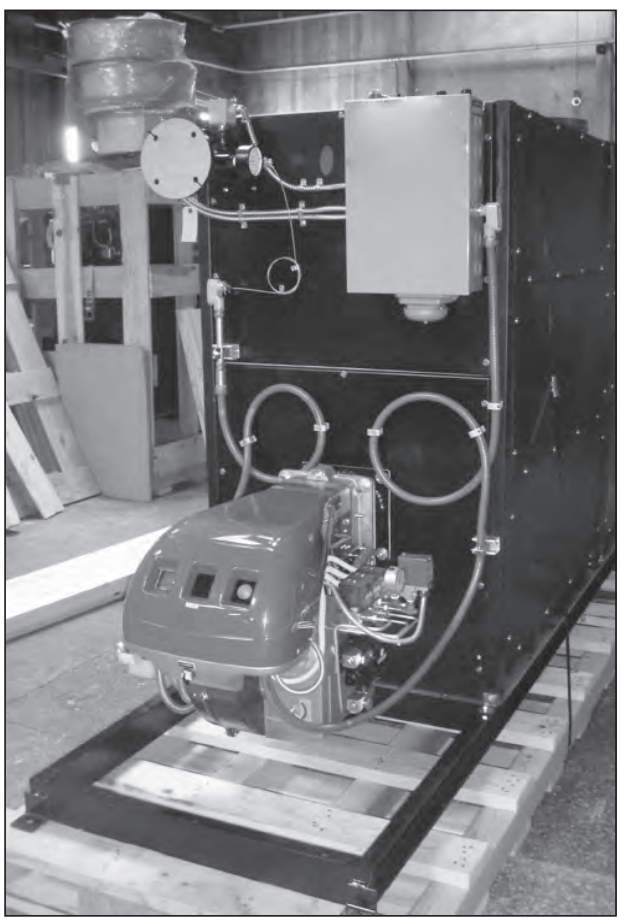
◄ شکل(11): پانل پنوماتیکی H/A قدیمی





◄ شکل(12): تنظیم‌کننده بایاس

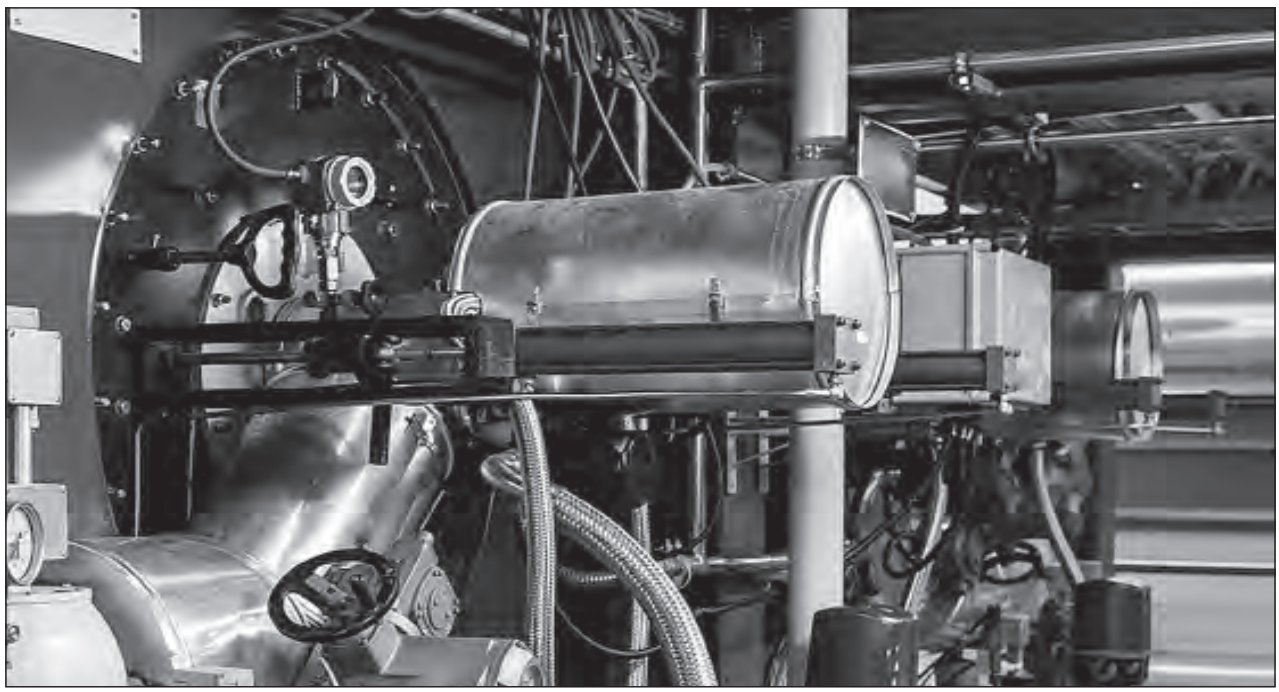
کنترل‌های مستقل



ممکن است شما تحت تاثیر عکس‌های اتاق‌های کنترل با پانل‌های بزرگ که دارای هزاران دگمه و کلید زیر یک سری نمایشگر که نمایش گرافیکی سیستم‌های بویلر را نشان می‌دهند قرار بگیرید اما باید تحت تاثیر برخی تجهیزات کنترل مستقل هم که بسیار قابل اطمینان و اقتصادی هستند قرار بگیرید. چون شاید تا انتهای قرن 21 جایگزینی برای آن‌ها پیدا نشود.

یک مثال خوب، شیر کنترل موجود در روی هیتر آب گرم گازسوز خانگی است. این یک سیستم مدیریت مشعل، کنترلر فشار و دما در داخل یک جعبه کوچک است. انواع ساده‌تر با یک ترموستات برای حفظ ایمنی مشعل، پیلوت گاز را کنترل می‌کنند. حباب موجود در روی شعله پیلوت در داخل کوره حاوی مایعی است که تبخیر می‌شود تا فشاری داخلی ایجاد کند که در داخل لوله‌های بسیار کوچک به منظور فشردن فنر موجود در داخل بدنه شیر هدایت گردد. تا زمانی که پیلوت می‌سوزد، دم، صافی را نگه می‌دارد که دیسکی را در داخل شیر بالا نگه می‌دارد تا گاز وارد پیلوت شود. وقتی حرارت پیلوت، فشار کافی در ترموستات ایجاد کرد شیر پیلوت را باز نگه می‌دارد و شما می‌توانید دگمه را رها کنید.

با رها کردن دگمه شیری باز می‌شود که فشار گاز پیلوت را به شیر کنترل اصلی هدایت می‌کند. دمای آب داخل هیتر توسط حبابی در داخل آن دریافت می‌شود. مایع داخل آن هم فنر یا اتصالی را می‌فشارد که از اختلاف انبساط حرارتی فلزات برای جابه‌جایی مکانیکی متناسب با دمای آب مخزن استفاده می‌کند. وقتی دگمه دمای شیر کنترل را تنظیم



می‌کنید موقعیت نسبی اتصال یا فنر را تغییر می‌دهید. با سرد شدن آب، یک شیر سوییچ‌کننده باز می‌شود تا فشار گاز پیلوت وارد دیافراگمی شود که شیر اصلی را باز می‌کند. این شیر هم گاز پیلوت را تامین کرده و آب را گرم می‌کند. در این فرآیند شیر اصلی هم به عنوان رگولاتور فشار عمل می‌کند تا فشار گاز پایداری را به مشعل تامین کند. با گذشتن دما از یک حد معین شیر سوییچ‌کننده گاز پیلوت را به دیافراگم قطع و با تخلیه دیافراگم آتش را خاموش می‌کند. شیر اصلی تا زمانی‌که سیکل اصلی دیگری شروع شود بسته می‌شود.

شیرهای هیتر آب گرم مستقل جدید روی پایلوت مداوم به منظور صرفه‌جویی مقداری انرژی کار نمی‌کند آن‌ها همچنین مشکل قدیمی خفه شدن پیلوت را هم رفع کردند. آن‌ها دارای یک استارتر نیروالکتریک هستند که از جریان گاز پیلوت برای فعال کردن موادی که برای روشن کردن پیلوت جرقه می‌زند استفاده می‌کنند (البته با افت دمای آب). دیسک‌های شیرهای اصلی به منظور اطمینان از کارکرد ایمن، دو سیت دارند. اگر به دستورالعمل آن نگاه کنید می‌بینید با این‌که ساده به‌نظر می‌رسد بسیار پیچیده است. اما شاید نوع قدیمی‌تر را ترجیح دهم. من می‌خواهم وقتی برق قطع شود هیتر همچنان کار کند چون با وجود پیشرفت زیاد همچنان قطعی برق داریم. برخی شیرهای کنترل مستقل ساده و موثر هستند. یک رگولاتور فشار گاز مثل شکل (16) جریان گاز را کنترل می‌کند تا فشار خروجی پایداری به‌وجود آورد. وضعیت شیر با فشرده شدن فنر توسط دیافراگم تعیین می‌شود. با افت فشار خروجی نیرو در دیافراگم کم‌تر است بنابراین فنر شیر را بیش‌تر باز می‌کند. با افزایش فشار در خروجی نیز فنر فشرده شده و شیر را می‌بندد.

در داخل آن لوله حسگری وجود دارد که اجازه می‌دهد سرعت گاز یک خاصیت ونتوری در انتهای لوله به‌وجود آورده و با افزایش جریان فشار را در محفظه دیافراگم کاهش دهد. این شیرها رینج کاری محدودی دارند و ممکن است در صورت افت فشار دچار مشکل شوند چون فنر باید ضریب پایینی داشته باشد تا شیر کورس کاملی داشته باشد. اگر در زمان خاموشی که شیر بسته است هد فشار زیادی بین ورودی و خروجی تولید شود توان باز کردن شیر را نخواهد داشت. اگر رگولاتور در حالت بدون جریان قفل می‌شود، هد فشار در شیر خیلی بالا است ولی می‌توان آن را موقتا با بستن تغذیه به ورودی و تخلیه فشار به خارج از رگولاتور برطرف نمود.

شیرهایی که مرتبا قفل می‌شوند نیازمند دیافراگم بزرگ‌تر هستند یا باید با شیری که توسط پیلوت عمل می‌کند یا شیر عمل‌کننده با اهرم داخلی تعویض شود. شیر اهرم داخلی از اتصال مکانیکی برای تبدیل حرکت طولانی در فنر و دیافراگم به حرکت کوتاه‌تر در دیسک شیر استفاده می‌کنند تا افت فشار بیش‌تری در شیر ایجاد کند. در رگولاتورهای خانگی از اهرم داخلی استفاده می‌شود.

هنگام استفاده از رگولاتور دیافراگمی مستقل برای گاز طبیعی، ونت کردن محفظه فنر مستلزم توجه خاص است. اگر دیافراگم نشت کند،

ونت کردن محفظه فنر باید گاز را خارج کند در غیر این صورت فنر شـــیر را کاملا باز کرده و فشـــار خروجی را تا میزان خطرناکی افزایش خواهد داد. گاز تخلیه شده باید به محل امنی خارج از ســـاختمان منتقل گردد تا خطر احتراق و انفجار واحد را تهدید نکند.

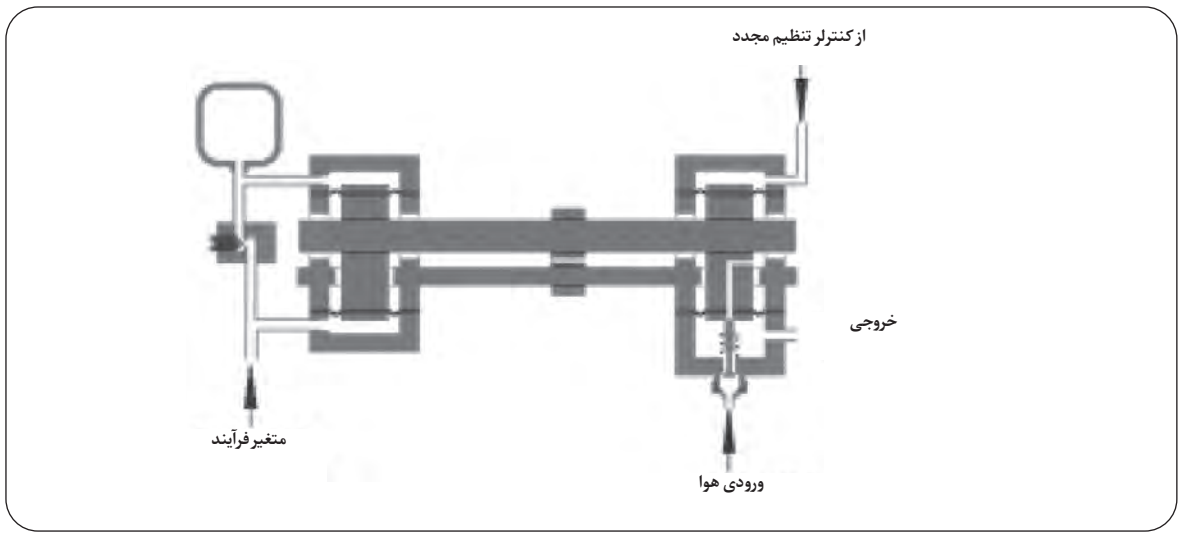
گاهی موقعیت و اندازه لوله بسیار مهم است. هرگز نباید خطوط ونت را از خطوط و رگولاتورهای مختلف به هم متصل کنید. من زمانی را به یاد دارم که یکی از تکنسین‌ها در حالی‌که بویلر مجاور در حال کار بود دیافراگم رگولاتور را جایگزین می‌کرد. ناگهان موهای بلند او توسط آتش گرفتن گاز نشتی از خط رگولاتور مجاور (به‌دلیل سیگار او) آتش گرفت.

شیرهای کنترل دما دارای پروب هستند که می‌توانند دما را حس کنند و برای کنترل جریان در شیر استفاده می‌شوند اما ممکن است مشکلاتی در نصب و نگه‌داری هم به‌وجود آورد. استفاده از یک پروب متصل به دم به همراه یک لوله مویین امکان قرار گرفتن مجزای شـــیر کنترل و حسگر دما را فراهم می‌کند تا جلوی این مشـــکلات گرفته شـــود. این‌ها شامل سیستم‌های بسته هســـتند که برای رینج دمایی خاصی ساخته شده‌اند. محتویات سیســـتم می‌تواند مایع یا گاز باشـــد. سیستم‌های مایع تا حدی محدودکننده هســـتند چون مایع با تغییرات دما منبسط و منقبض شده و در صورت محدود بودن انبساط فشار به‌ســـرعت افزایش خواهد یافت. سیستم‌های دارای گاز فشـــار را با تغییرات دما تغییر می‌دهند و بسیاری از آن‌ها مایعی دارند که در صورت گرم شـــدن تبخیر شده و در دم فشار تولید می‌کند.

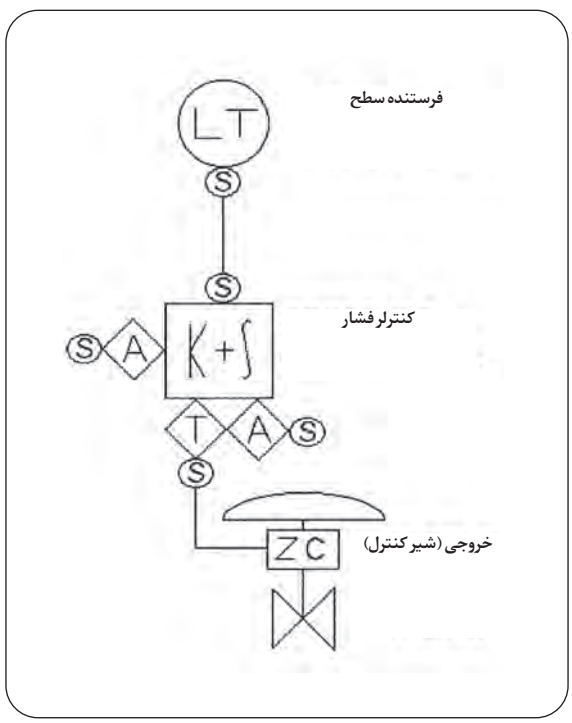
هر یک از این سیستم‌ها روی حداقل تغییرات دما در لوله مویین و دم حساب می‌کنند که با کنترل دمایی پروب تداخل می‌کنند. باریکی لوله‌های مویین، مقدار مایع داخـــل آن‌ها و تاثیر گرمایش و ســـرمایش را حداقل می‌کند. این لوله‌ها انتقال فشار را از پروب به دم (در اثر تنگی) مسدود کرده و با شکسته‌شدنشان، مایع تخلیه و کنترل دچار مشکل می‌شود.

شـــیرهای دیافراگمی ســـاده و اهرم داخلی در مورد افت فشار زیاد و نرخ‌های جریان بالا یا وقتی دروپ نیاز اســـت محدودیت دارند. شیرهای کنترل مســـتقل تحریک با پیلوت کارآیی بســـیار خوبی برای این شرایط دارند. شیری که با پیلوت تحریک می‌شود اساسا یک شیر دوبلکس است که پیلوت، فشار را با کنترل شیر اصلی کنترل می‌کند.

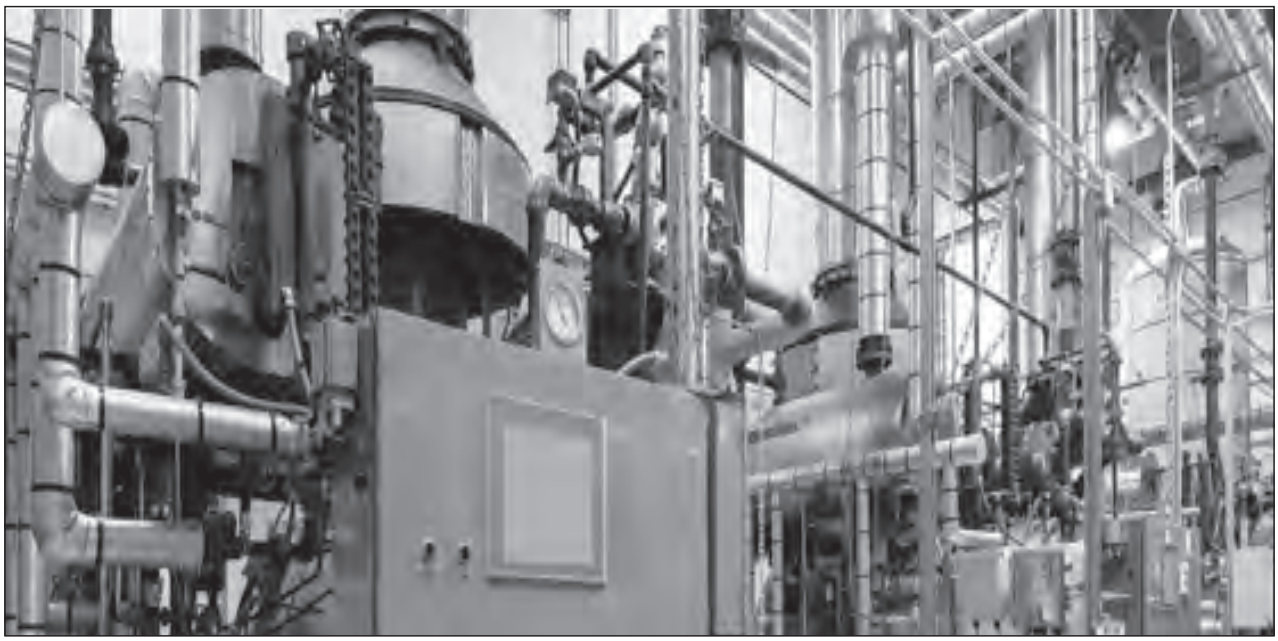
شـــیر پیلوت مثل رگولاتور فشار معمولی اســـت اما خروجی آن وارد محفظه دیافراگم شیر اصلی می‌شود (شکل 17). با افت فشار در خروجی، پیلوت ســـیال را به محفظه دیافراگم شـــیر اصلی وارد می‌کند تا فنر آن را جمع کرده و شیر را بیش‌تر باز کند تا جریان متعادل شود. پیلوت نمی‌تواند شـــیر اصلی را ببندد بلکه فقط جریان را مسدود می‌کند. برای بستن آن، دیافراگم خطی دارد که با اوریفیس به پایین‌دست متصل می‌شود تا سیال داخل محفظه دیافراگم تخلیه شـــده و شـــیر را ببندد. طی کارکرد نرمال،



◄ شکل(13): جمع‌زن نسبت تنظیم شده برای کنترل نرخ



◄ شکل(14): دیاگرام کنترل تک‌حلقه‌ای



تعادل بین جریان سیال پیلوت و جریان در اوریفیس شیر را در وضعیت نگه می‌دارد. این شیرها دروپ دارند اما به‌قدری کوچک است که به آن توجه نمی‌کنید. آن‌ها نیازمند حداقل اختلاف در فشارهای ورودی و خروجی بوده و در واقع با افزایش اختلاف فشار، کمی بهتر کار می‌کنند چون عملکرد شیر اصلی توسط اختلاف فشار ورودی و خروجی تعیین می‌شود.

یک شیر کنترل جریان اصلی مستقل می‌تواند توسط یک شیر شناور کوچک، المان دمایی و یا سایر تجهیزات برای انجام کنترل از طریق استفاده از اختلاف فشار ورودی و خروجی سیال هدایت شود. برخی ملاحظات مهم برای این کنترل فیلتر کردن یا نصب صافی در جریان کوچک سیال کنترل می‌باشد تا شیر پیلوت یا اوریفیس مسدود نشود. جریان پیلوت به‌قدری کم است که بسیاری از رگولاتورهای فشار گاز پیلوتی خط ونت ندارند. یک اوریفیس کوچک در محفظه فنر وجود دارد که می‌تواند مقدار کافی گاز را تخلیه کند تا اجازه دهد شیر وقتی دیافراگم نشتی دارد، عمل کند ولی نمی‌گذارد گاز به هوای اطراف وارد شود کار کند که این را محدودکننده می‌نامند و حتما باید از عدم مسدود بودن آن با رنگ مطمئن شوید. من مشکل بسیاری از رگولاتورها را با تمیز کردن رنگ از سوراخ محدودکننده رفع کرده‌ام.

خطی بودن کنترل

یک اپراتور عاقل منظور مرا از خطی بودن درک می‌کند. متاسفانه تکنسین‌های کنترل زیادی وجود دارند که آن را نفهمیده و در حل مشکلات ناشی از خروجی غیرخطی دچار مرارت می‌شوند. البته این مفهوم نسبتا ساده‌ای است. یک حلقه کنترل زمانی خطی است که هر تغییر در خروجی کنترلر تغییر متناسبی را در جریان سیال فرآیند تولید کند. به یاد داشته باشید که ما فقط می‌توانیم جریان را کنترل کنیم، پس باید انتظار 10٪ تغییر در سیگنال خروجی کنترلر جریان در سیستم کنترل شده داشته باشید که باید در کل رینج کنترل پایدار باشد. اگر ما 20٪ جریان به‌همراه خروجی کنترلر صفر داریم باید انتظار 0.8٪ تغییر جریان را به‌ازای هر 1٪ تغییر سیگنال کنترل داشته باشیم. اگر نموداری برای مقایسه سیگنال کنترل و جریان بکشیم چیزی شبیه خط راست خواهد بود.

چرا خطی بودن مهم است؟ پاسخ سیستم به خطاها یک خروجی برای تصحیح آن تولید می‌کند. اگر خروجی یک تغییر متفاوت در جریان بارهای مختلف ایجاد می‌کند بنابراین کنترلر در برخی بارها از حد مجاز خارج خواهد شد (بیش‌تر یا کم‌تر). این شوخی را به یاد دارید که می‌گویند وقتی سرویس‌کار حضور داشته باشد دستگاه خوب کار می‌کند؟ علت این است که سرویس‌کار همیشه زمانی‌که بارها مشابه زمان تنظیم کنترلر هستند در آنجاست. اگر به چنین حالتی برخوردید از سرویس‌کار بخواهید نشان دهد چه موقع سیستم درست کار نمی‌کند تا بتوانید بارها را پیش‌بینی کنید. اگر به‌هرحال تکنسین سیستم را برای آن بارها تنظیم می‌کند احتمالا در آن بارهایی که قبلا تنظیم کرده بود درست کار نخواهد کرد. اگر سیستم خطی باشد چنین مشکلاتی اتفاق نخواهد افتاد.

برای فهمیدن علت سختی دست‌یابی به حالت خطی بیایید در مورد عملگر F.D فن صحبت کنیم. فن می‌تواند مجهز به دمپر خروجی یا

پره‌های ورودی قابل تنظیم باشـــد و خواهید فهمید اگر آن را اندازه‌گیری و رســـم کنید رابطه چرخش دمپر و جریان هوا چیزی مثل شکل (18–10) خواهد شـــد که البته پسماند نادیده گرفته شـــده است. جریان در چرخش صفر دمپر نوعی نشتی در دمپر کنترل محسوب می‌شود.

در بارهای زیاد جریان هـــوا تغییر قابل ملاحظـــه‌ای نمی‌کند اما در بارهای کم‌تر چرا. تفاوت بزرگی بین منحنی و خط مســـتقیم وجود دارد. موتور تنظیمی یا عملگر دیگری که دمپر را تحریک می‌کند نمی‌تواند جواب خطی به خروجی کنترلر بدهد مگر این‌که چیزی تغییر جریان را نســـبت به موقعیت دمپر جبران کند. تنظیم اتصال مکانیکی که دمپر و عملگرش را به هم متصل می‌کند می‌تواند مقداری از غیرخطی بودن را رفع کرده و چیزی شـــبیه نقطه‌چین را در نمودار به‌وجود آورد که مشـــخصه مطلوبی است. عملگرهای هیدرولیک، پنوماتیک و الکتریکی به‌همراه مســـتقرکننده‌ها می‌توانند برای تولید رابطه خطی بین سیگنال و جریان مجهز به بادامک شـــوند. مشـــکلی را که من در کنترلرهای میکروپروسسوری دیده‌ام این است که تکنســـین‌ها از فرآیندهای پرزحمت قطع کردن بادامک از روی مســـتقرکننده از طریق برنامه‌ریزی مدار تابـــع در کنترلر اجتناب می‌کنند. مولد تابع یک خروجـــی تولید می‌کند که تابعی از خروجی کنترلر اســـت.

بنابراین حاصل، کنترل خطی خواهد بود. این زمانی به‌خوبی کار می‌کند که کنترل‌ها در حالت خودکار باشند.

من اصرار دارم که حالت خطی در آخرین محرک (عملگر دمپر، شـــیر کنترل سوخت و غیره) ایجاد شود تا پاسخ در حالت دستی پایدار شود. بهتر است بدانید اگر خروجی کنترلر ســـوخت و هوا را با ٪5 تنظیم کنید، تا هر کنترلر را چرخانده و تغییرات خروجی را بررسی کنید، نرخ احتراق شما ٪5 افزایش خواهد یافت.

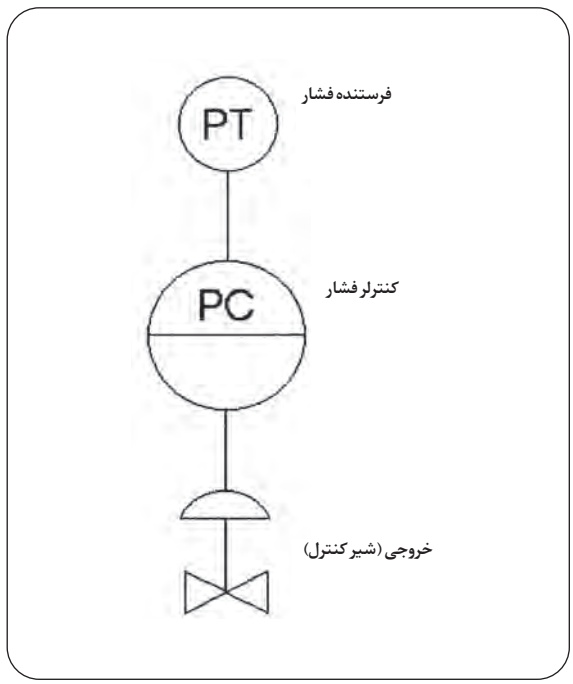
حفظ فشار بخار

قبلا به شـــما گفتم که نمی‌توان فشـــار را کنترل کرد. شما می‌توانید فشار بخار را با کنترل جریان بخار از منبع با فشار بالاتر به سیستمی با فشار پایین‌تر کنترل کنید و یا عملکرد خود بویلر را کنترل نمایید. ما فشـــار بخار را به‌عنوان متغیر فرآیند اســـتفاده می‌کنیم تا مقدار بخار مورد نیاز را تعیین و شیرکاهنده فشـــار یا بویلر را مطابق با آن کنترل کنیم. حلقه کنترل شیر کاهنده فشـــار همانند حلقه کنترل سطح اســـت. با این تفاوت که به‌جای سطح، فشـــار را متغیر می‌گیریم. کنترل بویلرها به منظور حفظ فشار بخار به‌طرق مختلف انجام می‌شود که سعی می‌کنیم آن‌ها را بررسی کنیم.

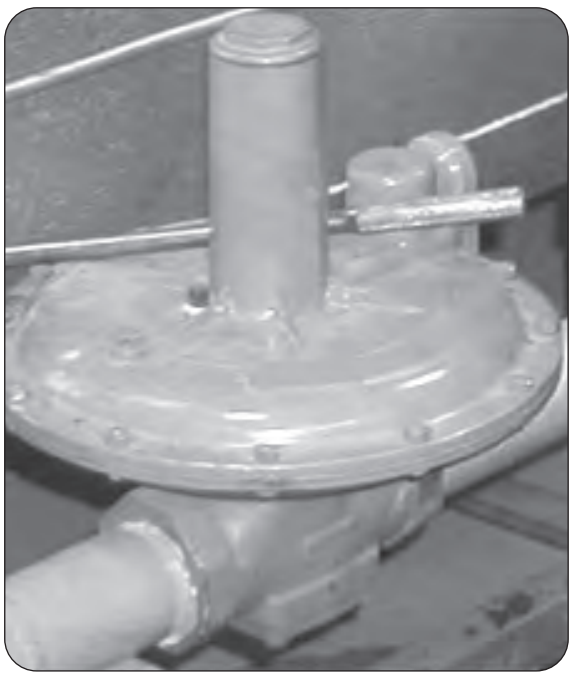
فارغ از روش کنترل تمام بویلرها کنترل روشـــن – خاموش دارند. در بویلرهای خانگی و هیترهای آب گرم این تنها روش کنترل اســـت. هرچه سیستم‌ها پیچیده‌تر می‌شـــوند باید نوع کنترل آن‌ها پیشـــرفته‌تر باشد. کنترل روشن – خاموش معمولا توسط سوییچ الکتریکی حس فشار انجام می‌شود که با باز کردن و بستن کنتاکت‌ها بویلر را روشن و خاموش می‌کند. سوییچ فشـــار خیلی بیش‌تر از سوییچ چراغ روی دیوار است. اپراتور عاقل باید بداند که می‌تواند کیفیت بهره‌برداری را با تنظیم سوییچ اصلاح کند. یک تنظیم مربوط به فشـــاری است که در آن با افزایش فشار کنتاکت‌ها باز شـــده و بویلر خاموش می‌شود. دیگری تنظیم اختلاف بین فشار بازکننده کنتاکت و فشار بسته شدن آن است.

فشـــار قطع منهای هد مساوی فشـــار استارت اســـت. بسیاری از اپراتورها فکر می‌کننـــد باید هد را در حداقل ممکن تنظیم کنند تا فشـــار زیاد نوســـان نکند. نتیجه، افزایش چرخه‌زنی (اســـتارت – اســـتاپ) و کاهش راندمان خواهد بود. برای دست‌یابی به بهترین عملکرد بویلر باید گسترده‌ترین رینج عملکردی ممکن را ایجاد کنید. در بهره‌برداری روشن – خاموش ســـاده بویلر، رینج بهره‌برداری تنظیمات هد سوییچ است. که باید بزرگ‌ترین حد ممکن باشد. تنظیمات تابستانی گسترده‌تر از زمستان است. چرخه‌زنی بویلر کم‌تر نشـــده و طول مدت کارکرد بیش‌تر می‌شود. بنابراین بازده افزایش و استهلاک کاهش می‌یابد.

از کجا می‌فهمید تا کجا می‌توانید پایین بروید؟ شـــما فشار کافی نیاز دارید تا تمام تجهیزات گرمایشـــی به‌طور مطلـــوب کار کنند. غالبا فاصله



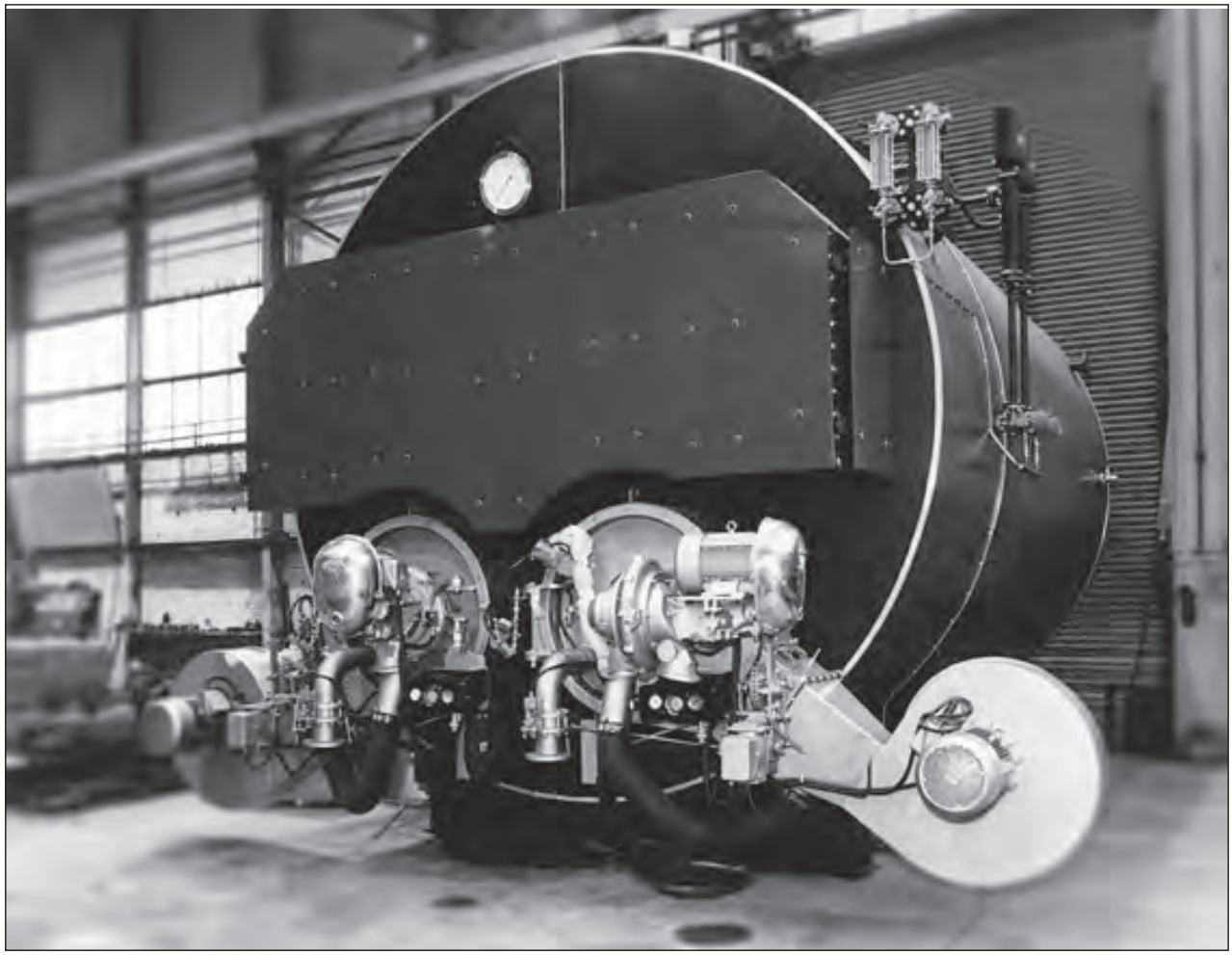
◄ شکل(15): دیاگرام تک‌حلقه‌ای، نمادهای ISA



◄ شکل(16): رگولاتور فشار گاز

لوله‌های آن از بویلر زیاد است ولی بعضا هم خیلی کوتاه است اما لغت فشار آن بالاتر است یا مثل چیزهای دیگر اندازه آن بیش از حد زیاد نیست. بهترین راه تعیین آن، کاهش تدریجی کم‌ترین فشار است. اگر در واحد گشت بزنید می‌توانید فشارسنج‌ها را بخوانید. مگر در کارکرد تجهیزات در ظرفیت کامل تابستان و زمستان و داشتن لوله اختصاصی از بویلر می‌توانید کار مشابهی را در زمستان انجام دهید. بار در تابستان معمولا کم‌تر از زمستان است بنابراین افت فشار لوله و تقاضای بخار در تجهیزات کم‌تر است. می‌توانید فشار را کمی بیش‌تر در بویلر کاهش دهید.

یک واحد گرمایشی با تنظیم سوییچ 12psig معمولا در تابستان با فشارهای کم‌تر از تنظیمات حداکثر، هد، سوییچ بهتر کار می‌کند. من واحدهایی را دیده‌ام که در فشار 2psig کار می‌کردند اما مجبور بودند برای کسب این گستره، آرایش سوییچ خاصی نصب کنند. اجازه ندهید فشار استارت به‌قدری کم شود که بویلر در بالاتر از آن تنظیمات تعدیل شود. قبل از خروج از مبحث تنظیم فشار سوییچ کنترل این سوال مطرح است که فشار استاپ را در چه مقداری ثبت کنیم؟ (اصلی‌ترین تنظیم سوییچ کنترل فشار). اکثر اپراتورها آن را در حداقل ممکن قرار می‌دهند چون دمای آب و بخار را کاهش می‌دهد تا دود را سردتر کرده و تلفات دودکش را کاهش دهد. من مخالف این فرضیه هستم چون صرفه‌جویی‌های



کوچک در دماهای پاییـــن دودکش با چرخه‌زنی بیش‌تر بویلر از دســـت خواهد رفت. ســـوییچ را در بالاترین حد ممکن تنظیم کرده و همچنان از به‌کار افتادن سوییچ فشـــار بالا جلوگیری کنید. این کار دو علت دارد. اول این‌که هر چه گستره بزرگ‌تر باشـــد زمان کارکرد بویلر بیش‌تر خواهد بود (چرخه‌زنی کمتر)، دوم امکان بهره‌برداری مداوم.

حال می‌توانیم در مورد کنترل‌های تنظیمی صحبت کنیم که رایج‌ترین آن‌ها سیستم کنترل تناسبی الکتریکی است. یک پرشرترول (نام تجاری یک وســـیله) به فضای بخار در بویلر متصل شده و شامل یک دیافراگم یا دم متصل به اتصال مکانیکی است و موقعیت جاروب کویل سیم را تنظیم می‌کند. یک ترانســـفورمر ولتاژ ثابتی را به کویل اعمال می‌کند. ولتاژ هر نقطه از کویل متناســـب است با موقعیت در کویل چون مقاومت سیم ثابت است. یک کویل همسان در موتور تنظیمی وجود دارد که نرخ احتراق بویلر را تغییر می‌دهد.

جاروب‌ها مثل برف‌پاک‌کن خودرو نیســـتند اما عملکردشان مشابه اســـت. آن‌ها نوسان کرده و کویل را در سراســـر آن تمیز می‌کنند. شمای سیستم در شکل (19) نشان داده شده اســـت. با تغییر فشار بخار جاروب شروع به حرکت در طول کویل می‌کند. ولتاژ بین زمین و جاروب در پرشر ترول (pressuretrol) تغییر خواهد کرد که یک جریان الکتریکی در جاروب به طرف رله تعادل و جـــاروب روی کویل در موتور تنظیمی ایجاد می‌کند. رله تعادل وقتی دو کویل مطابقت نداشته باشند توسط جریان دچار اختلال می‌شـــود. بنابراین یکی از کنتاکت‌های الکتریکی را که موتور تنظیمی را تحریک می‌کند، تشکیل می‌دهد.

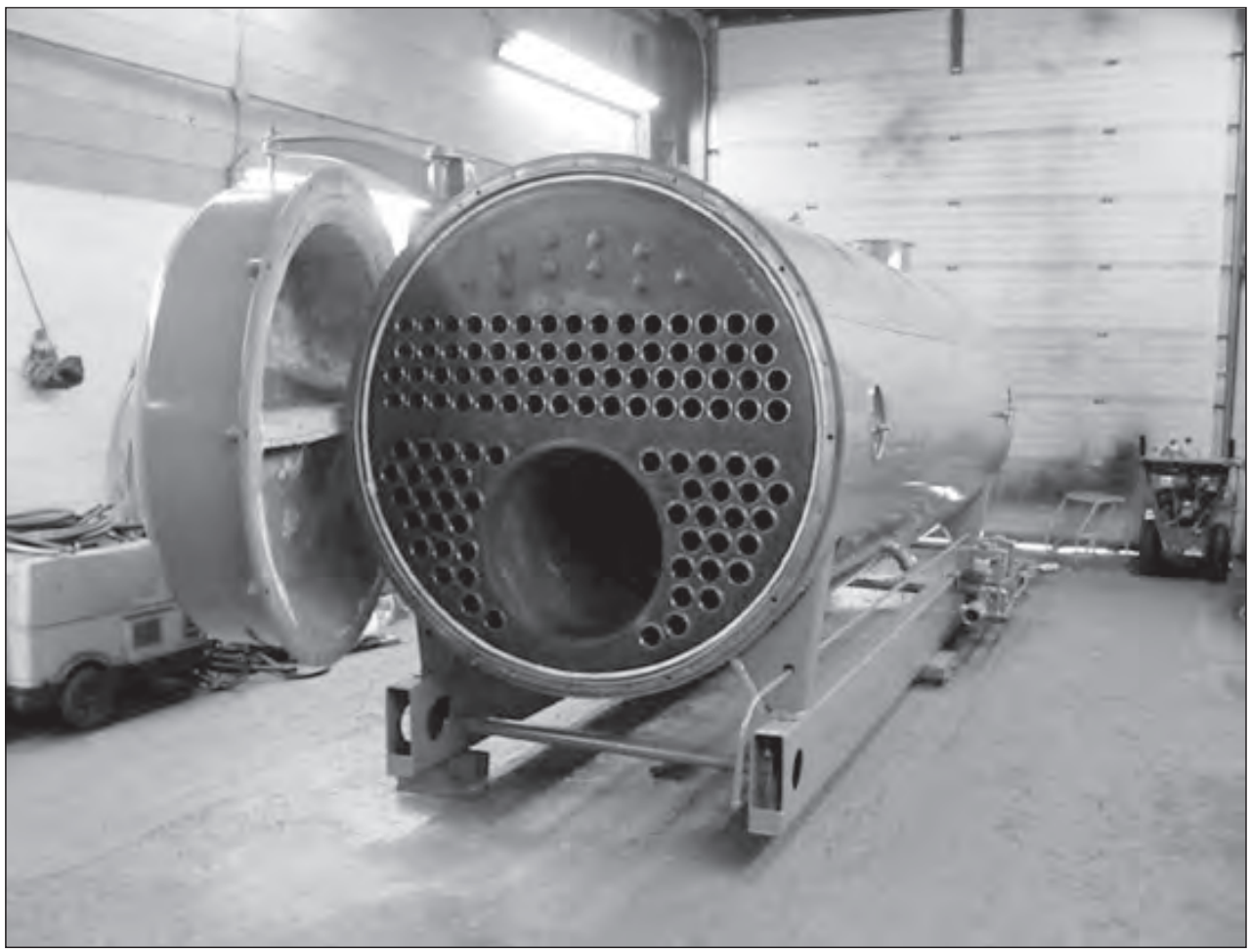
جهت موتور توسط عدم تعادل ولتاژ تعیین می‌کند تا در جهتی حرکت کند که جـــاروب را جابه‌جا کند تا این‌که در موقعیت یکســـان با جاروب در پرشـــرترول قرار گیرد. وقتی دو جاروب در محل یکسان قرار بگیرند ولتاژ هم در هر دو برابر شده و هیچ جریانی در رله تعادل جاری نمی‌شود بنابراین

◄ **شکل(17): رگولاتور فشار گاز هدایت شده**

موتور را خاموش می‌کند. سیستم، موتور تنظیمی را متناسب با فشار بخار می‌چرخاند پس اساسا یک کنترلر تناسبی است.

پرشترول درست مثل سوییچ کنترل فشار دو تنظیم دارد. یکی وسط رینج عملکردی را ایجاد کرده (فشار بخاری که جاروب را در وسط کویل قرار خواهد داد) و دیگری هدی است که تغییر لازم در فشار بخار برای حرکت دادن جاروب بین دو انتها می‌باشد. تنظیم آن مثل هر کنترلر تناسبی دیگر است؛ کاهش هد تا جایی که کارکرد نامنظم شود و افزایش آن تا رسیدن به حالت نرم و روان. تنظیم مرکز رینج عملکردی پرشترول همیشه باید طوری باشد که کل رینج کم‌تر از فشار راه‌اندازی سوییچ باشد. چه‌قدر کم‌تر؟ آن‌قدر که فشار بخار پس از استارت و پرژ در بار معادل با باری که آتش کم کاملا بیش‌تر از سقف رینج عملکردی پرشترول باشد قرار گیرد.

وقتی بویلر روشن – خاموش (چرخه‌زنی) می‌شود نیاز به بخار کم‌تر از تولیدی بویلر در آتش کم است. در چنین بارهایی نباید بویلر را تنظیم نمود چون ورودی را در چرخه احتراق افزایش داده و دوره آن را کوتاه می‌کند و به تبع آن چرخه‌زنی بیش‌تر می‌شود. اگر تمام آنچه نیاز دارید یک سوییچ فشار عملکردی است هد سوییچ فابریک آن رینج عملکردی شماست. وقتی شما کنترل‌های تنظیمی را هم دارید رینج شما از تنظیمات استاپ سوییچ کنترل فشار تا فشاری است که حداکثر نرخ احتراق را تولید می‌کند. پس از این‌که کنترل تنظیمی خود را در هد حداقل قرار دادید، برای



این کارکرد نرم، هد سوییچ کنترل فشار و پرشترول را تنظیم کنید تا رینج عملکردی مشابه شکل (20) حاصل شود. در بسیاری واحدها متوجه خواهید شد که می‌توانید اجازه دهید مقداری از هد پرشترول به کم‌تر از حداقل فشار عملکردی برسد چون بویلر مجبور نیست در حالت آتش زیاد قرار بگیرد تا جواب‌گوی حداکثر بار تابستان باشد.

واحدهای گرمایشی ممکن است بیش از یک بویلر داشته و نیازمند عملیات کنترل در جایی که دو یا چند بویلر لازم است باشند تا نیاز واحد را تامین کنند. این کار مستلزم سیستمی است که بتواند هر بویلر را مطابق با نیاز استارت – استاپ کند و ممکن است دارای کنترل‌های تنظیمی باشد که بویلرها را در نرخ‌های مختلف بسوزاند. روش‌های متعددی با استفاده از آرایش‌های ارتباطی متنوع، موتورهای تنظیمی که سوییچ کنترل فشار دیگر، متصل به هدر بخار که توان خود را از شفت می‌گیرد را خاموش می‌کند که سوییچ‌های کنترل و کویل‌های الکتریکی متعددی در نظر گرفته شده‌اند و ممکن است با آن‌ها مواجه شوید.

نمی‌توان آن را در یک جمله توضیح داد و این مساله یکی از مشکلات آن‌ها است. اصول گفته شده برای کنترل تک‌مشعل به آن‌ها اعمال می‌شود اما مستلزم نگه‌داری زیادی هستند که اکثرا با کنترلرهای دیجیتال مدرن جایگزین شده‌اند. اگر چنین سیستمی دارید دستورالعمل آن را به‌دقت خوانده و قبل از شروع به تنظیم، عملکرد آن را به‌خوبی درک کنید. بعد ببینید پس از تنظیم چه اتفاقی می‌افتد؛ چون شاید در عملکرد آن دچار ابهام شده باشید.

تاکنون که هیچ استاندارد ملی بر آن‌ها اعمال نشده؛ بنابراین، توصیف، برچسب و تنظیمات آن‌ها بسیار متغیر است. مشکل دیگر افرادی هستند که برداشت خود را ثبت و روی پانل‌ها برچسب می‌زنند که ممکن است این برداشت کاملا متفاوت یا اشتباه بوده باشد. آن‌ها می‌توانند در صورتی که از نوع مرغوب بوده و به‌درستی اعمال شوند کارآیی مناسبی داشته باشند.

اگر تعداد بویلرهایتان متعدد بوده و برای تامین بار بیش از یک بویلر

کار کند نمی‌توانند تصمیم بگیرند چه موقع کدام را استارت یا استاپ کنند و اگر مالک، کنترلرهای مدرن خریداری نکند باید کار را با همان کنترل‌ها ادامه دهید. هیچ دلیلی برای تغییر دادن تنظیمات کنترلرهای تنظیمی وجود ندارد مگر این‌که برگشته محدودی (دو به یک یا کم‌تر) داشته باشید یا برگشته را در حدی تنظیم کرده‌اید که کار در آتش کم بهینه نیست. این یک کار عادی است. بهره‌بردارها معمولا دوست ندارند بویلر مرتبا خاموش شود. ایجاد بار و سایر عملکردهای جاهلانه کار درستی در اداره آن نیست.

کنترل بویلرهای متعدد با تنظیم سوییچ‌های فشار عملکردی در رینجی که برای یک بویلر به‌کار می‌برید انجام می‌شود. استفاده از عبارات فشارهای استارت و استاپ در جایی‌که فشار استاپ، تنظیم سوییچ کنترل فشار بویلر و فشار استارت، تنظیم سوییچ منهای هد است آسان‌تر خواهد بود. شکل (21–10) تنظیمات استارت استاپ را برای سه بویلر در کنترل خودکار نشان می‌دهد. تفاوت بین تنظیمات استاپ باید کافی باشد تا انرژی مازاد بویلری که خاموش می‌کنید آنچنان فشار زیادی تولید نکند که افزایش فشار حاصل از آن بویلر دیگر را تریپ دهد.

اختلاف در تنظیمات استارت باید کافی باشد تا اجازه افت فشاری را که در زمان روشن شدن بویلر و پرژ اتفاق می‌افتد بدهد. تصویر (21) نحوه تغییر رینج تنظیمی را هم نشان می‌دهد. متوجه خواهید شد که تنظیم، مستلزم نوسان زیاد فشار برای ارضای هر شرایطی است. اگر می‌خواهید ترتیب کارکرد بویلرها را عوض کنید باید تمام تنظیمات پرشر نزول و سوییچ را –که کار زیادی است– عوض کنید. پس بهتر است یکی از همان کنترلرهای دیجیتالی را داشته باشید.

بسیاری واحدها کنترل‌های هادی – تاخیری هم در داخل پکیج دارند. تنظیمات شکل (21) شکلی از همین نوع کنترلر را در اختیارتان قرار می‌دهد چون تعداد بویلرهای در حال کار را تغییر داده و اجازه می‌دهد بویلر 1 بار را تا حد توان تامین کند سپس بویلر دوم و نهایتا سومی را به مدار می‌آورد تا حداکثر بار تامین شود. تمام بویلرها با هم تنظیم می‌شوند. این نوع کنترلرها برای انجام این کار به‌صورت متفاوت‌تری طراحی شده بودند. آن‌ها بویلر اول را تا آتش بالا رسانده و پس از استارت کردن بویلر دوم آن را در همان جا رها می‌کردند تا این‌که بار به حداکثر ظرفیت بویلر رسیده و در صورت نیاز بویلر سوم راه‌اندازی می‌شد. این کنترلرها مشکل موجود در شکل (21) را که پاسخ‌های متفاوتی به تغییرات بار بسته به تعداد بویلرهای در مدار می‌دادند حل کرد. این کنترل همیشه برای جواب‌گویی به تغییرات بار از یک بویلر استفاده می‌کرد و سایرین یا در بار کامل بوده یا خاموش بودند. یک کنترلر می‌توانست تا ده بویلر را کنترل کند.

واحدهای بویلر فشارقوی می‌توانند با کنترل تنظیمی ساده مشابهی که گفته شده کار کنند (البته تا زمانی که مشکلی با نوسان فشار وجود نداشته باشد. در واحدهای بزرگ که نگارنده جریان بخار نصب می‌شود داستان خواهد بود. این نگارنده‌ها مستلزم فشار پایدار برای حفظ دقت هستند.

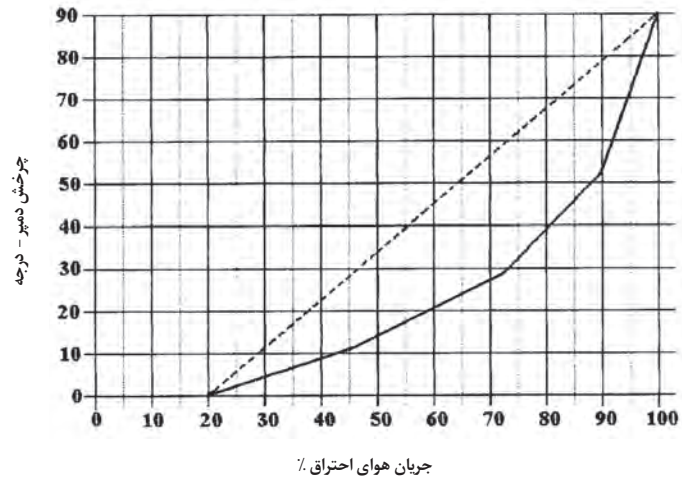
وقتی می‌خواهیم بخار را با فشار یکسان تولید کنیم نیازمند کنترلر انتگرالی هستیم. در اوایلِ استفاده از کنترل‌ها، قیمت آن‌ها گران بود بنابراین از یک کنترل برای همه بویلرها استفاده می‌شد که به آن کنترلر فشار اصلی می‌گفتند. این کنترلر فشار بخار را در هدر حس می‌کرد و از این‌رو متاثر از خاموش شدن بویلر نبوده و به‌اندازه کافی به اجزای جریان بخار که فشار ثابت معقولی در آن‌ها برای حفظ دقت نگارنده نگاه می‌داشت نزدیک بود. آن قوانین امروز هم اعمال می‌شوند اما هزینه‌های کم‌تر ابزارها و کنترل‌ها امکان اختصاص کنترلر را به هر بویلر فراهم کرده است.

کنترلر فشار اصلی یک سیگنال خروجی تولید می‌کند که توسط هر سری از کنترل‌های بویلر برای تنظیم نرخ احتراق استفاده می‌شود تا بخار را برای تامین نیاز واحد در کنار حفظ فشار بخار هدر در حد مطلوب، تولید کنند. ما در مورد انواع سیستم‌های کنترل نرخ احتراق صحبت خواهیم کرد اما همه آن‌ها جریان بخار به خارج از بویلر را متناسب با تغییر سیگنال کنترلر اصلی تغییر می‌دهند. تنظیم کنترلر اصلی واحد باید با تعداد بویلرهای معمول در حالت خودکار تنظیم شود. اکثر واحدهای دارای چند بویلر و کنترلر اصلی، یک بویلر را به حالت خودکار و بقیه را دستی بهره‌برداری می‌کنند تا کنترلر فارغ از تعداد بویلرهای در مدار به‌درستی کار کند. اگر بخواهید دو بویلر را به‌طور خودکار قرار دهید، در صورت تغییر بار، فشار نوسان خواهد داشت.

تحت این شرایط، خروجی بخار دو بویلر تغییر می‌کند اما کنترلر اصلی انتظار داشت تغییر خروجی، جریان بخار را یکسان با خروجی یک بویلر تغییر دهد. با دو بویلر خودکار، پاسخ به عملکرد کنترلر دو برابر می‌شود. اگر اکثر اوقات با دو بویلر خودکار بهره‌برداری می‌کنید بهتر است کنترلر اصلی را در این شرایط تنظیم کرده و با پاسخ‌دهی آهسته‌تر کنار بیاییم. واحدهایی که بویلرهای با سایز متفاوت دارند هم پاسخ‌های متفاوتی از کنترلر اصلی دریافت خواهند کرد.

قبل از ظهور کنترل‌های دیجیتال به‌طور عملی با چنین شرایطی در کنترل‌ها کار نشده بود و اپراتور مجبور بود اگر تنظیمات کنترلر درست نبود شخصا آن را تنظیم کند. برخی واحدها از کنترل‌های اشتقاقی برای این کار کمک می‌گیرند. من تعدادی سیستم منطقی پیچیده ساختم که بهره کنترلر اصلی را مطابق با تعداد بویلرهای خودکار در مدار تنظیم می‌کرد.

کنترل‌های دیجیتال مدرن می‌توانند از ورودی‌های دیجیتال برای تعیین بویلرهای خودکار و محاسبه جواب به عمل کنترلر استفاده کنند پس



◄ **شکل(18): جریان غیرخطی هوا از دمپر**

یک سیستم کنترل دیجیتال خوب نباید متاثر از تعداد بویلرهای خودکار یا اندازه آن‌ها باشد. این درجه از پیچیدگی کنترل را نمی‌توان در این کتاب تشریح نمود. اگر پیوسته تعداد ظرفیت‌های ترکیبی بویلرهای در مدار کنترل خودکار را تغییر می‌دهید و پاسخ کنترلر اصلی را مطلوب نمی‌بینید راه حلی برای آن وجود دارد.

حفظ دمای سیال

کنترل‌های گرمایش سیالات مستلزم ملاحظات خاصی است که در کنترل فشار چندان ضروری نیست. بزرگ‌ترین مشکل اطمینان از این است که دستگاه حسگر دمایی که آن را متغیر فرآیند قرار می‌دهید معرف جریان هوایی است که آن را کنترل می‌کنید. بدانید حسگرها ممکن است توسط رسوب یا مواد دیگری پوشیده شده و نتوانند به‌درستی دما را بسنجند. شاید لازم باشد حسگر را در جایی قرار دهید که نتواند تغییرات دما را هنگام قطع جریان آشکار کند. حسگرها و کنترل‌های دیگری (مثل سوییچ جریان) ممکن است برای جلوگیری از کارکرد خطرناک تحت چنان شرایطی ضروری باشند.

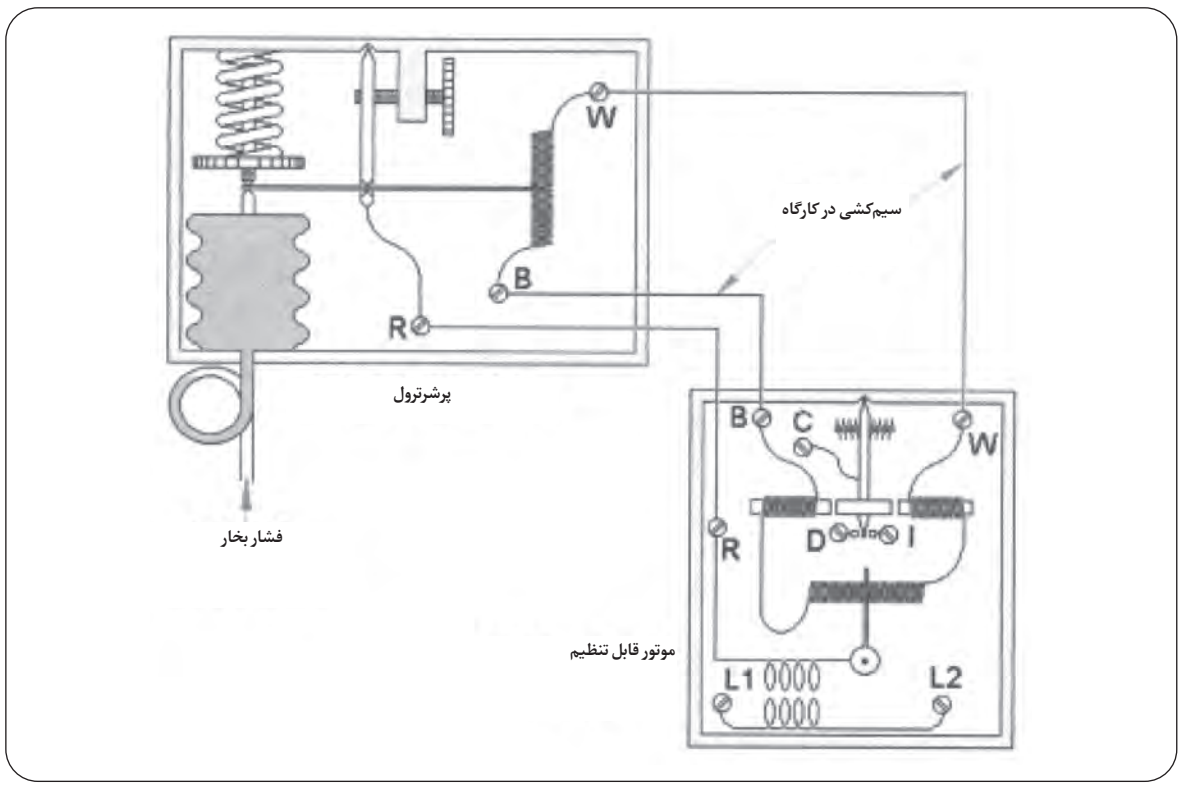
این فصل مختص کنترل‌های واحد بویلر و خصوصا بویلرهای آب گرم برای گرمایش هیدرونیک و کاربردهای مشابه است. کنترل بویلرهای مصارف بهداشتی در فصل گرمایش آب تشریح شد.

اکثر بویلرهای آب گرم توسط کنترل‌های تناسبی مشابه آنچه در بویلربخار استفاده می‌شود پشتیبانی می‌گردند. تنها تفاوت، سوییچ کنترل دما است و کنترلر تنظیمی، دمای آب بویلر را حس می‌کند نه فشار آن را. در بسیاری از سیستم‌های هیدرونیک مقدار آب موجود در بویلر به‌اندازه‌ای است که می‌تواند مثل بویلر بخار کار کرده و به جای کنترل فشار از کنترل دما استفاده کند. کافی است مقادیر فشار شکل‌های قبل را به فشار اشباع بخار متناظر تبدیل کنید تا آن‌ها را به‌دست آورید.

تصمیم برای تنظیم رینج استارت، استاپ و تنظیمی برای کنترل دمای سیال بر اساس چندین ملاحظه است. سیال باید زمانی‌که به تجهیزات مصرفی می‌رسد به‌اندازه کافی گرم باشد. سیال نباید به‌قدری سرد باشد که اسیدهای موجود در دود روی سطوح بویلر کندانسه شده و خوردگی ایجاد کند. حد پایین نرمال گاز طبیعی 170°F است اما سوخت‌های نفتی در هر دمایی پایین‌تر از حداکثر دمای کاری بویلرهای گرمایشی (250°F) خوردگی ایجاد می‌کنند. اگر نفت می‌سوزانید باید مرتبا دمای نقطه شبنم اسید آن را از تامین‌کننده پرسیده و تلاش کنید تا دمای آب بالاتر از آن نقطه باشد. هرچه دمای استارت پایین‌تر باشد تلفات ناشی از چرخه‌زنی کم‌تر خواهد بود پس قسمت حفظ فشار بخار را مرور کنید تا نحوه تنظیم کنترل دمای تناسبی سیال را متوجه شوید. شوک حرارتی را هم مطالعه کنید.

در سیستم‌های چندبویلری و واحدهای بزرگ تنظیم کنترل‌های آب گرم کمی متفاوت است چون فشار حفظ شده در بویلر بخار، حرارت را از واحد خارج می‌کند. اساسا دو روش برای انتقال حرارت وجود دارد که هر دو از طریق خارج کردن سیال گرم شده به طرف تجهیزات مصرف‌کننده و برگرداندن آن پس از دفع حرارت و ادامه مجدد چرخه است.

ساده‌ترین روش گرانش بوده و بر اساس اختلاف چگالی سیال با



◄ **شکل(19): شمای پرشرترول - موتور تنظیمی**

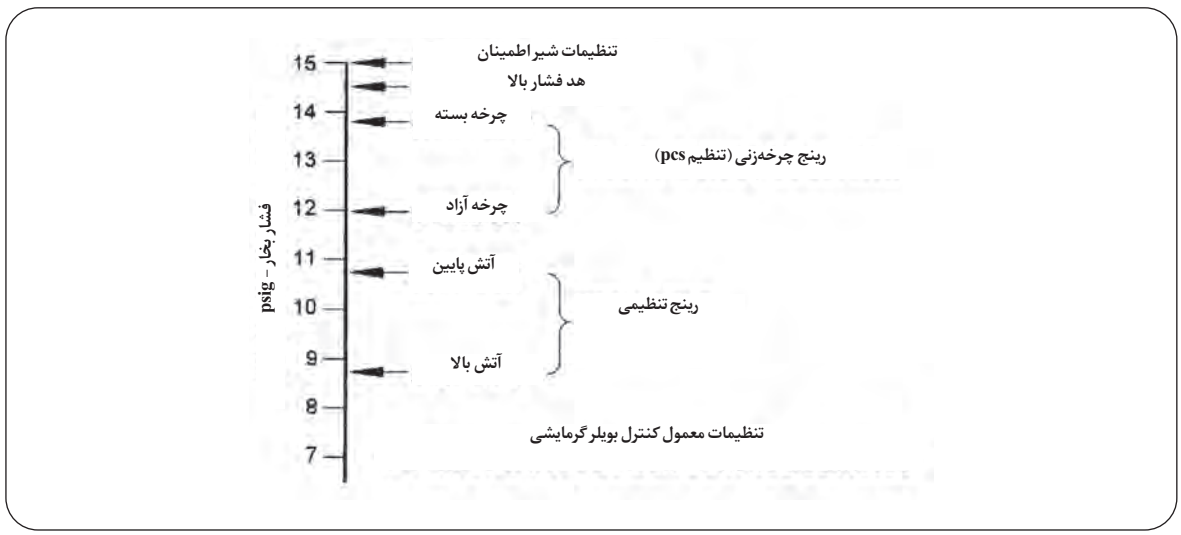
گرم شدن آن است که رفته رفته چگالی سیال کم‌تر می‌شود. سیال گرم‌تر درست مثل چوب روی سیال خنک‌تر شناور می‌شود. چون سبک‌تر است. یک سیستم بویلر با آرایش لوله مناسب می‌تواند از این طریق سیال گرم شده را به‌طرف مصرف‌کننده‌ها براند چون سیالی که در رادیاتورها سرد می‌شود خطوط برگشتی به بویلر را پر می‌کند. این حالت را سیرکولاسیون طبیعی هم می‌خوانند. فقط سیستم‌های کوچک از سیرکولاسیون طبیعی استفاده می‌کنند اما ممکن است پمپی هم روی آن نصب شده باشد که می‌تواند نیروی خیلی بیش‌تری نسبت به سیفون حرارتی تولید کند. بنابراین لوله‌ها می‌توانند کوچک‌تر بوده و بدین ترتیب، هزینه کاهش یابد.

اگر یک سیستم آب گرم خانگی می‌خرید شاید در این مورد فکر کنید. صرفه‌جویی مالی اولیه حاصل از نصب پمپ شاید به‌سرعت با هزینه برق آن جبران شود. سیستمی که برای پمپاژ طراحی شده در حالت گرانشی کارآیی مناسبی نخواهد داشت. مقداری هزینه اولیه بیش‌تر می‌تواند در هزینه برق مصرفی صرفه‌جویی زیادی کرده و قابلیت گرفتن حرارت در صورت قطع برق را تضمین کند.

سیستم‌های هیدرونیک بزرگ در ساختمان‌های اداری نمی‌توانند بدون پمپ کار کنند بنابراین حتما برای انجام سیرکولاسیون از پمپ استفاده می‌کنند.

برخلاف بویلرهای بخار که در آن‌ها بار توسط جریان بخار از منبع تولید تا محل مصرف تعدیل می‌شوند، بویلرهای آب گرم نمی‌توانند توسط کنترل اصلی که نرخ احتراق تمام بویلرها را کنترل می‌کند کار کند. برخی سیستم‌ها کنترلر دمای اصلی دارد که نرخ احتراق هر بویلر را کنترل می‌کند. تلاش‌هایی برای ایجاد کنترل معمول با سری کردن بویلرها انجام شده اما یکی از آن‌ها کارکرد بهتری دارد. وقتی سیستم‌های گرمایش به‌قدری بزرگ هستند که حجم سیال داخل بویلر بخش کوچکی از کل سیستم است کنترل دمای سیال خیلی سخت می‌شود. فاکتور دیگر، حجم آب داخل بویلر است. بویلرهای لوله آتش محتوی حجم آب زیادی بوده و می‌تواند زمان اقامت طولانی‌تری داشته باشند، اما بویلرهای لوله آبی، حجم آب کم‌تری داشته و مدام جایگزین می‌شوند. چنین بویلرهایی می‌توانند یک مشکل داشته باشند چون دمای آب در حسگر مساوی با میانگین دمایی آب بویلر نیست، حفظ دمای چنین واحدهایی می‌تواند غیرقابل پیش‌بینی باشد پس روش دیگری نیاز است.

درک روش مورد استفاده در بویلرهای آب گرم آسان است. بار گرمایش حقیقی با ضرب کردن جرم آب جاری در بویلر در اتلاف دمای



◄ **شکل(20): رینج کنترل، تنظیم و باز و بسته**

ورودی و خروجی تعیین می‌شـود. در مورد سـیالات دیگر کافی است در میانگیـن گرمای مخصوص مایع ضرب کنیـد. کنترلر منطقی که این محاسبات را انجام می‌دهد کنترل سـریعی است چون هر تغییر در دمای ورودی یا نرخ جریان سـیال، تغییری در سـیگنال کنتـرل ایجاد و نرخ احتراق بویلر را برای جبران آن افزایش یـا کاهش می‌دهد. ازآنجایی‌که تقویت‌کننده‌ها در کنترل‌های قدیمی یک مشکل محسوب می‌شوند اکثر واحدها روی جریان ثابت سیال حسـاب می‌کردند پس فقط اختلاف دما برای توسـعه منطق کنترل نیاز بود. این سیستم‌ها نمی‌توانند فقط روی آن منطق کار کنند چون هیچ راهی برای تصحیح تغییرات راندمان بویلر یا خطاهای کوچک در اندازه‌گیری جریان و دما که می‌تواند یک ناهماهنگی بین بار حقیقی و نرخ احتراق ایجاد کند وجود ندارد. یک کنترلر دما در این سیستم‌ها اسـتفاده می‌شود تا امکان تصحیح آن اختلاف‌ها فراهم شود. یک سیسـتم کنترل بار بویلر HTHW در شکل (22) نشان داده شده است. در ادامه توضیحات بیش‌تری ارایه خواهد شد.

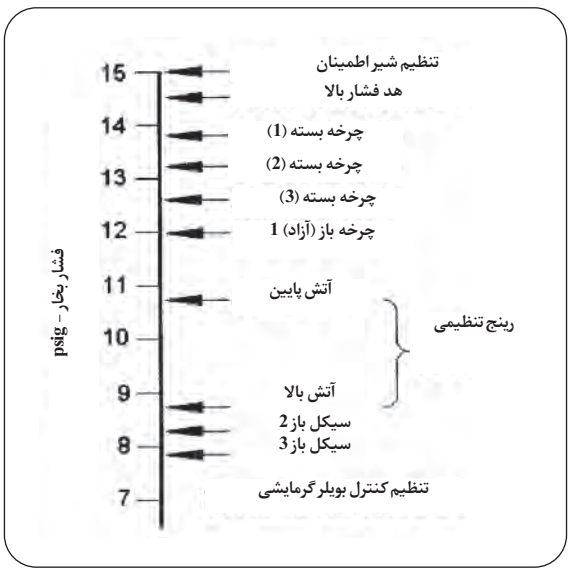
حفظ سطح سیال

محل‌های متعددی وجود دارد که سـطح آب باید در آن‌ها حفظ شود که مهم‌ترین آن‌ها سطح آب خود بویلر است. روش کنترل بسته به اندازه و پیچیدگی واحد بسـیار متفاوت است. سـاده‌ترین آن شیر کنترل شناور است و پیچیده‌ترین و گران‌ترین آن حلقه کنترل سطح درام بویلر سه‌جزیی اسـت. هرکدام جایگاه، ویژگی و مشکلات خاص خود را دارند که تلاش می‌کنیم در ادامه به آن‌ها بپردازیم.

یک کنترلر شـناور در کنترل سـطح در مخازن آب تغذیـه بویلرها، کندانسـیت و آب جبرانی یافت می‌شـود. آن‌ها فقط در سرویس تغذیه بویلرهای خانگی و بویلرهای کوچک تجاری دیده می‌شـوند که در بحث عمومی قبل به آن‌ها پرداختیم. آن‌هـا را نمی‌توانید در بویلرهای بزرگ یا فشارقوی بیابید چون شـناور باید خیلی بزرگ باشد تا نیروی مورد نیاز برای راه‌اندازی شـیر کنترل را برای تغییرات خیلی کوچک سطح فراهم کند. هرچه بزرگ‌تر شـوند باید قوی‌تر هم باشند تا نشکنند پس سنگین‌تر شده و محفظه شـناور باید ضخیم‌تر شود که نتیجتا غیراقتصادی خواهند بود. کارکـرد آن‌ها در مخازن روباز با نرخ جریان کم عالی اسـت. یکی از جاهایی‌که کنترل‌های شـناور در آن دچار مشـکل می‌شوند مخازن آب نمک اسـت. نمک روی شناور کریستاله شده و دور مواد را احاطه می‌کند که نهایتا باعث گیر کردن آن خواهد شد.

شـناوری که فقط باید کنتاکت الکتریکی را قطع و وصل کند نسبت به شناور شیر خیلی کوچک‌تر است، از این‌رو سیستم‌های زیادی داریم که با چنین ساختاری کنترل می‌شوند که سوییچ می‌تواند شیر برقی را تحریک و سـیال را وارد مخزن یا بویلر کند. انرژی مورد نیاز باز شدن شیر توسط برق تامین می‌شود (یا حتا توسط خود سـیال) بنابراین می‌توان هر حجم سیالی را با هر اختلاف فشـاری با یک شناور کوچک کنترل نمود. شناور همچنان مسـتلزم تغییر سطح برای شروع به‌کار بوده و فقط کنترل قطع و وصل جریان سـیال را انجام می‌دهد که برای اکثر شرایط رضایت‌بخش است. سوییچ همچنین می‌تواند طوری تنظیم شود که با بالا آمدن سطح شیر را فعال کرده و سیستمی به‌وجود آورد که امکان جریان سیال را هنگام خرابی بویلر فراهم کند.

بویلـر بخار گرمایشـی و بویلرهـای کوچک تجـاری و صنعتی از کنترل‌های شـناور اسـتفاده می‌کنند که پمپ‌های تغذیه را برای کنترل

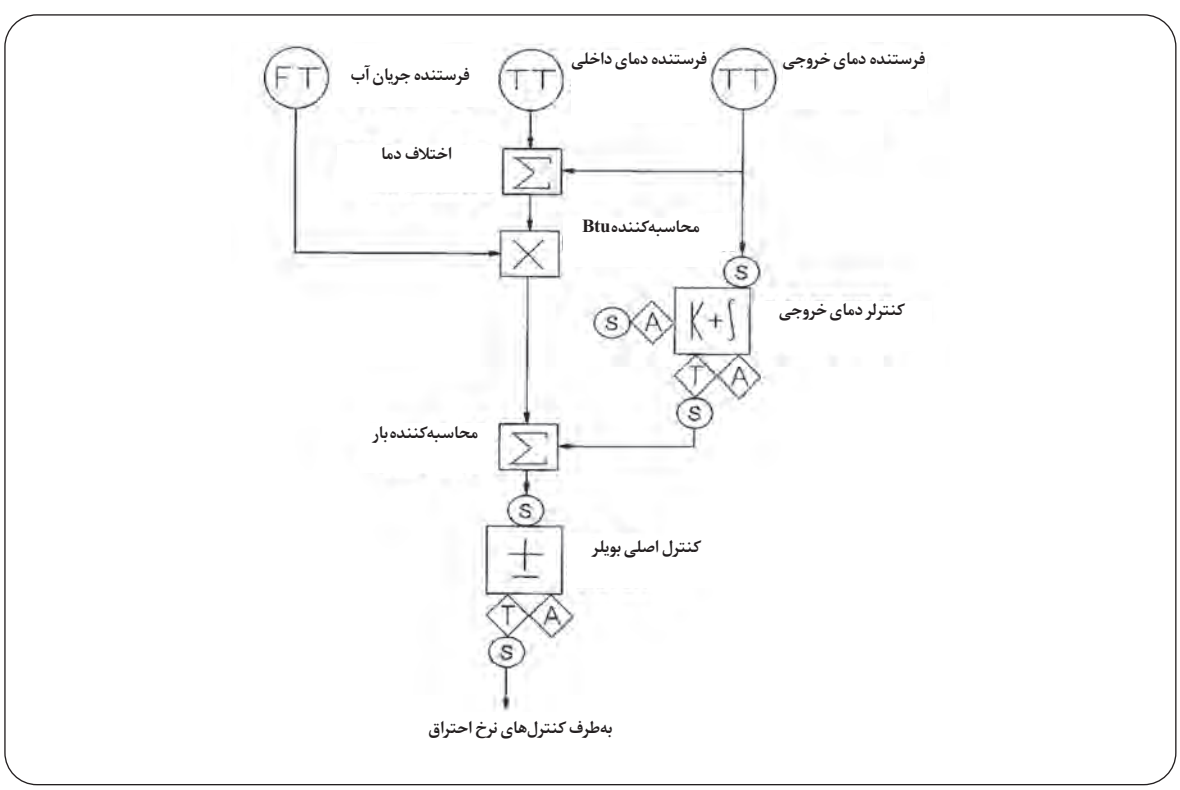


◄ **شکل(21): تنظیمات حالت خودکار کنترل سه بویلر**

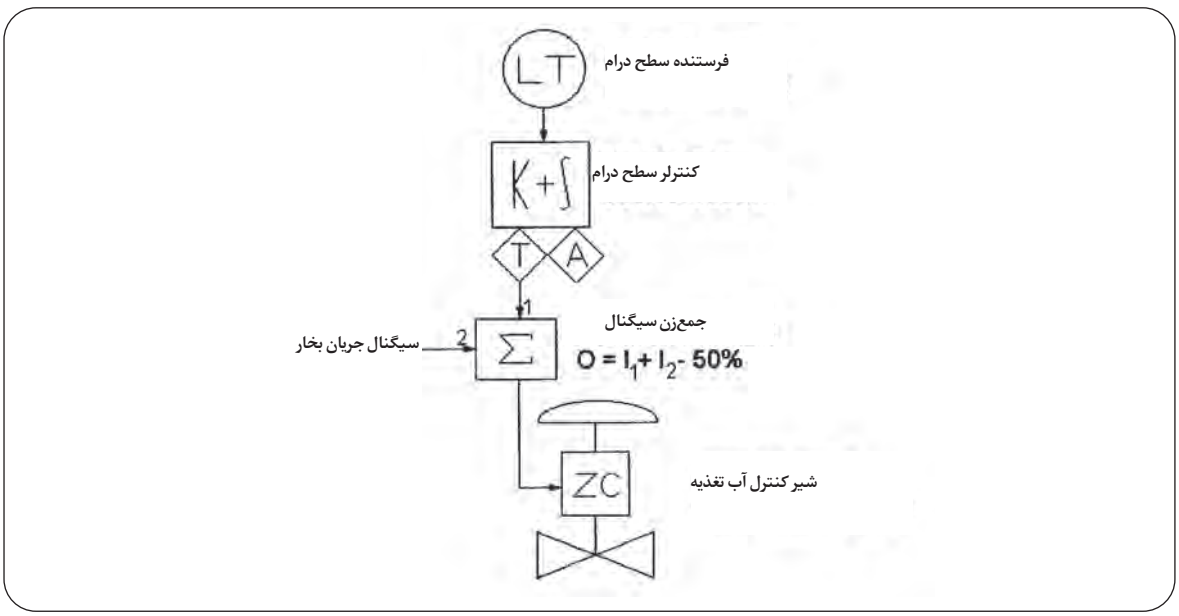
جریان آب برای حفظ سطح به‌جای کنترل شیر روشن و خاموش می‌کند. این سیستم‌ها برخی مشکلات کنترل شـــیر را با جلوگیری از کارکرد پمپ تغذیه هنگام بســـته شـــدن شـــیر که می‌تواند پمپ را بیش از حد گرم کند حل کرده‌اند. همچنین شـــیرهای کنترل آب تغذیـــه را به‌عنوان یک آیتم نگه‌داری حذف می‌کند.

در این روش کنترل هر بویلری باید پمپ اختصاصی داشـــته باشـــد. کارکرد پمپ‌های انتظار خیلی پیچیده اســـت چون کنترل الکتریکی باید به همراه شیر جداکننده پمپ ســـوییچ شود. این روش ساده و ارزان برای کنترل سطح بوده و در کاربردهای مختلف کارآیی خوبی دارد. اما نمی‌توان آن را در اکونومایزرها استفاده کرد و تقاضای الکتریکی بالا (موتور و پمپ معمولا دو برابر ظرفیت بویلر هســـتند) هزینه صورتحساب بالایی خواهد داشـــت. اگر از بویلر با ظرفیت ذخیره کمی مثل اکثـــر بویلرهای لوله آبی استفاده می‌کنید، اکونومایزر دارید یا نمی‌توانید نوسانات مربوط به کنترل قطع و وصل پمپ تغذیه را تحمل کنید، یک کنترل سطح متغیر نیاز دارید تا شیر کنترل جریان آب تغذیه را برای حفظ سطح تنظیم کند.

اگر بویلـــر ذخیره کمی دارد، ورود آب تغذیه ســـرد با دو برابر ظرفیت بویلر می‌تواند در زمان کوتاهی مقدار زیادی انرژی مصرف و حتا مقداری از بخار را کندانســـه کند بنابراین هر بار که پمپ شروع به کار کند سطح آب ناگهان افت خواهد کرد که گاهی برای فعال کردن قطع‌کن ســـطح پایین



◄ **شکل(22): کنترل بویلر HTHW**



◄ **شکل(25): شمای کنترل سطح دوجزیی**

کافی است.

اختلاف زیاد در سطح بویلر برای کارکرد بدون خطای آن ضروری است. بسیاری از بویلرهای مدرن با لوله انعطاف‌پذیر مجهز به دو کنترل سطح هستند، یکی برای کنترل سطح در بویلر خاموش و دیگری برای زمانی‌که بویلر روشن است و در سطح بالاتری تنظیم می‌شود.

اگر بویلر اکونومایزر دارد جریان مداوم آب برای جلوگیری از تولید بخار در آن ضروری است. عملکرد قطع و وصل پمپ تغذیه، تغییر قابل ملاحظه‌ای در خروجی بویلر ایجاد می‌کند؛ مخصوصا در بارهای کم که می‌تواند در کل سیستم انفجار به‌وجود آورد. هر چیزی بزرگ‌تر از یک بویلر کوچک تجاری باید کنترل سطح آب قابل قبولی داشته باشد. در سیستم منحصربه‌فرد کنترل مستقل وجود داشت و فقط در بویلرها استفاده می‌شد که همچنان می‌توانید آن‌ها را در بسیاری جاها ببینید. یکی سیستم ترمومکانیکی و دیگری ترموهیدرولیکی است. کلید این کنترل‌ها همان حرارت است که نشان می‌دهد ما برای سطح‌سنجی و تحریک شیر کنترل از آن استفاده می‌کنیم. سیستم‌های ترمومکانیکی (شکل 23–10) و ترموهیدرولیکی (شکل 24–10) توسط سازندگان خاصی تولید می‌شود که در هر دوی آن‌ها از اختلاف نرخ انتقال حرارت بین چگالش بخار و گرمایش ساده آب استفاده می‌شود.

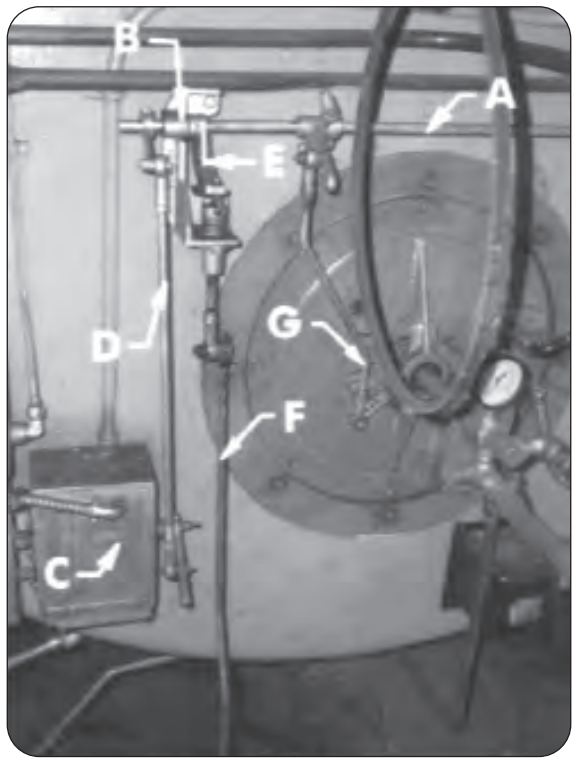
یک لوله اتصال در بویلر قرار داده می‌شود که یک سر آن در قسمت آب و سر دیگر در قسمت بخار قرار می‌گیرد. سطح آب بویلر در لوله مداوم است پس لوله بالای سطح آب در معرض بخار و پایین آن در معرض آب بویلر است (در واقع اکثر آن آب کندانسیت بخار است). از آنجا که بخار در حال چگالش انتقال حرارت خیلی سریع‌تری از آب گرم دارد قسمت در معرض بخار لوله داغ‌تر است. در هر دو سیستم، لوله تحت زاویه قرار دارد و شیب لوله ترمومکانیکی کم‌تر از ترموهیدرولیکی است تا سطح انتقال حرارت بیش‌تری برای کنترل بهتر حاصل شود.

چون انتقال حرارت در حالت تغییر فاز بسیار بالا است هر چه سطح آب کم‌تر باشد لوله داغ‌تر خواهد بود.

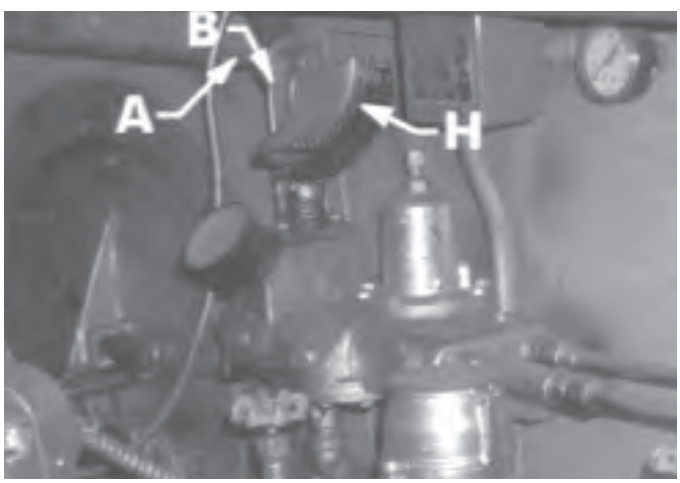
انتقال حرارت از پوشش فین‌دار کنترلر ترموهیدرولیکی یا از لوله کنترلر ترمومکانیکی به هوای محیط به‌خاطر وجود پوشش و لوله به‌شدت افزایش می‌یابد. انبساط لوله یا آب داخل پوشش به حرکت شیر تبدیل شده و هر چه گرم‌تر می‌شود شیر را باز می‌کند.

سیستم ترمومکانیکی از یک اهرم کوچک در انتهای لوله استفاده می‌کند که شامل یک نقطه اهرمی و یک مفصل متصل به دو کانال فولادی در دو طرف لوله است. اهرمی که به شیر کنترل متصل است حدود 6in از انتها و با تغییر کوچکی در طول لوله حسگر حرکت می‌کند. با انبساط لوله، اهرم توسط وزن به پایین رفته و شیر را باز می‌کند. آب منبسط شده در پوشش نوع هیدرولیکی هم یک دیافراگم یا دم را در شیر کنترل تحریک و آن را باز می‌کند. با بالا رفتن آب در لوله پس از افزودن آب، لوله یا پوشش منقبض می‌شود.

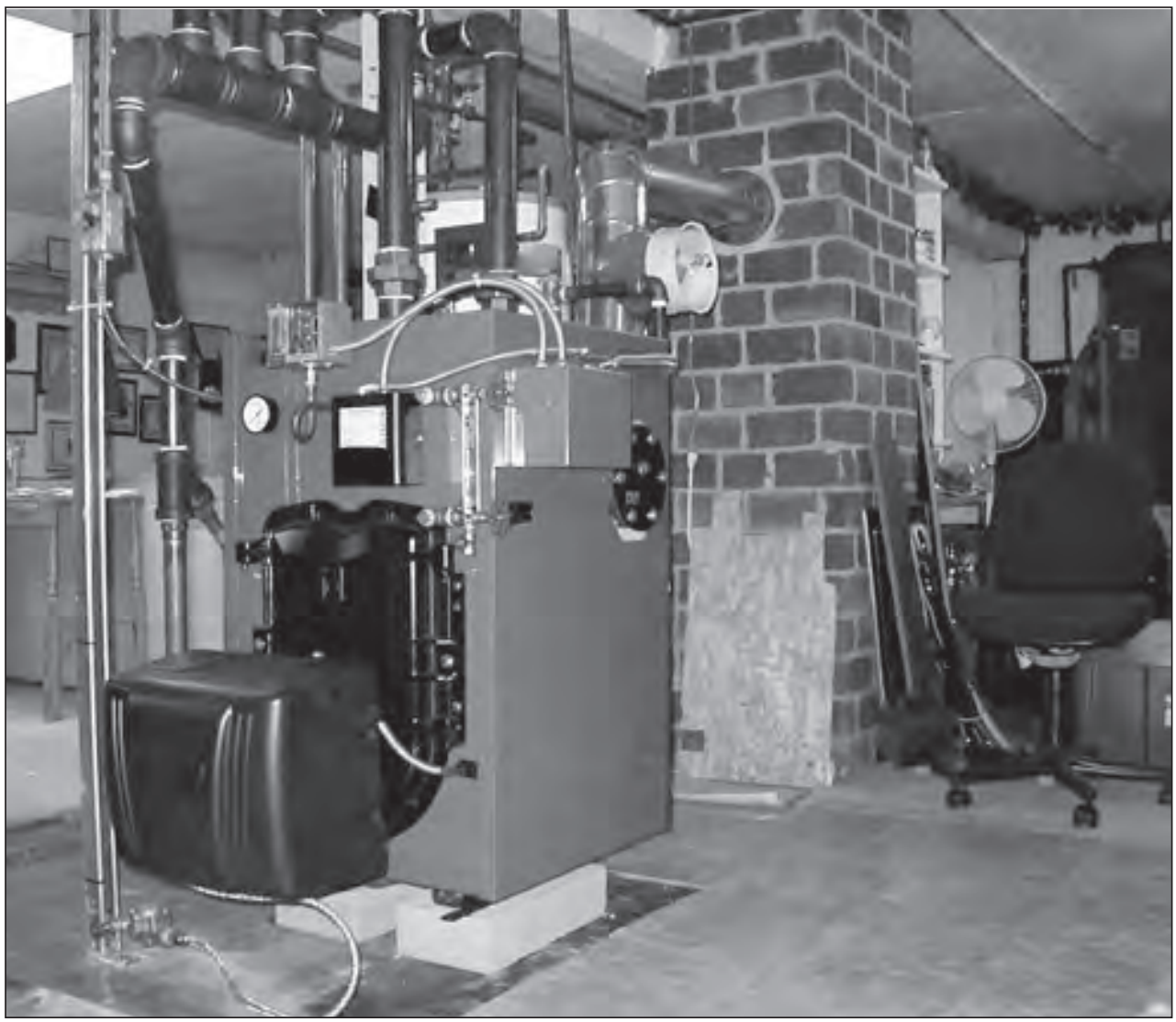
انقباض لوله در سیستم مکانیکی شیر را می‌بندد. با انقباض آب در سیستم هیدرولیکی هم با فشرده شدن دم یا دیافراگم توسط فنر شیر بسته



◄ شکل(26): جک شفت



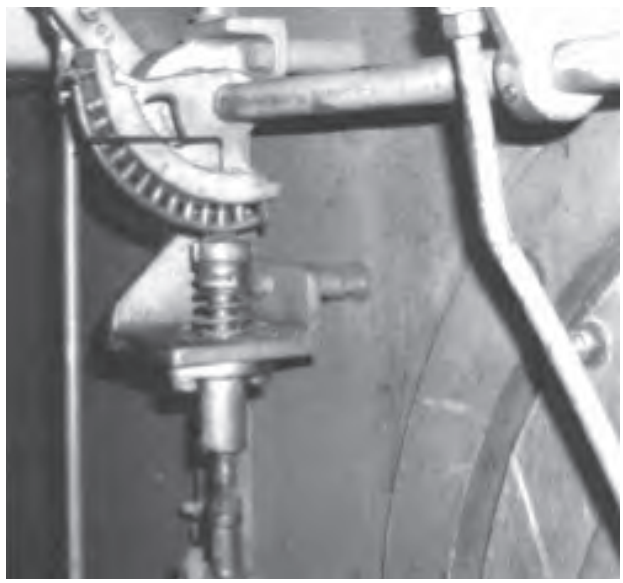
◄ شکل(27): اتصال به شیر نفت



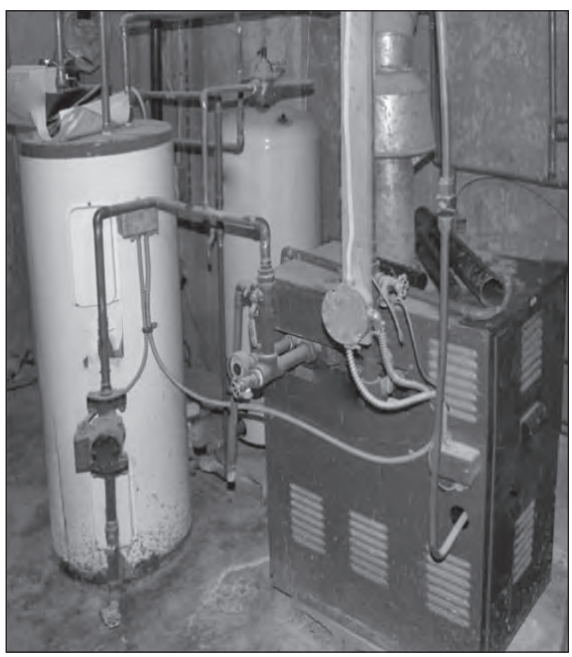
می‌شود. هر دو سیستم متوازن می‌شوند تا سطح آب را ثابت نگه دارند، اما به‌سرعت به تغییرات سطح جواب نداده و با سرد شدن بویلر شیر را کاملا باز می‌کند بنابراین باید به‌طور دستی آب را قطع و سطح آب را کنترل نمود تا این‌که بویلر مجددا به فشار کاری باز گردد.

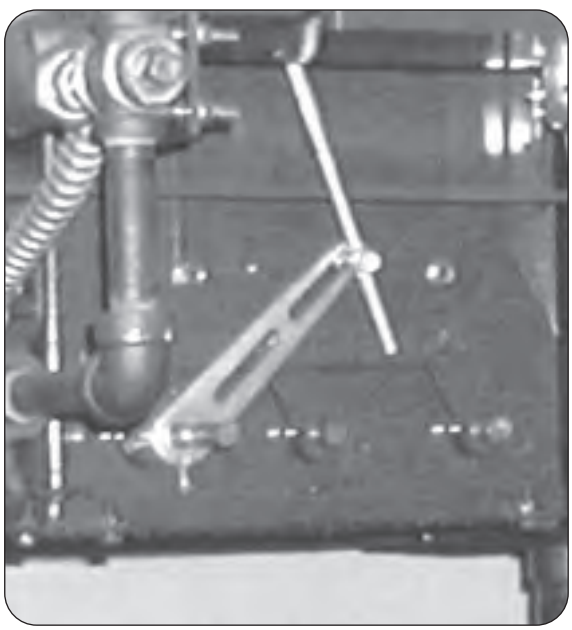
سازندگان سیستم فوق سیستم دیگری هم ارایه کرده‌اند که پاسخ‌گویی آن به تغییرات بار ارتقا یافته است. شیر کنترل مجهز به دیافراگمی است که متصل به شیر آب تغذیه به همراه خطوط حسگر به هدر بخار در هر دو طرف یک اوریفیس می‌باشد. افزایش جریان بخار، افت فشار بیش‌تری در اوریفیس ایجاد می‌کند که آن هم هد فشار بیش‌تری روی دیافراگم به‌وجود می‌آورد تا شیر را بیش‌تر باز کند. اهرم لوله ترمومکانیکی یک زنجیر دارد که چرخ روی شیر را حرکت می‌دهد. با این کار عملکرد دیافراگم برای کنترل نهایی سطح تحریک یا محدود می‌شود. این سیستم قابل مقایسه با کنترل دو جزیی است که بعدا توضیح داده خواهد شد.

تجربه به همراه کنترل‌ها و ابزار دقیق مدرن مرا متقاعد کرده تا از سیستم‌های فوق استفاده نکنم. من به افرادی که چنین سیستم‌هایی دارند توصیه می‌کنم قطعات یدکی نخریده و حتی‌الامکان آن‌ها را جایگزین کنند. کار با آن‌ها راحت نیست چون وقتی بویلر سرد است کاری انجام نمی‌دهند و نسبتا گران هستند. حال که فرستنده‌ها و کنترلرها چندان گران نیستند هزینه این طرح‌های قدیمی توجیه نمی‌شود. آن‌ها در



◄ شکل(28): اتصال به شیر گاز





◄ شکل(29): اتصال به دمپر فن

زمان خود کنترل‌های خوبی بودند اما کنترلرهای امروزی کارآیی بهتری دارند.

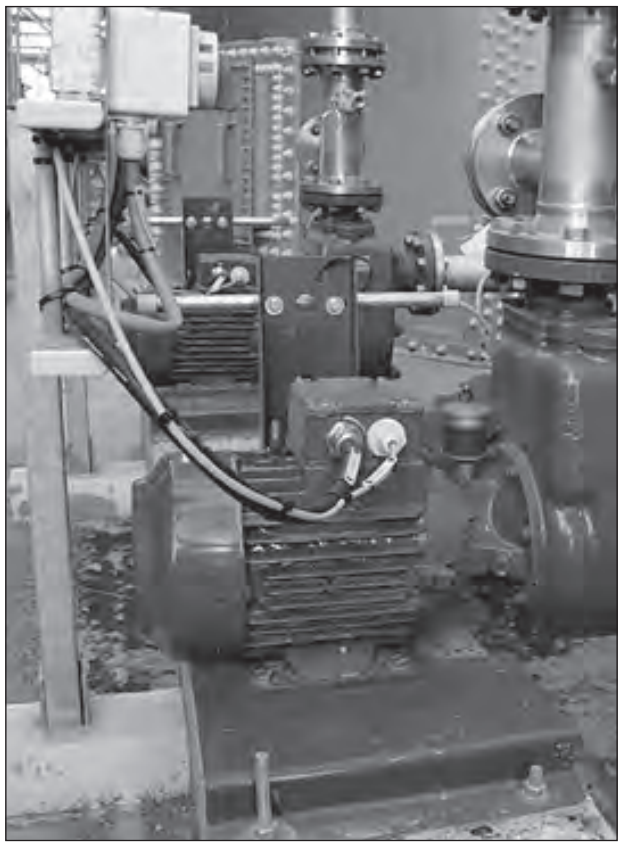
انقباض و انبساط

یک سیستم کنترل تک‌حلقه‌ای ساده می‌تواند جواب‌گوی اکثر بویلرهای گرمایشی و بارهای صنعتی و تجاری با نیاز بخار ثابت باشد. اما اگر نیاز بخار پیوسته تغییر می‌کند کنترل به‌دلیل انقباض و انبساط مکرر دچار اختلال خواهد شد. انقباض و انبساط به حالات ناشی از تغییرات آب تغذیه و بار بویلر اطلاق می‌شود. وقتی بویلر بخار تولید می‌کند مقداری از حجم زیر سطح آب با حباب‌های بخار اشغال می‌شود. مقدار حباب‌ها به بار، حجم بویلر در زیر سطح متناسب با ظرفیت، مساحت سطح خط آب و فشار کاری بستگی دارد. بسیاری از بویلرها و مخصوصا انواع لوله آتش، محتوی آب خیلی بیش‌تری متناسب با ظرفیت بخارسازی است که درصد حجم اشغال شده توسط بخار کم است و انقباض و انبساط نادیده گرفته می‌شود. از طرف دیگر یک بویلر لوله آبی کم‌فشار، به‌نظر می‌رسد تغییر بسیار شدیدی نشان می‌دهد چون چگالی بخار کم است. وقتی ناگهان افزایش بار رخ می‌دهد فشار بخار بویلر افت کرده و حباب‌های بخار در آن منبسط می‌شوند. همچنین درصد کوچکی از آب تبخیر شده و تعداد حباب‌ها را افزایش می‌دهد. حاصل، افزایش سطح آب (انبساط) است چون بدون افزوده‌شدن آب به بویلر رخ می‌دهد. یک سیستم کنترل تک‌جزیی با بستن شیر آب تغذیه به انبساط واکنش نشان می‌دهد که این، خلاف آن چیزی است که باید اتفاق بیفتد؛ چون برای بار بزرگ‌تر آب بیش‌تری نیاز است. بستن شیر آب تغذیه نیاز به حرارت را برای افزایش دمای آب کاهش می‌دهد بنابراین حرارت بیش‌تری برای تولید بخار صرف شده و آب را منبسط می‌کند.

در حالت برعکس که بار ناگهان کاهش می‌یابد فشار افزایش یافته و حباب‌ها متراکم می‌شوند که آب بویلر به حد شرایط اشباع جدید نمی‌رسد پس مقداری از بخار کندانسه می‌شود تا آب را گرم کند. آب منقبض شده و سطح افت می‌کند. کنترل تک‌جزیی افت سطح را حس کرده و شیر کنترل را برای افزایش جریان آب باز می‌کند. آب اضافه شده باید تا حالت اشباع گرم شود. بنابراین بخار بیش‌تری چگالیده شده و حباب‌های بیش‌تری از بین می‌رود. افزایش جریان آب لازم نیست چون جریان بخار کاهش یافته است.

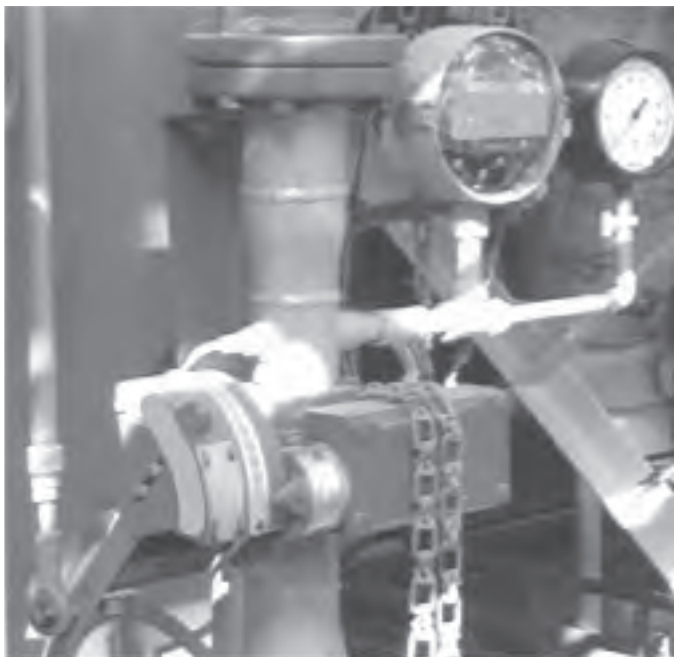
کنترل دوجزیی

برای کاهش تاثیر انبساط و انقباض به سیستم آبی که این موضوع را دامن نزند نیاز داریم. در واقع سیستم‌های دو یا سه‌جزیی بخشی از این تاثیر را توسط افزودن آب در هنگام انبساط برای سرد کردن حباب‌ها و



کاهش انبساط رفع می‌کنند. در مقابل، آن‌ها افزایش آب سرد را در حالت انقباض سطح کاهش می‌دهند. من عملکرد کنترل‌های تک‌جزیی را گفتم. آن‌ها یک متغیر فرآیند برای کنترل دارند که آن‌هم سطح آب است. کنترل‌های دو جزیی متغیر دیگری (که همان جریان بخار باشد) را هم دارند (که حفظ نمی‌شود). چون جریان بخار به‌عنوان بخشی از سیستم آب تغذیه کنترل نمی‌شود به‌عنوان سیگنال ریموت لحاظ می‌شود. متغیر سوم برای کنترل سه‌جزیی جریان آب تغذیه است. سیستم‌های دو و سه‌جزیی تعادل جریان بخار و آب تغذیه را با تنظیم سطح حفظ می‌کنند. آن‌ها در واقع تطابق جریان آب و بخار را کنترل می‌کنند.

هر پوند بخار خروجی از بویلر باید توسط یک پوند آب تغذیه جبران شود. این سیستم‌ها به جزیی احتیاج دارند که جمع‌زن سیگنال نام دارد و کار آن ترکیب کردن دو یا چند سیگنال کنترل است. وقتی ریاضی‌دان‌ها و مهندسان کنترل از لغت جمع برای جمع کردن مقادیر استفاده می‌کنند، ممکن است شامل اعداد منفی هم باشد. جمع‌کننده نسبت که قبلا توضیح داده شده هم می‌تواند جمع‌زن سیگنال باشد. یک سیگنال ورودی می‌تواند به دم مخالف خروجی (در شکل A:5–10) اعمال شود. بنابراین خروجی مساوی است با آن سیگنال به‌اضافه سیگنال دیگری که



◄ **شکل(30): شیر کنترل اتصالی به همراه تنظیمات پوشانده شده**

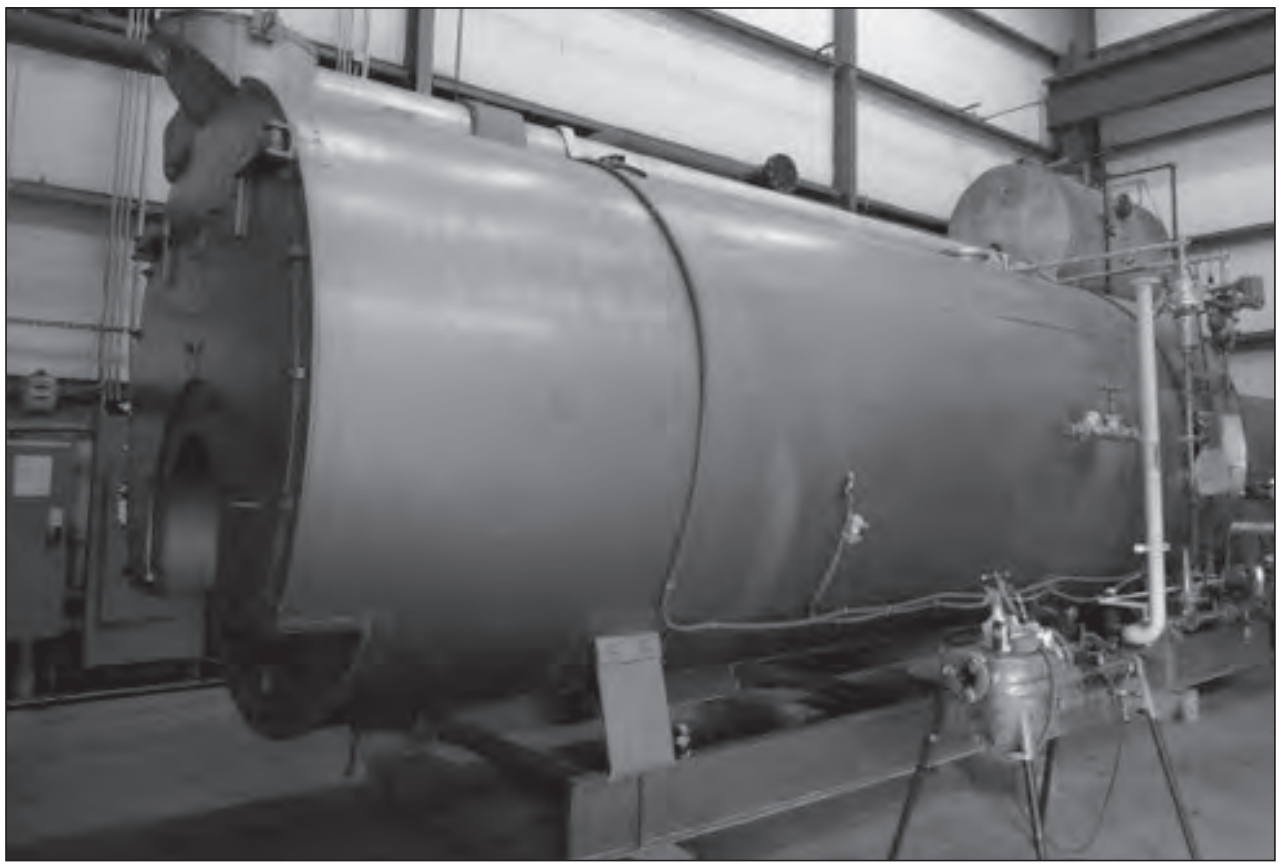
به پورت C دستگاه وارد می‌شود برای جمع کردن یا پورت B برای تفریق.

می‌توانستیم با تنظیم اهرم، بهره‌ای را هم به مقادیر A و B وارد کنیم. همچنین می‌توان فنری را هم به دستگاه اضافه کرد تا با بایاس ثابت (نیروی فنر) در هر دو انتهای جمع‌کننده نسبت به‌وجود آورد. معادله خروجی جمع‌زن معادل ورودی C+ ورودی A منهای ورودی B به‌اضافه منهای بایاس فنر در انتهای آن‌ها به‌اضافه منهای بایاس فنر در انتهای خروجی. خروجی معادل $(I_A-I_B\pm K_B)\times G+I_C\pm K_C$ است که در آن اندیس‌ها نشانگر پورت‌ها در شکل (25–10)، I نماد ورودی، K معرف فنر و G بهره است. این مفهوم اصلی جمع‌زن است اما اکثر کنترلرهای میکروپروسسوی جمع‌زن را در داخل خود دارند تا نیاز به سخت‌افزار جانبی نباشد. در واقع در بسیاری از سیستم‌ها مساله، دریافت سیگنال جریان بخار توسط کنترلر است چون تمام کنترلرها به تمام سیگنال‌های سیستم دسترسی دارند. سیستم‌های دو و سه‌جزیی شیر آب تغذیه را متناسب با جریان بخار با یک تنظیم برای سطح درام کنترل می‌کنند. یک سیستم کنترل آب تغذیه دو جزیی در شکل (25) نشان داده شده است. امروزه کنترل دوجزیی بسیار رایج است چون هر بویلری که به کنترل احتیاج دارد به‌قدر کافی بزرگ است تا سنجش جریان بخار را به منظور نظارت بر تقاضا و عملکرد بویلر انجام دهد. با وجود این دبی‌سنج فقط باید مقداری سیم‌کشی انجام داد تا سیستم تک‌جزیی را به دو جزیی تبدیل نمود. اگر کنترل بویلر پنوماتیکی است یک جمع‌زن برای ایجاد کنترل دوجزیی به همراه یک پانل سوییچ دستی– خودکار هم نیاز خواهد بود.

با افزایش جریان بخار خروجی به شیر آب تغذیه هم افزایش می‌یابد. تنظیم مستقرکننده و خروجی طوری انجام می‌شود که جریان‌های آب تغذیه و بخار با هم مطابقت کنند. شما می‌توانید تنظیم درست سیستم دوجزیی را با توجه به خروجی کنترل سطح در بارهای مختلف بویلر هنگامی‌که سطح و جریان بخار نسبتا پایدار هستند تشخیص دهید. خروجی کنترلر سطح نباید تغییر کرده و در حدود ٪50 بماند.

چرا ٪50؟ من با سیستم‌های متعددی مواجه شده‌ام که در آن‌ها اپراتور همیشه با سطح بویلر کلنجار می‌رفت چون کنترل‌ها برای ٪50 تنظیم نشده بودند. تنظیم سیستم کنترل آب تغذیه، معمولا از Blow down چشم‌پوشی می‌کند (که آب تغذیه بیش‌تری نیاز دارد)، پس وضعیت شیر طوری تنظیم می‌شود که مقدار آب تغذیه مناسب را برای سیستم تامین کند. تکنسینی که سیستم را تنظیم می‌کند به نقشه نگاه کرده و می‌فهمد که کنترلر در سطح می‌تواند سیگنال جریان بخار را افزایش دهد تا جریان و سطح آب را افزایش دهد اما درباره کاهش آن در صورت افزایش بیش از حد فکری نمی‌کند.

بایاس ٪50 اعمال شده به سیگنال بخار که با خروجی ٪50 کنترلر سطح متعادل شده، تاثیر آن بر جریان بخار صفر است اما اجازه می‌دهد

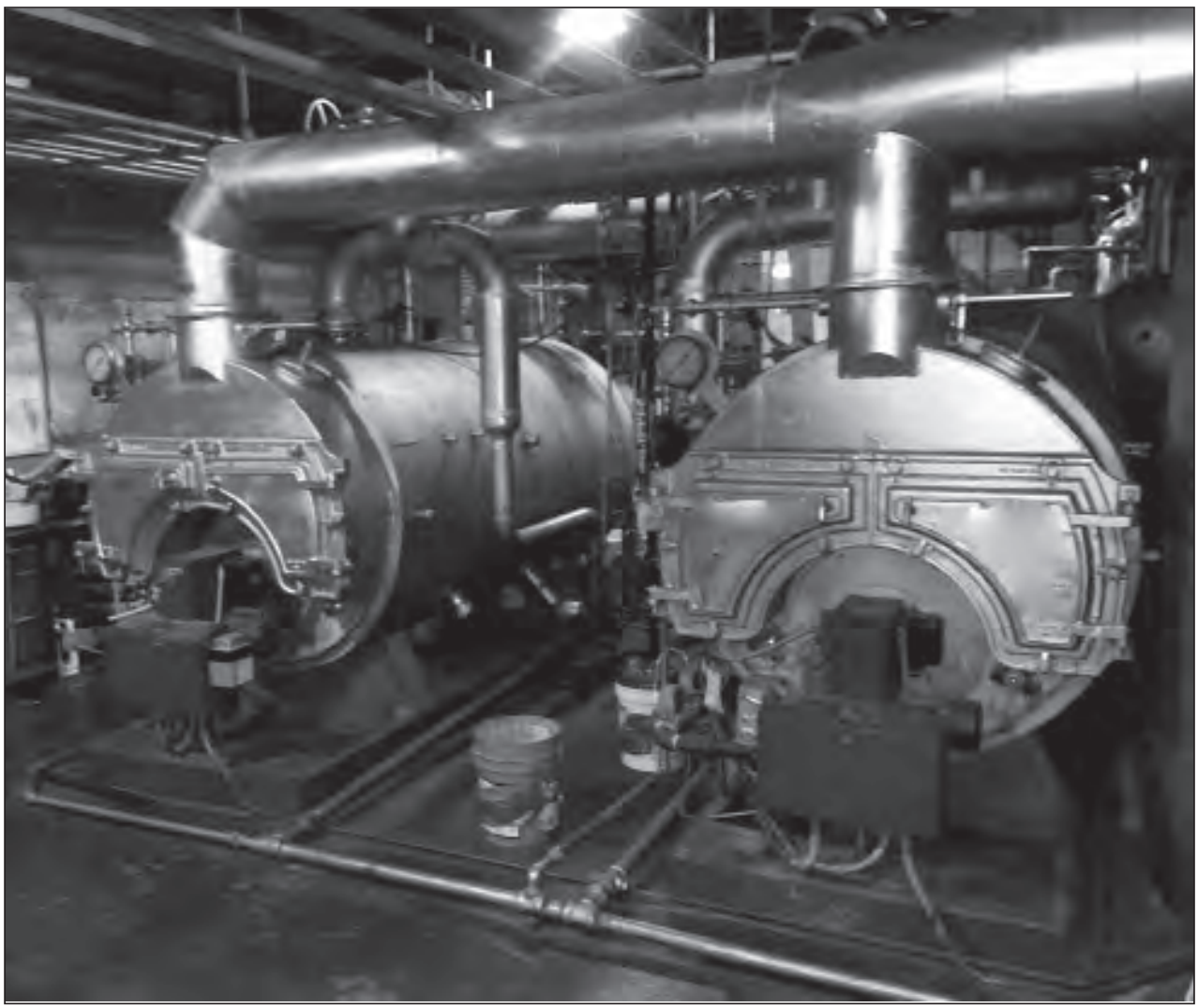


کنترلر سطح، رابطه را اصلاح کند. بدون این بایاس خروجی کنترل سطح حدود صفر بوده و در صورت وجود اشکال در کارکرد (مثل فشار کم بخار که عامل ورود آب بیش‌تر است) نمی‌تواند کاری برای پایین آمدن سطح آب بکند که حاصل آن سطح آب بالاتر است.

کنترل سه‌جزیی هم مثل دوجزیی عمل می‌کند اما جریان آب تغذیه را هم به‌عنوان متغیر فرآیند اندازه‌گیری کرده و کنترلر آن شیر کنترل آب تغذیه را برای مطابقت با جریان بار به‌اضافه منهای هر تنظیمی از کنترلر سطح تنظیم می‌کند. سیستم‌های سه‌جزیی زمانی که فشار آب تغذیه مدام تغییر کرده یا تحت تاثیر نوسانات بار سنگین قرار می‌گیرد ضروری هستند در غیر این‌صورت حالت خطی شیر کنترل حفظ نخواهد شد. البته سیستم دوجزیی در صورت از دست رفتن سیگنال جریان بخار دچار اشکال خواهد شد و کنترل نخواهد توانست شیر را بیش از نصف باز کند. به نظر من این مشکل خاصی نیست چون فکر نمی‌کنم بویلر را با سیستم دوجزیی به حالت تک‌جزیی بهره‌برداری کنید مگر این‌که بار خیلی پایین باشد. کنترل‌های مدرن این مشکل را رفع می‌کنند چون دستورالعمل آن‌ها شامل سوییچ به کنترل تک‌جزیی است که می‌تواند وقتی سیگنال جریان بخار کم است یا از دست رفته شیر را کاملا باز کند. در صورت خراب شدن آن مجبور خواهید شد بویلر را بدون سیگنال جریان بخار بهره‌برداری کنید ولی می‌توانید جمع‌زن را پیدا کرده و با بایاس را از 50- روی صفر تنظیم کنید تا شیر مستقیما به سیگنال کنترلر سطح جواب دهد.

مدیریت مشعل

قبل از توضیح کنترل سوخت و هوا برای تولید شعله در بویلر، باید سیستم مدیریت مشعل را مطرح کنم. ما تا مدت‌ها آن را سیستم حفاظت شعله می‌خواندیم چون هدف اصلی آن احتراق ایمن بویلر و ادامه بهره‌برداری است. این سیستم دو کار انجام می‌دهد، بازرسی بهره‌برداری برای اطمینان از این‌که تمام پارامترها در محدوده تعریف شده هستند و بازرسی دستورالعمل‌های مورد نیاز برای بهره‌برداری از بویلر و مشعل، همچنین می‌توان به‌طور کنترل شده بویلر و مشعل‌ها را خاموش کرد. اکثر کنترلرهایی که برای مدیریت مشعل تولید شده‌اند محصول Fireye و Honeywell هستند. دستگاه‌های آن‌ها به‌طور رقابتی قیمت‌گذاری شده و مشعل را به‌طور عالی در بویلرهای کوچک و متوسط تک‌مشعلی مدیریت می‌کنند. کنترلر وقتی به کنترل‌های مشعل، سوییچ‌های محدودکننده



سطح، فشار و دما و اسکنر شعله متصل شود یک سیستم می‌شود.

کشف صحیح شـــعله مهم‌ترین کار سیســـتم مدیریت مشعل است. این سیســـتم اطمینان حاصل می‌کند که شـــعله وقتی نباید باشد نیست و برعکس، و مطابق آن پاسخ می‌دهد. آشکارسازها می‌توانند میله شعله، حسگر فروسرخ، حسگر ماورای بنفش یا واحدهای حسگر چندفرکانسی مدرن باشند.

آشکارسازها به‌استثنای میله‌های شعله، اسکنر خوانده می‌شوند.

اساس کار اســـکنر شعله این اســـت که مخلوط هوا و سوخت هادی الکتریکی نیست اما شعله هست. میله باید در جای مناسب خود قرار داده شود که در مشعل‌های بزرگ شعله پیلوت اســـت. الکترود زمین معمولا به‌طور الکتریکی به بخش‌های فلزی متصل می‌شـــود. ممکن است میله شعله دیگری هم در جای دیگر شـــعله نصب شود. جنس لوله باید طوری باشد که در آتش ذوب یا اکسید نشود و عایقی که آن را از بخش‌های فلزی مشـــعل جدا می‌کند هم باید طاقت دماهای بالا را داشـــته باشد. معمولا جنس میله فولاد کروم و عایق از مواد سرامیکی است. بخشی از سیستم مدیریت مشعل که برقراری شعله را تشخیص می‌دهد باید ولتاژ کافی برای اعمال جریان قابل کشف در شعله تولید کرده و با دریافت آن جریان، وجود یا عدم وجود شعله و سیگنال‌های نامطلوب را تشخیص دهد.

اسکنر شعله حسگری اســـت که شعله را در مشـــعل از طریق جذب مقداری از انرژی نوری شـــعله تشخیص می‌دهد. اســـکنرها می‌توانند نور فروســـرخ یا ماورای بنفش، هر فرکانس نوری مابین آن‌ها و یا ترکیبی از آن‌ها را تشـــخیص دهند. برخی از آن‌ها خودرس نامیده می‌شـــوند که

غیرمقتضی اســـت. من زمانی آن‌ها را خودرس (بررسی خودکار) می‌نامم که مجهز به وسیله‌ای برای مسدود کردن نور از حسگر در بازه‌های زمانی بوده و مدار آشکارســـاز، سیگنال بدون شـــعله را در بازه حس کند. برخی اسکنرها در بازه‌های منظمی نور را مســـدود می‌کند تا آشکارساز، وجود شعله را تشخیص دهد زیرا سیگنال اسکنر پیوسته نوسان می‌کند تا جریان متناوب تولید کند. یک ســـیگنال پایدار از اسکنر عدم وجود شعله، خرابی اســـکنر یا خرابی خودرس را نشان می‌دهد. خودرس بودن اسکنرها نباید با خودرس بودن مدار آشکارساز شعله اشـــتباه شود. برخی ممکن است دســـتگاهی را به‌خاطر طرح نرم‌افزاری، خودرس بنامند. من ساعت‌ها با اندیکاتور دود کلنجار رفته و فهمیده‌ام که خوب کار می‌کند اما دودی را که در بالای دودکش می‌ریزم نشان نمی‌دهد. طرح آن‌ها برای کالیبره کردن دودکش سیاه شامل کوتاه کردن یک ترمینال روی حسگر بود نه خاموش کردن نور در انتهای دیگر دودکش. وقتی نهایتا فهمیدم که سیســـتم نور را خاموش نمی‌کند یک ورقه خالی جلـــوی آن گرفتم تا این‌که تمیز بودن دودکش را نشان داد. اگر خود اســـکنر نتواند دید حسگر را نسبت به آتش مسدود کند اسکنر خودرس نیست.

یک مدار خودرس، نبودِ شعله را زمانی‌که نباید باشد مسدود می‌کند. من سیســـتم‌های متعددی را دیده‌ام که طوری نصب و متصل شده بودند که عملکرد خودرس مدار اجازه کار را نمی‌داد. اگر در مشـــعل خاموشی که نمی‌تواند شـــعله شـــمع یا فندکی را که در مقابل آن نگه می‌دارید بگیرد و هشدار نداده و قفل نمی‌کند، این اسکنر هم یکی از آن‌ها است. از آنجاکه بســـیاری از آن‌ها فقط پس از انفجار بویلر پیدا شدند از شما می‌خواهم این

تست را انجام دهید. اگر سیستم قفل نمی‌کند، ایمن نیست.

BMS (سیستم مدیریت مشعل) امکان کارکرد خودکار مشعل را فراهم و تمام مراحل گفته شـــده در بخش راه‌اندازی بویلر را اجرا می‌کند. وقتی سوییچ کنترل فشـــار، BMS را می‌بندد ابتدا باید مشخص کند شعله وجود ندارد. با ایجاد محدودیت‌های کارکردی مثل قطع‌کن سطح پایین، فشار بخار بالا و فشار ســـوخت کم همگی متقاعد هستند که کنتاکت خروجی را برای استارت فن مشعل می‌بندد. با برقراری جریان هوا، سیستم کنترل نرخ احتـــراق وضعیت دمپر را بـــه آتش بالا افزایـــش می‌دهد. در برخی سیستم‌ها ممکن است برای استارت پمپ سوخت و تایید عملکرد آن هم پیش‌بینی‌هایی انجام گیرد. دمپر باز یا سوییچ جریان هوای پرژ با حس این جریان، کنتاکت را برای ورودی دیگر BMS می‌بندد. سپس سیستم منتظر بازه زمانی گفته شده برای پرژ می‌شود.

بعضی از آن‌ها بازه ثابتی دارند امـــا واحدهای مدرن پیش‌بینی‌هایی برای تنظیم زمـــان پرژ برای برآورده کردن ملزومات کد دارند. کنترلر، پرژ را با باز و بستن دمپر یا سوییچ جریان هوای پرژ تحت نظر دارد. اگر ورودی قطع شـــود برخی از آن‌ها پرژ را مجددا آغاز می‌کنند در حالی که ســـایرین راه‌اندازی را قطع می‌کنند. باکامل شـــدن زمان پرژ کنتاکت‌های آتش بالا باز می‌شـــوند و ســـری دیگری کنترل‌های نرخ احتراق را روی وضعیت آتش کم برای شروع احتراق هدایت می‌کند، در این وضعیت کنتاکت‌های ســـوییچ وضعیت آتش پایین بسته می‌شـــود تا یک ورودی برای سیستم مدیریت مشعل ایجاد کند.

طی زمان راه‌اندازی اسکنر باید به‌دنبال یافتن شعله باشد که اگر ببیند باید سیستم را قفل کند. دلایل ممکن اســـت هر چیزی از اسکنر معیوب تا ریختن نفت از تفنگ باشـــد. اگر اپراتور بیش از یـــک بار متوجه چنین وضعیتی شـــود می‌تواند با بیرون کشیدن اســـکنر و پوشاندن آن طی پرژ و آتش کم از قفل شدن سیســـتم جلوگیری کند. اسکنر شعله را به‌درستی دریافت نکرده و باعث انفجار هم شـــد. اگر اسکنر در جایی که شعله وجود ندارد آن را دریافت می‌کند، بهره‌برداری از بویلر ایمن نخواهد بود.

با قرار گرفتـــن در حالت آتش کم کنترلر کنتاکـــت را می‌بندد اما جرقه الکتریکـــی را در جرقه‌زن فعال کرده و کنتاکت دیگری را برای فعال کردن شیر اصلی گاز جرقه‌زن می‌بندد. سپس کنترلر ده ثانیه صبر می‌کند تا ببیند آیا شیرها باز شده و گازی را که برای تولید شعله در جرقه‌زن نیاز است وارد

می‌شود یا نه. اگر شعله یافت نشود، بهره‌برداری را متوقف کرده و هشدار می‌دهد. اگر شعله یافت شد کنتاکت دیگری را برای فعال کردن شیرهای اصلی سوخت می‌بندد. پس از زمان مشخصی از باز شدن شیرها، شیر گاز جرقه‌زن قطع می‌شود. اگر تشخیص شعله باقی بماند کنترلر کنتاکت آتش کم را باز و کنتاکت خودکار را می‌بندد تا کنترل نرخ احتراق در حالت خودکار انجام شود.

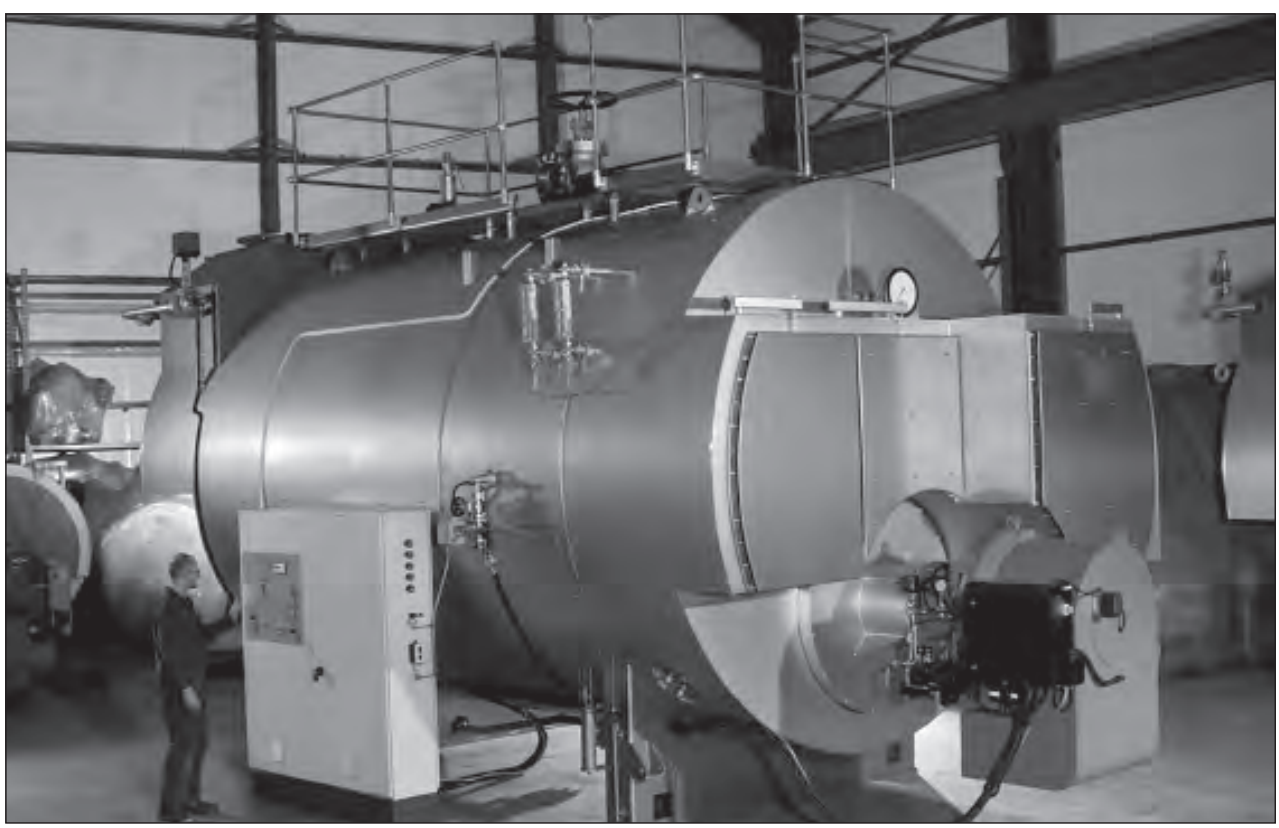
نحوه انجام آن در اوایل ناشیانه و با خطاهای زیاد همراه بود. زمان توسط موتوری که شفت با چندین دیسک فیبری اپوکسی را تحریک می‌کرد کنترل می‌شد که به‌عنوان بادامک عمل می‌کرد. هر بادامک دارای فنر مسطحی بود که در محل شکاف با دیگری تماس پیدا می‌کرد. برنامه زمانی که سوییچ کنترل فشار بویلر بسته می‌شد تا موتور را تحریک کرده و بادامک‌ها را بچرخاند آغاز می‌شد. با شروع چرخش بادامک‌ها تغییر در قطر، قطر یکی، فنر را تحریک به بستن مدار موتور کرده و دیگری مدار موتور تنظیمی را می‌بست تا کنترل‌ها را به آتش بالا هدایت کند. سپس کنتاکت دیگر باز شده و موتور محرک بادامک را خاموش می‌کرد و با رسیدن موتور تنظیمی به حالت آتش بالا کنتاکت قفل آتش بالا را که کنتاکت باز بادامک را بای‌پس می‌کرد بسته و موتور محرک بادامک را برای شروع پرژ روشن می‌کرد.

نیاز به توضیح بیش‌تری وجود ندارد چون اگر در یک واحد قدیمی کار کنید خودتان متوجه قضایا می‌شوید. این کنتاکت‌های بادامک همیشه یک مشکل بوده‌اند چون فنرها در اثر باز شدن ضعیف شده و کنتاکت‌ها کثیف شده و کارآیی آن‌ها را به حداقل می‌رساند که کنترل‌های ارزان میکروپروسسوری جای آن‌ها را گرفت. شما به برنامه این کنترل‌ها دسترسی نداشته و نمی‌توانید آن‌ها را تعمیر کنید پس به‌راحتی آن‌ها را عوض می‌کنید که باصرفه‌تر از وقت گذاشتن در کنترل‌های قدیمی برای تعمیر و تمیز کردن فنر و کنتاکت‌ها هر ماه یک بار است.

وقتی آخرین دستور در بادامک قدیمی، کنترلر را به‌راه می‌انداخت همیشه یک صفحه مدرج به شفت بادامک متصل بود. این صفحه شبیه به ته یک قوطی آلومینیومی مدرج و مربوط به زمان‌بندی موتور بود.

همچنین یک نقطه سیاه بزرگ روی آن قرار داشت که نشانگر محل توقف تایمر در احتراق نرمال و محل شروع چرخه هم بود. تشریح زمان‌بندی و سوییچ‌های تحریک‌شونده با بادامک برای توضیح تجهیزات میکروپروسسوری کمک می‌کند.

یکی از مهم‌ترین اجزای BMS کنترل پیش‌بینی‌ها است. کنترلر



مدیریت مشعل باید حداقل دو رله داشته باشد؛ رله توان و شعله. رله توان فقط توسط کنتاکت نرمال بسته روی رله شعله تحریک شده و یک کنتاکت نرمال باز را برای بای‌پس کردن کنتاکت رله شعله می‌بست تا بهره‌برداری ادامه پیدا کند. وقتی رله توان بالا بود، رله شعله کنتاکت‌های آن را بست تا شیرهای اصلی سوخت را باز کرده و تایمر موتور را خاموش کند.

هر نشانی از شعله در زمانِ نبودِ آن می‌تواند به معنی ادامه کار مشعل بدون وجود شعله باشد که حالت انفجاری در بویلر به‌وجود خواهد آورد. خرابی هر مولفه BMS باید بدون خطر بویلر را خاموش کند یا اگر این خرابی خطر فوری ندارد از راه‌اندازی بعدی بویلر پیش از رفع آن خودداری گردد. اکثر انفجارهایی که من آن‌ها را بررسی کرده‌ام فقط دو مورد در حین کار بود و بقیه در حال راه‌اندازی و مشکلات ناشی از طراحی بوده است. برخلاف تصادفات هواپیما که معمولا علت آن خطای خلبان است به‌ندرت خطای اپراتور عامل انفجار بویلر است، اکثر اوقات اپراتور حاضر است و کاری انجام می‌دهد اما معنی آن این نیست که سیستم به خوبی بهره‌برداری شده است.

طراحان BMS راهنمایی برای ساختن سیستم دارند «دلیل احمقانه‌ای که یک احمق آن را قبول می‌کند» بنابراین ناممکن به‌نظر می‌رسد که اپراتورها شرایط انفجاری به‌وجود آورند مگر این‌که از قصد محدودیت‌ها و دستورالعمل‌ها را زیر پا بگذارند. تعجب نکنید چون من سوییچ‌های محدودیت و لوازم حفاظتی زیادی را دیده‌ام که بای‌پس شده است. علت این بای‌پس عدم کارکرد مشعل بدون انجام این کار است. صحبت در این مورد راه‌های زیادی را به یاد من می‌اندازد که ممکن است نتوانند کار خود را به‌درستی انجام دهند آن‌هم به‌خاطر طراحی یا کاربرد نادرست. به هر واحدی که برای اولین بار می‌روم حداقل محدوده جریان هوا تنظیم شده است که به‌درستی کار نخواهد کرد.

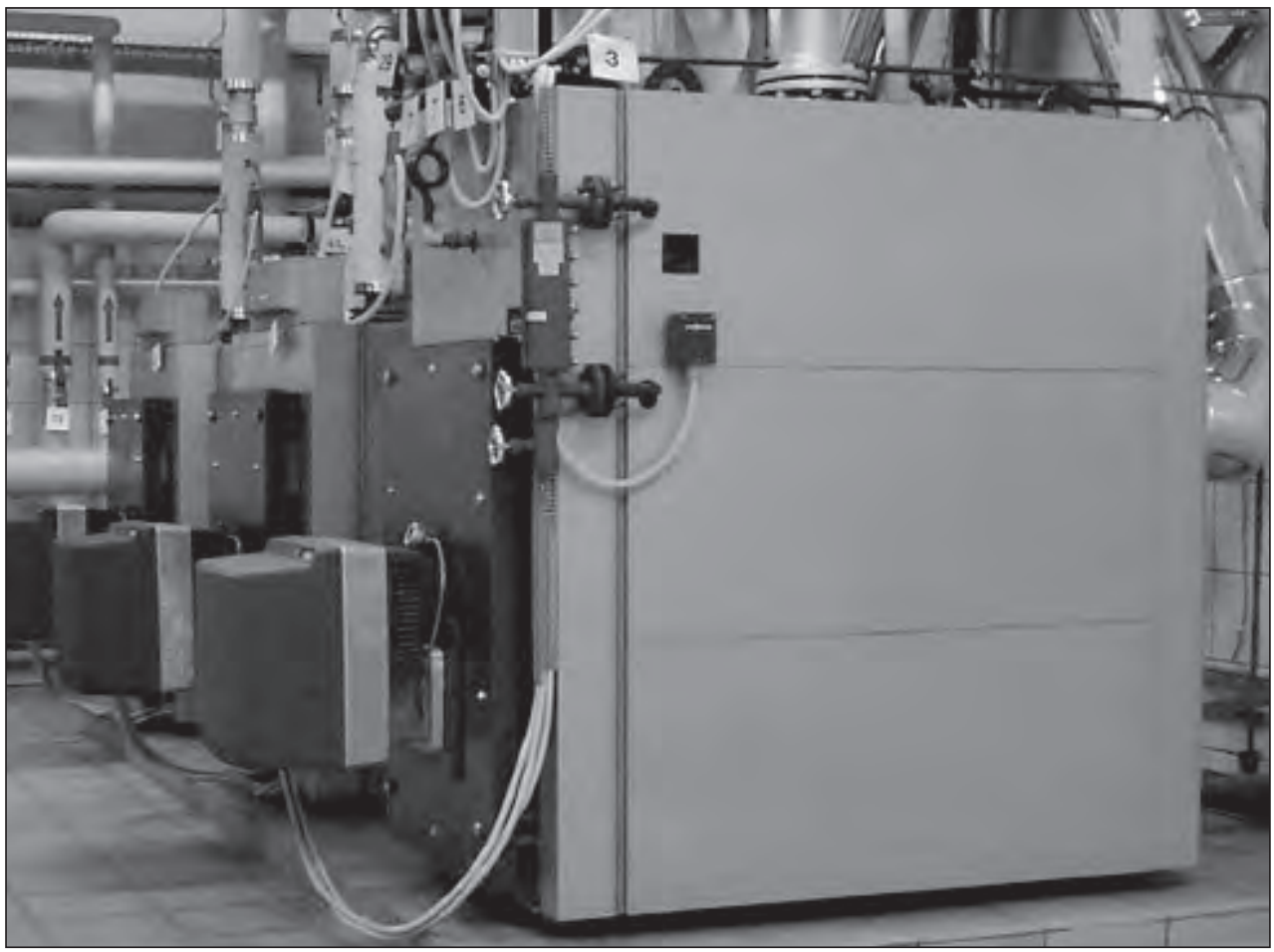
حتما مشعل‌هایی را دیده‌اید که به‌جای سوییچ جریان هوا سوییچ‌های فشار هوا که از یک طرف به جعبه هوا متصل هستند نصب شده است. اما هر جعبه هوای مشعل معمولا مشعل‌هایی با رجیستر دارد که می‌توانند جریان را ببندند. حتا اگر انسدادی در بویلر ایجاد نکنند باعث می‌شوند فشار، سوییچ‌ها را فعال کند. در بسیاری از واحدها اپراتورها برای ایجاد فشار کافی در جعبه هوا به منظور تریپ دادن سوییچ جریان هوای پرژ این کار را انجام می‌دهند. باید بدانید اگر رجیسترها بسته باشند هیچ راهی برای ایجاد جریان هوای پرژ وجود ندارد. من سوییچ‌های جریان هوا را ترجیح می‌دهم که جریان هوا را با گرفتن فشار در ورودی فن اندازه‌گیری می‌کنند.

عملکردهای کلیدی یک اپراتور عاقل در مدیریت مشعل این است که 1) بداند وظیفه آن‌ها چیست؛ 2) وقتی آن‌ها بویلر را خاموش نمی‌کنند

خودش این کار را انجام دهد؛ 3) ناهماهنگی‌ها و ایرادات بهره‌برداری را گزارش کند؛ 4) بدون اجازه تنظیمات مستقرکننده یا سوییچ‌ها را تغییر ندهد که این مهم‌ترین مساله است چون ASME و NFPA آن را الزامی کرده است.

هیچ بحثی در مورد BMS نباید بدون گفتن مفهوم مهم طرح تخریب امن رها شود. هر جزو سیستم باید طوری چیده شود که خرابی آن ایمنی بهره‌برداری بویلر را به‌خطر نیاندازد. هر سیستم، رله، سوییچ فشار و غیره باید برای شرایط خرابی ارزیابی شده و پیامد خرابی آن تحلیل گردد. فقط زمانی که نتایج این ارزیابی‌ها ایمنی را تضمین کند می‌توان سیستم را تخریب ایمن در نظر گرفت. مفهوم تخریب ایمن باید به تمام کنترل‌ها اعمال گردد. بسیاری از طراحان چنین راه‌حلی را فقط در خاموش شدن کامل مشعل می‌بینند. این راه، لزوما ایمن‌ترین راه نیست چون در حالی که مشعل کار می‌کند قسمت اعظم بویلر و مشعل پر از گاز بی‌اثر است. مثال‌های زیاد دیگری هم برای اثبات این مساله وجود دارد.

همیشه بحث در مورد ایمن‌ترین راه وجود دارد. آیا خوب است که شیر



آب تغذیه باز بماند تا بویلر خشک کار نکند؟ اکثر اوقات شیرهایی داریم که بسته می‌مانند چون هیچ امنیتی برای جلوگیری فرو ریختن آب در خطوط بخار و ضربه زدن به آن‌ها وجود ندارد اما باید انتظار داشته باشیم قطع‌کن سطح پایین به‌طور ایمن بویلر را خاموش کند.

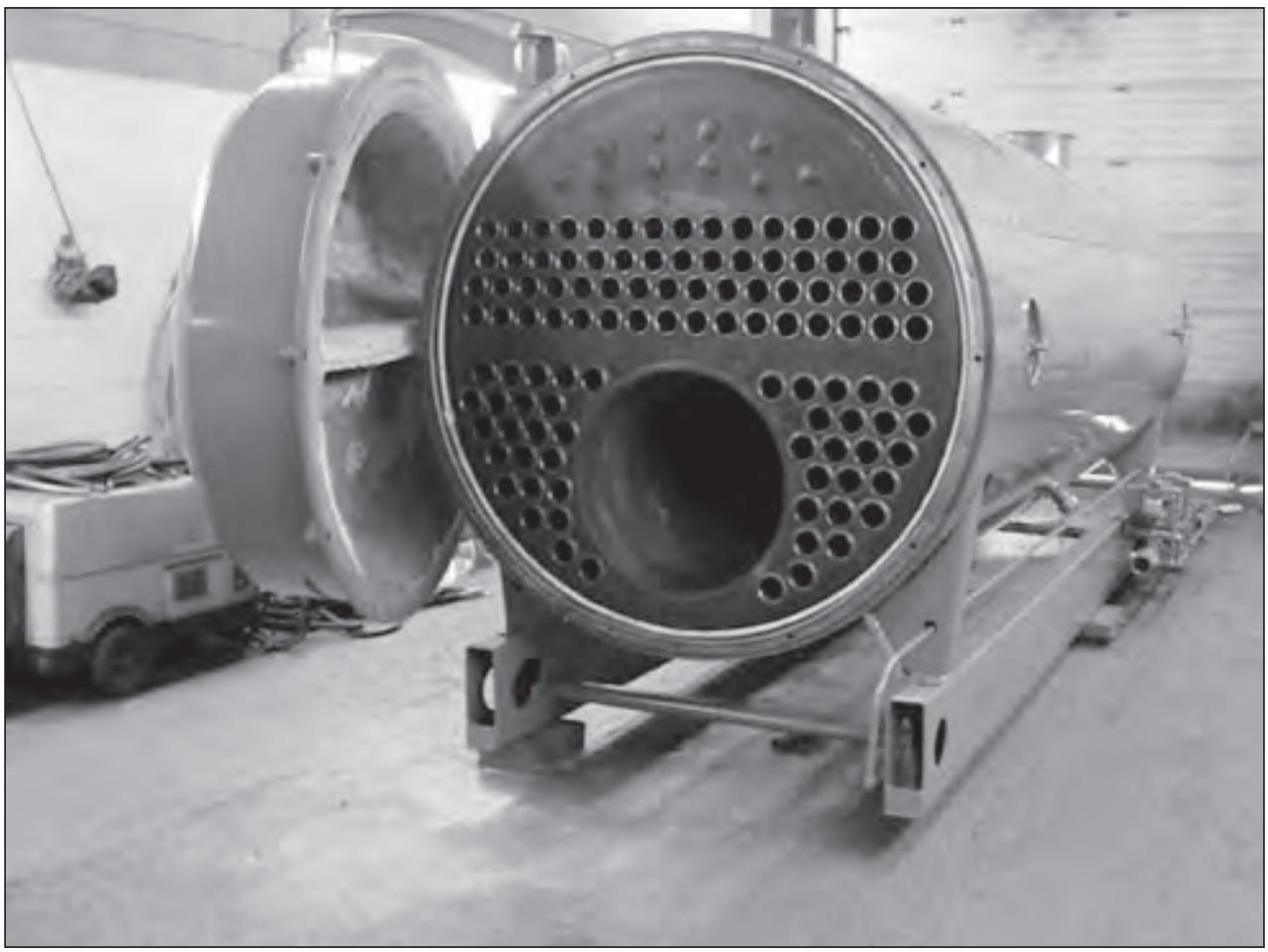
اگر یک جزو سیستم کنترل را تعویض می‌کنید که عملکرد آن دقیقا مثل قبلی نیست تصور کنید در صورت خرابی آن چه اتفاقی خواهد افتاد. اگر این حالت در ایمن‌ترین شرایط به‌وجود آید و آن را جایگزین کنید می‌توانید ایمنی و قابلیت اطمینان واحد را کاهش دهید.

کنترل نرخ احتراق - عمومی

کنترل‌های نرخ احتراق، جریان سوخت و هوا را به مشعل طوری تنظیم می‌کنند که شعله و حرارت ورودی، پاسخ‌گوی نیاز حرارت برای خروجی بویلر باشد. آن‌ها مستقل از کنترل‌های فشار بخار در هر سیستمی به‌جز سیستم جک شفت هستند. حرارت ورودی معمولا تابعی از مقدار سوخت است. کنترل هوا هم برای این کار ضروری است. قبلا اهمیت حفظ نسبت هوا به سوخت در حالت مطلوب گفته شده است و بخشی از کار کنترل نرخ احتراق به این مساله اختصاص می‌یابد که برای کارکرد بهینه و ایمن مشعل و بویلر کافی است. طرح‌های کنترل مختلفی برای سوخت و هوا وجود دارد تا این نسبت در حد مطلوب نگه داشته شود. کارآیی این سیستم‌ها بسته به پیچیدگی و قیمت آن‌ها متغیر است.

انتخاب سیستم کنترل برای بویلر اساسا وابسته به‌اندازه بویلر است. اندازه بویلر در مصرف سالانه سوخت تعیین‌کننده است و هزینه بالای کنترل‌های باکیفیت باید در مقابل صرفه‌جویی‌های ناشی از آن توجیه‌پذیر باشد. همچنین حفظ فشار مشخص بخار یا دمای خروجی بویلر ممکن است برای واحد حیاتی باشد. در این‌صورت کنترل‌ها باید باکیفیت باشند.

من واحدهای بویلری را دیده‌ام که هیچ کنترل فشاری نداشته‌اند. در یکی از آن‌ها اپراتورها وقتی فشار به 5psig افت می‌کرد نرخ احتراق را افزایش و با رسیدن به 90psig آن را کاهش می‌دادند. در زمستان مقدار حداقل را به 40psig افزایش می‌دادند. این عملکرد بسیار ناپخته‌ای است



که می‌تواند مشکلات فراوانی برای اپراتورها و تجهیزات به‌وجود آورد اما هدف آن‌ها فقط سرپا نگه‌داشتن واحد بود.

نوسان فشار نرخ Blow down را تغییر داده و پیامدهایی خواهد داشت که در صورت عدم مراقبت موجب خاموشی بویلر و باز شدن شیر اطمینان و نهایتا کارکرد نامطلوب واحد خواهد شد. تغییرات دما برای تعیین کارکرد چرخه‌ای کافی است و معمولا استاندارد چرخه بویلر 7000 است. کارکرد پر نوسان طول عمر آن را محدود می‌کند. درک من از آن عملکرد لغاتی مثل بی‌دقت، بی‌ملاحظه و تنبل را برانگیخت تا برخی از افراد را خطاب قرار دهم. بویلرها مجهز به کنترل نرخ احتراق بودند اما آن‌ها یا به‌خاطر نگه‌داری غیرقابل استفاده و یا به دلایلی نمی‌توانستند کار کنند. وجود نوسان دمایی بستر شوک حرارتی خواهد بود.

یک واحد بخار فشار ضعیف می‌تواند در فشار 12psig–8 و با اختلاف دمای 9° نوسان کند. در واحدهای پرفشارتر که قطعات ضخیم دارند تغییرات بیش از 5° مشکل‌ساز خواهد بود، پس نوسانات فشار نرمال باید کم‌تر از 10lb باشد. حیله دیگر در فقدان نگه‌داری کار در حالت دمپر فن کاملا باز است. با این کار همیشه هوای کافی برای سوزاندن سوخت وجود دارد. در واقع این کار غلطی است چون در نرخ احتراق پایین هوای اضافی زیاد دمای آتش را کاهش داده و co و سوخت سوزانده نشده که عامل سرطان‌زا هستند باقی می‌مانند. بهره‌برداری بی‌احتیاطی نه تنها نگرانی هزینه سوخت را در پی دارد بلکه برای سلامت اپراتورها نیز مضر است؛ پس چنین کاری نکنید.

در ادامه توضیح پنج روش مهم تنظیم نرخ احتراق بویلر به همراه چهار شکل توسعه سیستم ارایه شده است. آن‌ها از ساده‌ترین تا پیچیده‌ترین حالت را شامل می‌شوند و برای تامین عملکرد بهینه انتخاب شده‌اند. درستی کار آن‌ها را شما باید تایید کرده و در غیر این صورت مراتب را گزارش دهید تا در اسرع وقت تعمیر شوند. برای انجام تنظیمات و تصحیح مشکلات در هر یک از سیستم‌ها اطلاعات کافی در این کتاب ارایه خواهد شد اما این تضمینی برای این‌که بتوانید شاخص‌هایی را که می‌بینید به

منبع اصلی مشـــکل ربط دهید نیســـت. اگر مطمئنید می‌توانید چیزی را تعمیر کنیـــد با هماهنگی مدیر این کار را شـــروع نمایید در غیر این‌صورت اجازه دهید پیمان‌کار آن را انجام دهد. خطای آن‌ها را شـــرکت بیمه آن‌ها جبران می‌کند ولی خطای شما را...

کنترل نرخ احتراق - استارت آتش کم

سیستم کنترل استارت آتش کم فقط ورود ســـوخت و هوا را به کوره طی زمان احتراق تنظیم می‌کند. سیســـتم ورود ســـوخت را در جرقه‌زنی محدود کرده و سپس به‌تدریج به حداکثر نرخ احتراق می‌رساند که در ادامه کار مشعل ثابت می‌ماند. کنترل گاز معمولا شامل دو شیر اصلی اطمینان به همراه میله و چرخ دندانه‌دار (رک و پینیون) اســـت که دمپر فن را کنترل می‌کند. شیر در حالت پیش‌تنظیم شده طی تلاش برای تولید جرقه اصلی باز می‌شـــود و اتصال، باز شدن دمپر فن را به حالت دیگر محدود می‌کند. وقتی شعله تولید و جرقه‌زن خاموش شده بقیه شیر و دمپر هم باز می‌شود.

در مشعل‌های نفتی تنظیم معمول، یک سیلندر هیدرولیکی کوچک اســـت که فشار را در مشـــعل حس می‌کند. دو ســـولنوییداصلی سوخت برای تولید دو جریان متفاوت ســـوخت استفاده می‌شوند یا یک سولنویید تحریک می‌شود تا شـــیر خفه‌کننده تنظیم دستی احتراق کامل را بای‌پس کند. سیلندر دارای یک فنر است که دمپر را مطابق با فشار سوخت مشعل جابه‌جا می‌کند. کنترل استارت آتش کم، مزیت کمی دارد. تمام کاری که انجام می‌دهد اســـتفاده از جرقه‌زن ارزان‌تر است. شما باید در صورتی که اســـتارت آتش پایین را لحاظ می‌کنید از کنترل نـــرخ احتراق بالا - پایین اســـتفاده کنید. این کار هزینـــه چندانی هم ندارد و طـــی یک یا دو فصل گرمایشی جبران خواهد شد.

تنظیم این کنترل راحت نیســـت و باید مطابق دســـتورالعمل سازنده انجام گیرد. شـــما باید نسبت ســـوخت و هوای مناســـبی در بار کامل و جرقه‌زنی ایجاد کرده و مطمئن شوید با نوســـان کنترل از آتش کم به زیاد تغییر چندانی نکند. اجرای فرآیند مســـتلزم دانستن هندسه برای مرتب کردن اتصال و حفظ نسبت است.

کنترل نرخ احتراق - بالا - پایین

کنترل نرخ احتراق بالا - پایین مشـــابه آیتم قبلی است به جز این‌که کنترل‌ها می‌توانند بین حالت پایین (جرقه‌زنی) و بالا عوض شـــوند. یک سوییچ کنترل فشار دیگر به بویلر اضافه شده تا جابه‌جایی بین دو حالت را کنترل کند. البته اگر انتظار دارید کارکند باید پایین‌تر از تنظیمات ســـوییچ کنترل فشـــار قطع - وصل تنظیم شود تا از نوسانات فشار یا دما در بالاتر از تنظیمات سوییچ بالا - پایین که بویلر را خاموش می‌کند جلوگیری نماید. تنظیم این سوییچ فشار و سوییچ فشـــار قطع - وصل می‌تواند در فصول مختلف تغییر کند.

حفظ نسبت سوخت و هوای مناسب طی نوسانات بار در سیستم‌های بالا - پایین اهمیت بیش‌تری از استارت آتش پایین دارد چون اتصال باید نسبت را با افت نرخ احتراق به آتش پایین مثل زمانی که آتش بالا را افزایش می‌دهد حفظ کند و مشعل ممکن است پیوسته بین آن دو نوسان کند. تنها راه منطقی کنترل آتش با نوســـان کنترل از بالا به پایین است. ترجیحا آن چیزی نزدیـــک به آتش تمیز عادی با انجام تغییـــرات خواهد بود. باز هم فرآیند مستلزم درک کامل هندسی برای نصب اتصال است.

کنترل نرخ احتراق - سوییچ خودکار مشعل

لوازم گازسوز مشـــخصی از این روش کنترل گرما استفاده می‌کنند و مثل داشتن بویلر چندمشعلی نیست. این کار شامل نصب شیرهای اصلی متعدد بین شـــیرهای اصلی ایمنی و بخش‌های مشعل است. کنترل‌های سوییچ خودکار مشعل نفت می‌توانند یک یا چند نازل مشعل را خاموش و اجازه دهند بقیه به انتقال سوخت ادامه دهند. کنترل‌های سوییچ خودکار مشـــعل گازی معمولا جریـــان گاز را به یک یا گروهی از مشـــعل‌ها قطع می‌کنند.

گاهی هوای احتراق عوض نمی‌شـــود (کارکرد بسیار غیربهینه)، در حالی‌که لوازم تغییر جریان هوای متعددی از قبیل دمپر تنظیمی، بســـتن شیر شاخه تغذیه، خاموش کردن فن اختصاصی مشعل یا تغییر سرعت فن وجود دارند. من سوییچ خودکار مشعل را در تجهیزات گران‌قیمت دیده‌ام و در واقع آنچه را که دوســـت دارم نیافته‌ام. تنظیم آن‌ها برای دست‌یابی به احتراق مطلوب اگر غیرممکن نباشد بســـیار مشکل است. به نظر من افرادی که چنین تجهیزات ارزانی می‌خرند هزینه بیش‌تری برای سوخت و نگه‌داری آن خواهند پرداخت. آخرین سیســـتمی کـــه دیدم، بهترین تنظیمی که توانســـتم روی آن انجام دهم کم‌تر از ٪5 اکســـیژن اضافی و ٪30 هوای اضافی بود که تولید co زیادی هم داشت.

کنترل نرخ احتراق - جک شفت

این رایج‌تریـــن روش کنترل نرخ احتراق بـــرای بویلرهای مجهز به کنترل‌های تنظیمی اســـت. موتور تنظیمی که قبلا تشریح شده یا شکل دیگری از عملگر پاسخ‌گو به دستگاهی که در تلاش برای حفظ فشار یا دما در خروجی بویلر می‌باشـــد متصل به یک شفت است (A در شکل 26-10) که به‌طور مکانیکی انجام می‌گیرد. شفت در بویلر توسط دو یا چند یاتاقان پشتیبانی می‌شود (B). باگردش موتور (C) یا تغییر موقعیت عملگر، اتصال (D) شفت را می‌چرخاند. شـــاید برخی مشعل‌ها جک شفت مرکزی منفرد نداشته باشـــند، خصوصا در مشعل‌های کوچک، اتصال به‌طور ساده یک وسیله را به دیگری متصل می‌کند اما اکثر مشعل‌ها یکی دارند.

در شکل (26) شیر گاز توسط بادامک (E) تحریک می‌شود که اتصال F را فشار می‌دهد و رجیستر مشعل توسط اتصال دیگر (G) کنترل می‌شود. توجه کنید اتصالی که هوا را کنترل می‌کند (با جابه‌جا کردن دمپر یا رجیستر) مستقیما بدون بادامک قابل تنظیم به شفت متصل می‌شود. جک شفت توسط اتصال اضافی به شیرهای سوخت متصل می‌شود. شکل (27) امتداد شفت (A)، یاتاقان انتهایی (B) و بادامک (H) را نشان می‌دهد که مستقیما نفت کوره را در شیر کنترل جاری می‌کند. در این بویلر خاص بادامک شیر گاز برای تغییر کورس اتصال (شکل 28) برای گاز استفاده می‌شود. شکل (29) هم آرایش دیگری را برای کنترل دمپر جریان هوا نشان می‌دهد.

همه کنترل‌ها متصل به یک شفت هستند و از این‌رو لوازم کنترل سوخت و هوا در کنار هم سوار شده‌اند. برخی افراد این سیستم را موقعیت‌یاب پارالل مکانیکی می‌نامند ولی من همان جک شفت می‌خوانم. برای حفظ فشار یا دمای سیال، موتور تنظیمی توان‌سنج خود را با پرشر ترول و کنترل دما به ترتیبی که قبلا ذکر شده میزان می‌کند. حرکت موتور موقعیت شیر کنترل جریان سوخت را تغییر می‌دهد تا مقدار سوخت ورودی به مشعل را کم و زیاد کرده و حرارت انتقالی به سیال را تنظیم کند. این یک کنترل تناسبی است. شما باید بتوانید یک اهرم روی جک شفت و یک مقیاس در انتهای اهرم با فشار و دمای متناظر نصب کنید (درجه‌بندی شده). گاهی کنترلر تنظیم مجددی خواهید یافت که یک عملگر را برای جابه‌جا کردن مشعل تحریک می‌کند.

گام اول تنظیم کنترل‌ها با جک شفت ایجاد جریان خطی هوا است. این تمام چیزی است که شما برای ایجاد کنترل خطر باید انجام بدهید، چون جریان سوخت و هوا باید با هم تطابق داشته باشند. با اتصال‌های ساده‌ای که در شکل‌های (26) و (29) نشان داده شده، ایجاد حالت خطی می‌تواند بسیار مشکل باشد اما این یک تمرین است که برای داشتن کنترل پایدار ضروری است. پس از ایجاد حالت خطی، عمل تنظیم شامل موقعیت‌یابی کنترل‌ها در هر پیچ روی شیر (شکل‌های 27 و 28) سپس تنظیم شیر برای افزایش یا کاهش جریان واقعی سوخت در آن موقعیت می‌باشد تا این‌که نسبت مطلوب سوخت و هوا حاصل شود. این فرآیند باید در هر پیچ تکرار شود هرچند که برخی تکنسین‌ها آن را یک در میان انجام داده و سپس آن‌ها را برای انتقال نرم از پیچی به پیچ دیگر تنظیم می‌کنند. گاهی پیچ‌ها مشخص نیستند و زیر پوشش (شکل 30) قرار گرفته‌اند تا مقاومت ایجاد کنند. سری‌های پیچ‌ها دندانه ایجاد کرده و غلتک روی شفت شیر کنترل سوخت آن را با گردش جک شفت حرکت می‌دهد. من تعدادی از این دنده‌ها را دیده‌ام که طوری تنظیم شده‌اند که بیش‌تر شکل خانم هستند تا دنده نرم. مال خودتان را بررسی کرده و ببنید آیا انتقال از آتش کم به بالا روان است یا نه. اگر نیست پس سیستم احتمالا غیرخطی است. شاید پیدا کردن تکنسینی که مستعد درک خطی بودن باشد سخت باشد پس فقط موتور عملگر و اتصال دمپر فن را برای این منظور تنظیم کنید. برخی تکنسین‌ها به شما خواهند گفت ایجاد حالت خطی در بویلر کوچک مشکل است چون بلند نیستند چه‌طور این کار را انجام دهند. در ادامه نحوه انجام آن ارایه خواهد شد.

یک سیستم جک شفت، کنترل بسیار مطمئنی به‌دست می‌دهد اما عملکرد آن متاثر از وسایل و شرایط خارجی است. اپراتورهای عاقل بویلر باید بدانند چه‌طور نسبت هوا و سوخت را مستقل از کنترل‌های جک شفت تغییر داده و واحد را مطابق آن نگه‌داری کنند. به نظر می‌رسد جریان هوا به شدت در معرض تاثیرات خارجی قرار دارد. تعجبی وجود ندارد که اپراتورها با مشکل دود کردن بویلر مواجه می‌شوند چون تمام درها، پنجره‌ها و دریچه‌ها را می‌بندند که هوا نمی‌تواند وارد F.D فن شود. چنین شرایطی اوضاع را بدتر می‌کند چون دوده تشکیل شده در طرف آتش بویلر در اثر دود، جریان دود را در بویلر محدود و جریان هوا را بیش‌تر مسدود می‌کنند. اپراتور عاقل می‌داند که هوای احتراق از بیرون تامین می‌شود پس نباید اجازه دهد مجاری ورودی هوا به هر طریق مسدود گردد.

برخی شرایط متعادل‌کننده هم وجود دارد و فن هوای سرد بیش‌تری نسبت به هوای گرم می‌رساند (بخش فن‌های سانتریفیوژ را ببینید). پس هوای ورودی به مشعل با سرد شدن بویلرخانه بیش‌تر می‌شود. من مخالف روش معمول تنظیم بویلر در فصل تابستان هستم. من در زمستان وقت بیش‌تری به نفرات برای تنظیم بویلر می‌دهم (معمولا درها بسته و هوا سردتر است). این همان زمانی است که بویلر سوخت بیش‌تری مصرف می‌کند پس باید راندمان آن بهینه باشد. هر بویلری که با جک شفت کنترل می‌شود باید در هوای سرد که در و پنجره‌ها به‌خاطر چنین شرایطی معمولا بسته هستند تنظیم شود. مقداری از این جریان هوای سرد اضافی در زمستان برای زمانی‌که نفت یا گاز سردتر می‌شود مورد نیاز است. تفاوت چندانی در حجم سوختی که سرد می‌شود به‌وجود نمی‌آید و تغییر جریان به اندازه گاز چشم‌گیر نیست. گاز سرد چگال‌تر است و مشعل گاز بیش‌تری را در حالت تنظیم شده شیر کنترل خواهد سوزاند. هوای سرد لزوما نمی‌تواند آن را جبران کند.

همچنین تفاوت‌هایی در جریان سوخت و هوای مرتبط با تغییرات فشار جو وجود دارند چون فشار سوخت پس از رگولاتور فشار مساوی با مجموع نیروی فنر و فشار جو در شیر کاهنده فشار است. فشار گاز بسته به محل ونت رگولاتور بسیار متغیر خواهد بود. فشار زمانی‌که ونت در طرف بادخور است بیش‌تر خواهد بود. نیروی باد می‌تواند در اختلاف بین ورودی‌های هوا به ساختمان و دودکش برای تغییر جریان هوای احتراق

موثر باشد. چگالی هوا هم به‌شدت با فشار جو تغییر می‌کند. تمام تغییرات دما، باد، فشـــار جو و غیره مستلزم این است که تمام تنظیمات مشعل یک دمپینگ هوای اضافی به منظور خنثاکردن این تغییرات داشـــته باشـــد. کمی افت راندمان برای اطمینان از عدم کارکرد غنی از سوخت قابل قبول است پس ما CO و سایر گازهای سمی و خطرناک را تولید می‌کنیم.

یک سیستم جک شـــفت معمولا برای هوای اضافی ٪15 در بارهای زیاد تنظیم شده و دود حاوی ٪3 اکسیژن تولید می‌کند تا اطمینان حاصل شود بویلر بدون حالت، غنی از ســـوخت کار می‌کند. تقریبا هر بویلری به مقداری افزایش در هوای اضافی در نرخ احتـــراق کم‌تر از ٪50 نیاز دارد چون افت سرعت در مشـــعل اختلاط هوا و سوخت را کاهش می‌دهد. با تکمیل نرخ‌های احتراق پایین، هوای اضافی در اثر نشتی دمپر به ٪100 و حتا بیش‌تر می‌رســـد. نگرانی اصلی در مورد سیستم جک شفت لغزش اتصال‌ها است. شل شـــدن این اتصال‌ها عادی است. در یک واحد قصد داشتند این مشـــکل را با جوش دادن اتصال‌ها حل کنند اما متوجه شدند حرارت جوش‌کاری اتصال‌ها را تغییر شـــکل داده که مجبور شدند آن‌ها را تعویض و تنظیمات را مجددا انجام دهند. سایر حقه‌ها مثل سوراخ کردن اتصال‌ها و بســـتن پین هم جواب نداد چون موجب تضعیف و شکســـتن آن‌ها شد. بهترین راه حل را تکنســـین‌های واحد مهمات در لوییزیانا پیدا کردند. آن‌ها پس از انجام تنظیمات توسط اسپری تمام اتصالات را رنگ می‌کردند که هر تغییر در جایگاه آن‌ها فورا آشـــکار می‌شـــد، چون یا رنگ خراشیده می‌شـــد یا رنگ دیگر مشخص می‌شـــد. این کار جلوی لغزش را نمی‌گیرد ولی به‌راحتی آن را مشـــخص می‌کند ولی می‌توان با واشـــر ستاره‌ای یا سفت بستن آن‌ها جلوی شل شدنشان را گرفت.

مشـــکل دیگر این است که ممکن اســـت میله‌های اتصال خم شده و با تغییر طول از تنظیم خارج شـــوند. این مشـــکل با رنگ هم مشخص نمی‌شـــود. در برخی آرایش‌ها تشـــخیص این ایراد بسیار مشکل است. بهتر است از یک الگوی کارتنی استفاده کرده و زوایای میله‌ها را روی آن مشخص کنید تا به‌عنوان مرجع استفاده می‌شود.

مشـــکل معمول دیگر در بویلرهای لوله آتش این است که زمانی‌که بویلر برای بازرســـی باز می‌شـــود اتصال‌ها از هم باز می‌شـــوند. اپراتور عاقل علامت‌ها را در تمام اتصال‌ها قبل از بـــاز کردن آن‌ها خط می‌زند. در این‌صورت می‌توان مجددا قطعات را نســـبتا دقیق روی هم سوار کرد. رنگ پاشیدن هم تا حدود زیادی کمک خواهد کرد.

ایجاد حالت خطی

در بخش پیوست دو نمودار وجود دارد که برای مرتبط کردن افت فشار و جریان برای دست‌یابی به مشـــخصه‌های جریان هوای خطی از آن‌ها استفاده کرد. راحت‌ترین حالت اســـتفاده از پیوست H است. اندازه‌گیری افت فشار بین کوره یا محفظه مشعل و دودکش توسط مانومتر در حالی‌که فن کار می‌کند تمام اطلاعات مورد نیاز بـــرای ایجاد جریان خطی هوا را به‌دست می‌دهد. قرار دادن مانومتر روی شیب امکان سنجش افت فشار را با هزارم اینچ فراهم می‌کند. اتصال لوله‌ای از یک طرف به مانومتر روی شیب امکان سنجش افت فشار را با هزارم اینچ فراهم می‌کند. لوله‌ای را از یک طرف به مانومتر و از طرف دیگر به سوراخی در دودکش وصل کنید. حتما مطمئن شوید انتهای لوله رو به جهت جریان هوا یا مخالف آن نباشد تا فشار دینامیکی را نخوانید. لوله دیگری را به‌طرف دریچه بازدید مشعل کشیده و طرف دیگر آن را به بالای مانومتر وصل کنید. طرف مشعل را هم باید طوری قرار دهید که تحت فشار دینامیکی قرار نگیرد. بهتر است خم ۹۰° در انتهای آن نصب شود تا عمود بر جریان قرار گیرد.

اگر جریان هوا را اندازه می‌گیرید می‌توانید از نمودار مســـطح استفاده کنید. امتحان آن مفید اســـت اما امان از وقتی که ایرادی در اندازه‌گیری جریان هوا باشـــد. جریان نشان داده شده در هد را با اســـتفاده از نمودار پیوست G مقایســـه کنید. برای اطمینان از این‌که بویلر وقتی شما در حال کار هســـتید روشن نخواهد شـــد بهتر است مدیریت مشـــعل را غیرفعال کنید. شـــاید لازم باشد در بویلرهای کوچک اســـتارتر فن را جامپر کنید تا بتوانید آن را مســـتقل از BMS استفاده کنید. وقتی فن را راه‌اندازی کردید ترمینال‌هایی را که موتور را تنظیم می‌کنند قرار دهید تا آن‌ها را جامپر کرده و موقعیت را کنترل کنید، یا در سیســـتم‌های کنترل دیگر در حالت دستی قرار دهید تا دمپر را جابه‌جا کنید. کنترل‌ها را به آتش بالا برسانید تا حداکثر جریان هوا را بگیرید. هد فشار را هم از مانومتر ثبت کنید.

اگر با سیســـتم جک شـــفت کار می‌کنید باید موتور تنظیمی را به‌کار بیاندازید تا جریان هوا را کاهـــش دهید. در کنترل‌های پیچیده‌تر خروجی کنترلر جریان هوا را در حداکثر تنظیم و ســـپس آن را کاهش و در بازه‌های ٪10 (٪70، ۸۰، ۹۰ و...) انـــدازه بگیرید. پس از اتمـــام اندازه‌گیری‌ها می‌توانید نمودارتان را رسم کنید. یک کپی از پیوست G تهیه کرده و جریان هوا ٪100 را در پایین نمودار و هد ٪100 را در سمت چپ بنویسید. مقادیر نمودار صفر تا یک اســـت پس ٪100 نشان می‌دهد رینج داده‌های شما از صفر تا 1 است. اگر ده موقعیت دنده داشـــتید یا از مقیاس درصد خروجی کنترلر جریان هوا را در حداکثر تنظیم و ســـپس آن را کاهش و در بازه‌های ٪10 (٪70، ۸۰، ۹۰ و...) انـــدازه بگیرید. پس از اتمـــام اندازه‌گیری‌ها می‌توانید نمودارتان را رسم کنید. یک کپی از پیوست G تهیه کرده و جریان هوا ٪100 را در پایین نمودار و هد ٪100 را در سمت چپ بنویسید. مقادیر نمودار صفر تا یک اســـت پس ٪100 نشان می‌دهد رینج داده‌های شما از صفر تا 1 است. اگر ده موقعیت دنده داشـــتید یا از مقیاس درصد خروجی کنترلر جریان هوا اســـتفاده می‌کردید پس فقط بایـــد از مقیاس در ته نمودار استفاده کرده و به یاد داشته باشـــید هر مقدار نشان داده شده در انتها یک صفر داشته باشد و یک، صد. اگر دنده شما دوازده موقعیت دارد، پس 12 همان ٪100 و یک، صفر است. برای موقعیت هر دنده (1 تا 12) یک را از آن کم و بر 11 تقسیم کنید. نتیجه را ته گراف قرار داده و یک خط عمودی روی گراف کشیده و موقعیت دنده را زیر آن بنویسید.

برای هر مقدار هد فشار متناظر، مقدار را بر حداکثر هوای اندازه‌گیری

شده تقسیم کرده و در مقیاس عمودی نمودار قرار داده و یک خط افقی از آن بکشید تا خط قبلی یا خط خروجی کنترلر را قطع کند و این نقطه را پررنگ کنید. وقتی ده تا دوازده نقطه را مشخص کردید با کشیدن خط آن‌ها را به‌هم وصل کنید. خط باید همیشه رو به گوشه راست بالا باشد که هر دو مقدار ٪100 است. اگر خط از صفر و صفر مقتضی نباشد تعجب نکنید، پایین‌ترین محل یا خروجی کنترلر در آتش پایین و جریان هوا در آن نقطه باید بین ٪25–10 و هد بین 0.06–0.001 باشد. اگر خط نسبتا مستقیم باشد نتیجه مطلوب است. در غیر این‌صورت مثل منحنی‌های A، B، E، F یا G در باشد بهتر است اتصال را تنظیم کنید تا منحنی خطی شود.

در سیستم جک شفت باید محل اتصال را تغییر دهید. در صورت امکان تنظیمات اولیه سازنده را ذخیره کنید، آن‌ها باید خطی باشند در غیراین‌صورت تغییراتی را اعمال کنید که به‌نظرتان درست است سپس اندازه‌گیری‌های بیش‌تری انجام داده فرآیند را تا جایی ادامه دهید که به حالت خطی برسید. در بهترین حالت، عملگر دمپر به همراه مستقرکننده، داده‌هایی که به‌دست آورده‌اید امکان ایجاد دنده مستقرکننده جدید را می‌دهد. کنترل خطی باید خط راستی از آتش پایین تا ٪100 ایجاد کند. خطوطی افقی از نقاط مشخص شده رسم کنید تا آن خط را قطع کنند. ارتفاع دنده موجود در نقطه داده، ارتفاع مورد نیاز برای دنده جدید در نقطه منطبق با خط مستقیم است.

کنترل راه‌اندازی

تنها نوع کنترل راه‌اندازی که معتقدم در یک سیستم ایجاد نکرده‌ام، «نگه‌داشتن آتش پایین است». کنترل شامل سوییچ فشار یا دمای اضافی است که کنتاکت‌ها را برای جلوگیری از تنظیم خودکار مشعل در زمانی‌که دما و فشار بویلر کم‌تر از تنظیم سوییچ است باز می‌کند، وقتی فشار به مقداری بیش از تنظیم سوییچ رسید کنترل‌های خودکار می‌توانند کار کنند. معمولا آنچه اتفاق می‌افتد، کارکردن کنترل تنظیمی تا آتش بالا است. حال فرض کنید بویلر به‌قدری گرم است که دچار شوک حرارتی نخواهد شد که من هرگز از آن مطمئن نیستم. من تاکنون درباره روش بهتر انجام این کار حتا فکر هم نکرده‌ام شاید به این خاطر که نیاز به طراحی آن را در بویلرهای کوچک‌تر احساس نکرده‌ام ولی شاید بعدها این کار را انجام دهم.

در تمام بویلرهای بزرگی که کنترل آن‌ها را من طراحی کرده‌ام و در آن راه‌اندازی خودکار پیش‌بینی شده از روش پلکانی استفاده شده است. وقتی فشار از مقدار تنظیم سوییچ نگه‌دارنده آتش پایین بیش‌تر شد، شیرهای ونت به‌طور خودکار بسته شده و سیستم پلکانی در مدار قرار می‌گیرد که نرخ احتراق را بسیار آرام افزایش داده و تا تکمیل پروسه اجازه افزایش سریع را نمی‌دهد.

اولین نوع آن‌ها در سیستم‌های کنترل پنوماتیکی استفاده شد و شامل سلکتور سیگنال پایین، شیر برقی سه‌راهه و یک محفظه حجم با شیر اندازه‌گیر بود. شیر برقی محتویات محفظه را در حالی‌که بویلر خاموش بود تخلیه کرده و هوای 18psig را از طریق شیر اندازه‌گیر پس از راه‌اندازی بویلر و رها شدن سوییچ نگه‌دارنده آتش کم به محفظه اعمال می‌کرد. فشار محفظه به همراه خروجی کنترلر اصلی بویلر به سلکتور سیگنال پایین لوله‌کشی شده بود که هر یک از کنترل‌های هوا و سوخت را تغذیه می‌کرد. اگر تمام بویلرها خارج از کنترل اصلی کار می‌کردند، خروجی کنترل پلکانی به کنترلر اصلی بویلر تغذیه می‌شد. درغیراین‌صورت به کنترل‌ها هوا و سوخت می‌رفت بنابراین اپراتورها می‌توانستند نرخ احتراق را در کنترل اصلی به‌طور دستی تنظیم کنند.

وقتی نگه‌دارنده آتش پایین رها شده بود هوای ورودی به محفظه به آرامی نرخ احتراق را افزایش داد. در چنین تنظیمی رسیدن به آتش بالا تا دو ساعت زمان می‌برد و شاید مجبور به استفاده از محفظه‌های بزرگ‌تر شوید. وقتی نرخ احتراق از کنترل اصلی بویلر یا واحد فراتر رفت سیگنال پایین چندان دوام نداشته و بویلربه‌طور خودکار کار می‌کرد. در واقع کنترل پلکانی امکان به مدار آمدن خودکار بویلر را فراهم کرده و تولید بخار و تامین بار را بدون ایجاد اختلال در کارکرد سایر بویلرها انجام می‌دهد. باید بگویم این ویژگی کنترل تمام آنچه نیاز بود نیست. تله‌های بخار به منظور تخلیه هدرهای بخار بویلر و بسیاری ویژگی‌های دیکر برای کنترل تمام خودکار نیاز بود. بعضی از آن واحدهای بویلر خودکار بوده و اکثر مواقع اپراتور مجاز حضور نداشت. اما من آن‌ها را ترجیح نمی‌دادم.

اگر افزایش ناگهانی بار مستلزم افزایش نرخ احتراق بویلر در حالت خودکار بود، سلکتورسیگنال پایین ممکن بود اجازه افزایش نرخ احتراق را سریع‌تر از نرخ پلکانی ندهد. وقتی فشار داخل محفظه تخلیه شد تا فشار را تامین کند، بویلر خودکار کار می‌کرد مثل این‌که آن در محل نبود، سیگنال‌های خودکار همیشه سیگنال‌های پایین بودند ویژگی خوب دیگر سیستم تخلیه بسیار آرام فشار از محفظه بود. اگر بویلر به‌دلایلی تریپ خورده و دوباره به مدار می‌آمد، پلکان نوسان کرده و اجازه می‌داد بویلر گرم با نرخ بالا بسوزد. باکنترل‌های مدرن دیجیتالی می‌توان چنین ویژگی را به‌دست آورد. می‌توان آن را افزایش داد تا نرخ پله‌ای را از استارت سرد و نرخ پله‌ای متفاوتی را از استارت مجدد به‌وجود آورد و فقط به افزودن برخی نرم‌افزارها نیاز دارد و در اینجا کامپیوتر بسیار کارگشا خواهد بود.

کنترل نرخ احتراق – موقعیت‌یابی پارالل

کنترل‌های موقعیت‌یابی پارالل مثل سیستم جک شفت کار می‌کنند چون آن‌ها موقعیت دمپرفن و شیر سوخت را تعیین می‌کنند. بویلرهای

بزرگ و آن‌هایی که هیتر هوا یا فن داشته و از جعبه هوا دور هستند نمی‌توانند به سادگی از کنترل جک‌شفت استفاده کنند چون وزن اتصال‌ها مشکل‌ساز می‌شود. سیستم موقعیت‌یاب امکان می‌دهد فن و شیر سوخت در جای مناسب قرار داده شوند. رایج‌ترین نوع این سیستم نوع الکتریکی است که از ولتاژسنج برای مقایسه موقعیت دمپر فن و شیر سوخت استفاده کرده و آن‌ها را مطابق با موقعیت کنترل اصلی بویلر تنظیم می‌کند. واحدهای دارای این کنترل معمولا کنترل اصلی برای کنترل فشار بخار دارند که یک‌سری ولتاژسنج را که در موقعیت مطابق با کنترل اصلی بویلر یا کنترلرهای شیرسوخت روی هر بویلر به‌اضافه منهای هر بایاس که با افزودن مقاومت در حلقه ولتاژسنج حاصل می‌شود را تحریک می‌کنند.

برخی ویژگی این کنترل‌ها شامل قابلیت استفاده روی کنترل اصلی واحد و بویلرهای بایاس، عدم اجبار آن روی موقعیت‌های شیرسوخت و فن است و اجازه جدا شدن شیرهای کنترل نفت و گاز در بویلرهای دو سوخته را می‌دهد پس کار هردو بر کارکرد بویلری که سوخت دیگری می‌سوزاند تاثیری نداشته و آن را روی شیرها و عملگرهای سوخت جایگزین حفظ می‌کنند. همچنین اجازه کارکرد غیروابسته کنترل‌های سوخت و هوا را می‌دهد بنابراین بویلری که به‌طور دستی کار می‌کند می‌تواند توسط اپراتور تنظیم شود تا هوای اضافی را کاهش دهد.

مشکل اصلی کنترل‌های موقعیت‌یاب پارالل تفاوت در پاسخ عملگرها و خصوصا عملگرهای پنوماتیکی است که می‌توانند طی تغییر بار در نسبت سوخت و هوا اختلالات موقت به‌وجود آورند برخلاف سیستم جک‌شفت چیزی برای جلوگیری از حرکت سریع‌تر عملگر شیر سوخت از عملگر دمپر یا برعکس وجود ندارد. آن‌ها همچنین تمام معایب سیستم جک‌شفت را با یک پیش‌بینی برای جبران مشکلات با حفظ نسبت هوا به سوخت و تنظیم آن دارد. با تنظیم مقاومت حلقه سیستم که در آن عملگر جریان هوا از عملگر جریان سوخت پیروی می‌کند موقعیت نسبی دو عملگر ممکن است برای ایجاد هوای اضافی تغییر یابد. این تنظیم در اکثر سیستم‌ها از نوع بایاس است اما اجازه می‌دهد نسبت هوا – سوخت در صورتی‌که اپراتور انتخاب کند مقداری کوچک‌تر شود. همچنین اجازه می‌دهد اپراتور جمع شدن دوده در بویلر را تعدیل کند، کاری که با جک شفت به سادگی امکان‌پذیر نیست. برای رفع مشکلات عملگرهای مستقل کنترل‌ها می‌توانند طوری اصلاح شوند که عملگر دمپر فن در کاهش بار پیرو سوخت بوده و عملگر سوخت در افزایش بار

پیرو عملگر دمپر فن باشد.

در تمام اهداف عملی این سیستم مثل کنترل جک شفت تنظیم می‌شود. شما نیازمند روشی برای تنظیم شیر سوخت هستید که با هوا مطابقت کند. دنده‌های این سیستم درست مثل سیستم جک شفت است.

کنترل نرخ احتراق - افزودن اندازه‌گیر هوا

عنوان کامل این کنترل منطقی، موقعیت‌یابی پارالل با اندازه‌گیری هوا است. تحول بعدی در سیستم‌های کنترل پس از موقعیت‌یابی پارالل افزودن دبی سنج هوا بود. چون جریان هوا متاثر از عوامل مختلفی است سنجش جریان هوا و کنترل آن مهم به‌نظر می‌رسد. هوای اندازه‌گیری شده، یک سیگنال به سیستم کنترل برمی‌گرداند که کنترلر جریان هوا بتواند عملگر دمپرفن را برای تولید جریان هوای مداوم تنظیم کند. به‌جای این‌که سیستم کنترل فقط دمپرفن را موقعیت‌یابی کند، تا جایی آن را تنظیم می‌کند که سیگنال جریان هوا با سیگنال موقعیت کنترل اصلی واحد مطابقت کند.

پس از تصمیم به اندازه‌گیری جریان هوا باید محل آن هم تعیین می‌شد. نوع سیستم کنترل و بویلر در این انتخاب تاثیر دارند و شما باید از تمام تغییرات مطلع باشید. اندازه‌گیری هوا در بین جعبه هوای مشعل و کوره در بویلرهای چندمشعلی امکان جبران نیاز را فراهم کرد. چون گلوی هر مشعل یک اوریفیس در مسیر جریان است. تغییر دادن تعداد مشعل‌ها هد اندازه‌گیری شده در فرستنده جریان هوا هنگامی که رجیستر یکی بسته می‌شود را تغییر نمی‌دهد اما آن جریان هوا را تغییر می‌دهد.

اندازه‌گیری جریان هوا با استفاده از هد در بویلر علاوه بر جریان هوا اندازه‌گیری جریان دود هم هست ولی تغییر چندان چشم‌گیری نیست چون هوا حدود 94٪ دود است. مشکل این روش این است که دوده می‌تواند هدر را متناسب با جریان هوا تغییر دهد و سایر مشکلات مثل از بین رفتن آب‌بندهای دیواره عایق بدون این‌که اپراتور متوجه آن شود.

بهترین اندازه‌گیری استفاده از ونتوری بین فن دمنده اجباری (F.D) و جعبه هوای مشعل است اما اکثر بویلرها فضای کافی برای این کار ندارند. من همیشه ورودی F.D فن را برای این کار ترجیح داده‌ام.

وقتی بویلری به اندازه کافی بزرگ هست تا دو ورودی فن داشته باشد پس یک اندازه‌گیر خوب بین فن و جعبه هوا هم توجیه شده است. بسیاری از اپراتورها اندازه‌گیری در ورودی فن را درک نکرده و حتا بعضی‌ها آن را جابه‌جا می‌کنند، پس باید آن را کاملا تفهیم کنم.

در داخل بویلرخانه جابه‌جایی هوا وجود دارد اما به‌جز در ورودی F.D فن یا صداخفه‌کن آن بسیار آرام است. برای این‌که سرعت جریان هوا به مقدار مورد نیاز برسد باید اختلاف فشار بین دو محل وجود داشته باشد. فن در ورودی با خارج کردن هوای ورودی به آن فشار را کاهش می‌دهد که فضای خالی ایجاد شده عامل سرازیر شدن هوا به این قسمت می‌شود.

CASPIAN INDUSTRY ROTATION
صنعت چرخش کاسپین

صنعت چرخش کاسپین

www.sccco.net

الکتروژن
ELECTROGEN
SPINNING YOUR WORLD

الکترو موتورهای فن کوئلی

الکترو موتورهای داکت اسپلیت

۰۲۱-۶۲۰۱۶۰۰۰