



کاهش مصرف انرژی در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز با کاهش افت فشار کولر

علی خواجه مبارکه ، امین ذولفقاری
تهران، شرکت مشاوران بهسازی نوسازی انرژی(مبنا)
Khajeh@mbnco.net

واژه‌های کلیدی: کولرهای هوایی- افت فشار مبدل - ایستگاه تقویت فشار گاز- کاهش مصرف انرژی- طراحی بهینه

چکیده

در ایستگاه‌های تقویت فشار گاز از کولرهای هوایی برای خنک کردن گاز خروجی استفاده می‌شود. افت فشار در مبدل- های ایستگاه تقویت فشار از پارامترهای موثر بر راندمان انتقال گاز بشمار می‌رود. بالا بودن افت فشار مبدل‌های ایستگاه- های تقویت فشار منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. در همین راستا و بمنظور افزایش راندمان در سیستم انتقال گاز، مبدل‌های سه ایستگاه تقویت فشار به عنوان نمونه شبیه‌سازی شده است. در این شبیه‌سازی از نرم‌افزار Aspen-HTFS استفاده شده است. بررسی در نتایج شبیه‌سازی اولیه از چند ایستگاه نمونه، نشان می‌دهد که مبدل‌های ایستگاه از پتانسیل مناسبی برای کاهش افت فشار برخوردار است. با توجه به این پتانسیل، سعی شده تا با شناسایی و ارزیابی برخی پارامترهای موثر بر افت فشار در مبدل‌های هوایی، راهکارهایی در جهت تقویت فشار در طول مسیر انتقال گاز ارائه شود تا بدینوسیله بتوان از میزان گاز مصرفی در توربین‌های ایستگاه بعدی کم کرد. پارامترهای موثر بر افت فشار، در دو بخش هندسه مبدل و شرایط عملیاتی مطالعه می‌شود. تاثیر پارامترهای عنوان شده

در افت فشار گاز در سه ایستگاه نمونه بطور کامل بررسی شده است. با شناخت عوامل موثر در افت فشار پیشنهاداتی در غالب شرایط طراحی و روش بهینه در بهره‌برداری ارائه شده است، علاوه بر این، هر سه ایستگاه تقویت فشار نمونه، با توجه به میزان سرمایه‌گذاری مورد نیاز مجدداً طراحی شده است. نتایج نشان می‌دهد که افت فشار مبدل‌های موجود در هر سه ایستگاه از شرایط ایده‌آل فاصله دارد که این فاصله ناشی از شرایط طراحی و بهره‌برداری می‌باشد.

۱. مقدمه

در ایستگاه‌های تقویت فشار به علت بالا بودن دمای گاز، خروجی از واحدهای توربوکمپرسور، می‌بایست دمای گاز، توسط سیستم‌های خنک‌کننده تا حدود 50°C پایین آورده شود، تا به پوشش خط آسیب نرسد [1]. بدین منظور در تاسیسات تقویت فشار گاز، معمولاً از کولرهای هوایی و در برخی ایستگاه‌های قدیمی تر برج‌های خنک‌کن آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کولرهای هوایی، مبدل‌هایی هستند که در آنها سیال فرایندی با جریان هوا خنک می‌شود. در مبدل‌های موجود در

هفتمین همایش ملی انرژی

ارزیابی قرار گرفته است [3]. در بخش طراحی مبدل، برخی از عوامل موثر در افت فشار مبدل به شرح زیر است:

❖ نوع هدر ورودی و خروجی

هدر ورودی و خروجی گاز در انواع متفاوتی طراحی می‌شود. به عنوان مثال مثال گاز خروجی از هر کمپرسور می‌تواند به طور مستقیم و تک‌مرحله‌ای وارد کولرهای هوایی شود و یا در حالت دیگر، گاز خروجی از هر کمپرسور مجموعاً وارد یک هدر شده و سپس با تقسیم‌بندی در نازل‌ها وارد مجموعه کولرهای هوایی شود. با توجه به معادله شماره (۱) هر نوع آرایش متفاوت در هدر ورودی و خروجی گاز منجر به تغییر در سرعت گاز و تغییر در افت فشار خواهد شد [4].

$$h = \frac{fL}{D} \cdot \frac{V^3}{2g} \quad (1)$$

❖ نوع نازل ورودی

نازل ورودی به هر باندل می‌تواند در اشکال مختلفی طراحی شود. به عنوان نمونه می‌تواند U شکل از بالا، از پایین، بطور مستقیم و... باشد [5].

❖ قطر نازل ورودی و خروجی

تغییر در قطر نازل‌های ورودی به مبدل باعث می‌شود تا سرعت گاز عبوری از نازل تغییر کند و این تغییر سرعت در نازل مطابق با معادله (۱) منجر به تغییر در افت فشار گاز درون مبدل خواهد شد. نازل‌ها در ابعاد متفاوت ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ inch انتخاب می‌شوند [6].

❖ تعداد لوله‌های مبدل

تعداد لوله‌هایی که در عرض و ردیف یک مبدل چیده می‌شود، به تقسیم گاز عبوری از مبدل و انتقال حرارت بهتر کمک می‌کنند، از طرفی تغییر در تعداد این لوله‌ها، باعث توزیع جرمی متفاوت گاز در مبدل می‌شود، که این توزیع متفاوت، اثر مستقیم بر روی سرعت و افت فشار سیال عبوری از مبدل خواهد داشت.

ایستگاه، گاز گرم درون مجموعه‌ای از لوله‌ها که بطور افقی کنار هم قرار گرفته‌اند، توزیع می‌شود. جریان هوای لازم برای خنک کردن سیال داخل لوله، توسط فن‌هایی که بصورت دمشی قرار گرفته‌اند تامین می‌شود.

در هر ایستگاه تقویت فشار بطور متوسط در حدود ۲ تا ۶٪ از افزایش فشار کمپرسور، در اثر عبور گاز در مبدل‌های هوایی از دست می‌رود [2]. این تلفات فشار در یک ایستگاه بزرگ می‌تواند سالانه در حدود ۱۰ میلیارد ریال تلفات سرمایه ملی را به همراه داشته باشد. جهت جلوگیری از این اتلاف انرژی و سرمایه، میبایست از افت فشارهای ایجاد شده در خارج از محدوده مجاز در مبدل‌های هوایی جلوگیری کرد. افت فشار در مبدل غالباً بدلیل روش‌های نادرست بهره‌برداری و یا طراحی نامناسب مبدل در ایستگاه ایجاد می‌شود. برای بررسی این دو عامل، سه ایستگاه تقویت فشار گاز به عنوان نمونه در نظر گرفته شده است. در این بررسی از نرم‌افزار Aspen-HTFS برای شبیه‌سازی کولرهای هوایی استفاده می‌شود. شبیه‌سازی مبدل‌های ایستگاه نشان می‌دهد که پتانسیل‌های مناسبی برای کاهش افت فشار در مبدل وجود دارد. پتانسیل‌های موجود در هر سه ایستگاه مورد مطالعه قرار گرفته و در یک ارزیابی کلی راهکارها و پیشنهاداتی در جهت بهبود بخشیدن به راندمان انتقال ارائه شده است. راهکارهای ارائه شده در سه قسمت تقسیم‌بندی می‌شوند، در بخش اول پیشنهاداتی در زمینه طراحی صحیح مبدل ارائه می‌شود، در بخش دوم افت فشارهای ناشی از شرایط نادرست بهره‌برداری اصلاح می‌شود و در بخش سوم مبدل‌های هر سه ایستگاه نمونه مجدداً طراحی شده و از لحاظ افت فشار و هزینه ساخت با حالت فعلی مقایسه شده است.

۲. پارامترهای موثر بر افت فشار مبدل

پارامترهای تاثیرگذار بر روی افت فشار مبدل، در دو بخش کلی تقسیم‌بندی شده‌اند. در یک بخش شرایط عملیاتی موثر بر افت فشار و در قسمتی دیگر هندسه مبدل و نیز شرایط طراحی شرکت سازنده، برای هر ایستگاه تقویت فشار، مورد

هفتمین همایش ملی انرژی

❖ طول دسته لوله

علاوه بر سرعت گاز در مبدل طول مبدل در ایجاد افت فشار از دیگر پارامترهای موثر در طراحی است. در معادله شماره (۱) پارامتر L نشان دهنده همین موضوع است.

❖ قطر لوله

در کولرهای هوایی، استفاده از لوله‌هایی با قطر خارجی ۱۶mm تا ۳۸mm رایج است. آرایش لوله‌ها معمولاً بصورت مثلی (۶۰ درجه) با گام (pitch) ۲ تا ۲/۵ اینچی است [5].

❖ تعداد پاس لوله

تعداد پاس با تغییر در کارایی مبدل در تقسیم دبی و تغییر سرعت گاز عبوری از مبدل، تاثیر مستقیم بر افت فشار دارد [2].

۳. شبیه‌سازی

پارامترهایی که در افت فشار مبدل‌های هوایی موثرند در دو بخش طراحی و عملیاتی خلاصه می‌شوند. شرایط طراحی و هندسه مبدل در محیط نرم‌افزار Aspen-HTFS از طریق شبیه‌سازی کولرهای هوایی بررسی می‌شود. سه ایستگاه نمونه شبیه‌سازی شده و میزان سهم افت فشار برای هر یک از پارامترهای موثر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. برای بررسی عوامل عملیاتی، افزایش دبی گاز عبوری از مبدل در چند شرایط عملیاتی متفاوت بررسی می‌شود که یکی از شرایط عملیاتی مورد بررسی در هر سه ایستگاه نمونه دبی شرایط طراحی است.

۳-۱- شبیه‌سازی و بررسی ایستگاه نمونه اول

برخی از اطلاعات شرایط عملیاتی و طراحی مبدل موجود در ایستگاه مورد بررسی، در جدول شماره ۱ آورده شده است.

جدول ۱- اطلاعات مبدل هوایی در ایستگاه نمونه اول

| | |
|-----|-------------------------------|
| ۴۰ | دبی گاز عبوری (MMSCMD) |
| ۱۰۸ | تعداد کل نازل ورودی و خروجی |
| ۶ | قطر نازل ورودی و خروجی (inch) |
| ۲۷ | تعداد کل بانل |
| ۱۸۰ | تعداد کل لوله در هر بانل |
| ۱۵ | طول لوله‌های مبدل (m) |
| ۱ | تعداد پاس لوله |

سهم و درصد افت فشار در هر یک از قسمت‌های مبدل مطابق با جدول شماره ۲ آورده شده است.

جدول ۲- درصد و سهم افت فشار ناشی از قسمت‌های مختلف مبدل هوایی در ایستگاه نمونه اول

| درصد افت فشار (%) | سهم افت فشار (psi) | |
|-------------------|--------------------|----------------|
| ۰/۳۲ | ۰/۰۱۰ | هدر ورودی |
| ۲۷/۱۲ | ۰/۸۱۸ | نازل ورودی |
| ۵۹/۲۲ | ۱/۷۸۸ | طول دسته لوله |
| ۰ | ۰ | گذر (پاس مبدل) |
| ۱۲/۶۴ | ۰/۳۸۲ | نازل خروجی |
| ۰/۷۱ | ۰/۰۲۲ | هدر خروجی |
| ۱۰۰ | ۳/۰۲ | مجموع |

۳-۲- شبیه‌سازی و بررسی ایستگاه نمونه دوم

ایستگاه تقویت فشار نمونه دوم با توجه به اطلاعات طراحی و جدول شماره ۳ شبیه‌سازی شده و درصد افت فشار در هر قسمت از مبدل مطابق با جدول شماره ۴ آورده شده است.

جدول ۳- اطلاعات مبدل هوایی در ایستگاه نمونه دوم

| | |
|-----|-------------------------------|
| ۳۲ | دبی گاز عبوری (MMSCMD) |
| ۳۲ | تعداد کل نازل ورودی و خروجی |
| ۱۲ | قطر نازل ورودی و خروجی (inch) |
| ۲۴ | تعداد کل بانل |
| ۳۴۸ | تعداد کل لوله در هر بانل |
| ۱۰ | طول لوله‌های مبدل (m) |
| ۲ | تعداد پاس لوله |

هفتمین همایش ملی انرژی

۴. ارزیابی پتانسیل‌های موجود برای کاهش افت فشار

مبدل

ارزیابی پتانسیل‌های موجود در دو بخش طراحی مبدل و شرایط عملیاتی متفاوت بررسی می‌شود.

۴-۱- ارزیابی شرایط طراحی مبدل

نتایج نشان می‌دهد که افت فشار در دسته لوله و نازل‌ها دارای بالاترین سهم از مجموع افت فشار مبدل‌های هوایی است. برای بررسی بهتر، سرعت در هر یک از قسمت‌های ذکر شده، در سه ایستگاه نمونه، محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است.

با توجه به نتایج جدول شماره ۷، افت فشار ایستگاه نمونه دوم در مقایسه با دو ایستگاه دیگر در شرایط عملیاتی بالاتر است. محاسبه سرعت گاز در لوله‌های مبدل نشان می‌دهد که سرعت گاز در لوله‌های مبدل ایستگاه نمونه دوم، تفاوت چشم‌گیری با دو ایستگاه دیگر دارد که این سرعت بالای گاز در لوله‌های مبدل، دلیل افت فشار بالای ایستگاه دوم را بخوبی توجیه می‌کند.

همچنین با وجود سرعت تقریباً برابر گاز در لوله‌های مبدل ایستگاه نمونه اول و سوم، میزان افت فشار محاسبه شده در دو ایستگاه متفاوت است. دلیل این امر در این است که گاز گرم در لوله‌های ایستگاه نمونه سوم مسیری معادل ۲۴ متر را طی می‌کند، در حالیکه طول مسیر حرکت گاز در ایستگاه نمونه اول در حدود ۱۵ متر است.

جدول ۷- محاسبه پارامترهای موثر بر افت فشار در مبدل‌های هوایی سه ایستگاه نمونه

| ایستگاه اول | ایستگاه دوم | ایستگاه سوم | |
|-------------|-------------|-------------|---------------------------------|
| ۴۰ | ۳۲ | ۸۲ | دبی جرمی گاز ورودی (kg/s) |
| ۳۴۸ | ۲۸۳ | ۷۱۷ | دبی گاز عبوری از هر لوله (kg/s) |
| ۱۵ | ۲۰ | ۲۴ | طول مسیر حرکت گاز در مبدل (m) |
| ۴/۲ | ۸/۰ | ۵ | سرعت گاز در لوله (m/s) |
| ۱۰/۶ | ۴/۲ | ۵/۸ | سرعت گاز در نازل (m/s) |
| ۳ | ۹/۸ | ۵/۸ | افت فشار (psi) |

جدول ۴- درصد و سهم افت فشار ناشی از قسمت‌های مختلف مبدل هوایی در ایستگاه نمونه دوم

| درصد افت فشار (%) | سهم افت فشار (psi) | |
|-------------------|--------------------|----------------|
| ۰/۱۲ | ۰/۱۲ | هدر ورودی |
| ۱/۲ | ۰/۱۱۸ | نازل ورودی |
| ۹۵/۱۷ | ۹/۳۳۸ | طول دسته لوله |
| ۱/۰۲ | ۰/۰۱۰ | گذر (پاس مبدل) |
| ۱/۹۳ | ۰/۱۹ | نازل خروجی |
| ۰/۷ | ۰/۰۶۸ | هدر خروجی |
| ۱۰۰ | ۹/۸ | مجموع |

۳-۳- شبیه‌سازی و بررسی ایستگاه نمونه سوم

شبیه‌سازی ایستگاه نمونه سوم مطابق با جدول شماره ۵ انجام شده است و نتایج حاصل از درصد و سهم افت فشار در قسمت‌های متفاوت مبدل مطابق جدول شماره ۶ می‌باشد.

جدول ۵- اطلاعات مبدل هوایی در ایستگاه نمونه سوم

| | |
|-----|-------------------------------|
| ۸۲ | دبی گاز عبوری (MMSCMD) |
| ۲۷۰ | تعداد کل نازل ورودی و خروجی |
| ۶ | قطر نازل ورودی و خروجی (inch) |
| ۴۵ | تعداد کل بانل |
| ۲۵۲ | تعداد کل لوله در هر بانل |
| ۱۲ | طول لوله‌های مبدل (m) |
| ۲ | تعداد پاس لوله |

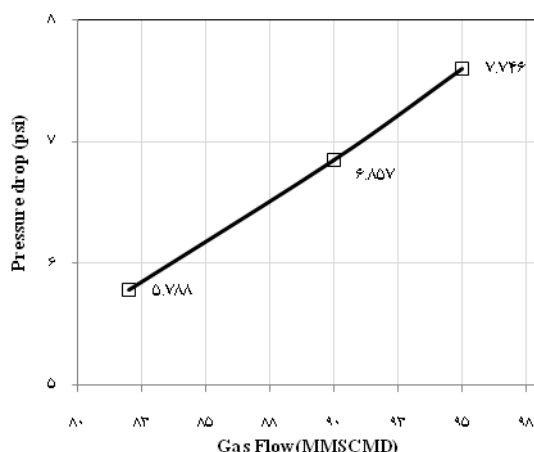
جدول ۶- درصد و سهم افت فشار ناشی از قسمت‌های مختلف مبدل هوایی در ایستگاه نمونه سوم

| درصد افت فشار (%) | سهم افت فشار (psi) | |
|-------------------|--------------------|----------------|
| ۰/۰۳ | ۰/۰۰۱ | هدر ورودی |
| ۴/۱۹ | ۰/۲۴ | نازل ورودی |
| ۹۳/۸ | ۵/۴۳ | طول دسته لوله |
| ۰/۰۴ | ۰/۰۰۲ | گذر (پاس مبدل) |
| ۱/۹۲ | ۰/۱۱۲ | نازل خروجی |
| ۰/۰۳ | ۰/۰۰۱ | هدر خروجی |
| ۱۰۰ | ۵/۸ | مجموع |

هفتمین همایش ملی انرژی

شرایط طراحی برای ایستگاه نمونه دوم با دبی گاز ۳۰ MMSCMD می‌باشد که افت فشاری معادل ۸/۵ psi را ایجاد می‌کند.

با توجه به شرایط ایستگاه نمونه سوم، نمودار مشابه برای این ایستگاه مطابق با نمودار شماره ۳ می‌باشد.



نمودار ۳- تغییرات افت فشار ناشی از تغییر در دبی گاز عبوری در ایستگاه نمونه سوم

شرایط طراحی در ایستگاه نمونه سوم در دبی گاز ۹۵ MMSCMD می‌باشد که افت فشاری در حدود ۷/۷ psi دارد. در یک جمع‌بندی کلی از تاثیرات افزایش دبی گاز ورودی بر مبدل، جدول شماره ۸ افت فشار در شرایط طراحی هر سه ایستگاه را نشان می‌دهد.

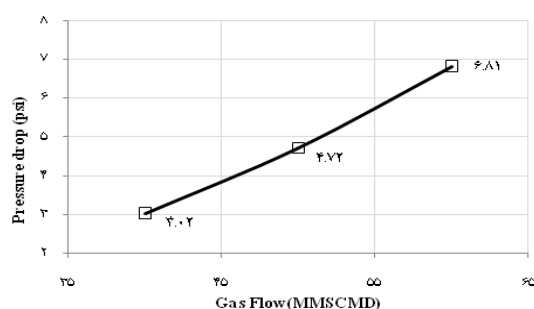
جدول ۸- افت فشار در مبدل‌های سه ایستگاه نمونه برای دبی طراحی

| ایستگاه تقویت فشار | افت فشار (psi) |
|--------------------|----------------|
| ایستگاه نمونه اول | ۶/۸ |
| ایستگاه نمونه دوم | ۸/۵ |
| ایستگاه نمونه سوم | ۷/۷ |

همانطور که جدول ۸ نشان می‌دهد میزان افت فشار در شرایط طراحی برای هر سه ایستگاه در حدود ۶/۵ تا ۸/۵ psi بوده و تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد.

۲-۴- ارزیابی شرایط عملیاتی متفاوت در مبدل

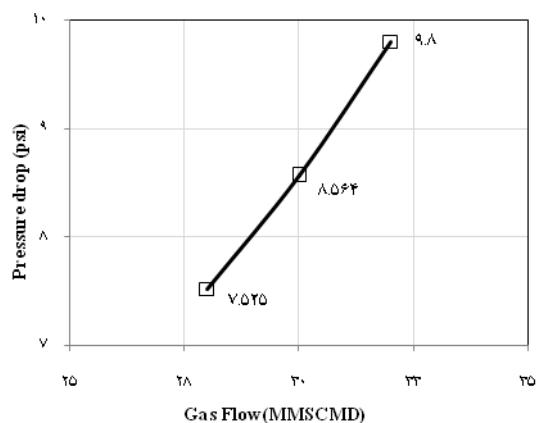
افت فشار محاسبه شده در هر سه ایستگاه نمونه با توجه به شرایط عملیاتی و در زمان اندازه‌گیری و ثبت داده‌ها در سه ایستگاه صورت گرفته است. نمودار شماره ۱ میزان افت فشار را در دو شرایط عملیاتی و نیز شرایط طراحی برای ایستگاه نمونه اول نشان می‌دهد. در واقع در این نمودار نشان داده می‌شود که افت فشار گاز در شرایط عملیاتی و طراحی به چه اندازه و چگونه تغییر می‌کند.



نمودار ۱- تغییرات افت فشار ناشی از تغییر در دبی گاز عبوری در ایستگاه نمونه اول

شرایط طراحی برای ایستگاه نمونه اول معادل دبی گاز عبوری ۶۰ MMSCMD می‌باشد که افت فشاری معادل ۶/۸ psi ایجاد می‌کند.

در همین شرایط و با توجه به اطلاعات ایستگاه اثر افزایش دبی گاز در ایستگاه نمونه دوم مطابق با نمودار شماره ۲ آورده شده است.



نمودار ۲- تغییرات افت فشار ناشی از تغییر در دبی گاز عبوری در ایستگاه نمونه دوم

هفتمین همایش ملی انرژی

هدر ورودی مبدل‌های این ایستگاه، بنحوی است که گاز خروجی از هر کمپرسور مستقیماً وارد مبدل‌های هوایی شده و بعبارت دیگر هر کولر متعلق به یک کمپرسور است. این درحالی است که در اکثر ایستگاه‌های تقویت فشار، گازهای خروجی از هر کمپرسور وارد یک هدر مشترک شده و سپس وارد مبدل‌های هوایی می‌شود. این حالت طراحی سبب می‌شود که در هر شرایط عملیاتی، دبی خروجی ایستگاه با گذر از تمام سطح کولر بصورت موازی بین بانک‌ها پخش شده و سرعت گاز عبوری از هر مبدل کاهش یابد. لیکن در آرایش فعلی با توجه به اینکه دبی عبوری از کمپرسور معمولاً در حالت طراحی و بیشینه تنظیم می‌شود، میزان دبی عبوری از هر مبدل نیز همواره در حالت طراحی و یا بیشتر باقی می‌ماند. در این قسمت با تغییر در آرایش هدر ورودی ایستگاه، میزان افت فشار مبدل‌های هوایی مطابق جدول شماره ۱۰ و تقریباً معادل ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

جدول ۱۰- نتایج کاهش افت فشار در اثر تغییر در آرایش هدر ورودی به کولرهای هوایی

| افت فشار (psi) | نوع آرایش هدر |
|----------------|----------------|
| ۸/۵ | آرایش فعلی |
| ۴/۸ | آرایش پیشنهادی |

۲-۵- راهکار اصلاح روش بهره‌برداری

اصلاح در روش‌های بهره‌برداری، به مراتب روش‌هایی کم-هزینه‌تر نسبت به اصلاح هندسه مبدل می‌باشد، با این حال شامل محدودیت‌هایی است که به بهره‌بردار اجازه نمی‌دهد در هر زمان از دستورالعمل و یا پیشنهادات ارائه شده استفاده کند.

❖ هدایت گاز از مسیر کنارگذر (Bypass)

در برخی شرایط می‌توان با باز کردن مسیر کنارگذر از افت فشار ایجاد شده در مبدل جلوگیری کرد. این روش همیشه قابل اجرا نیست و به دمای خروجی از کمپرسور وابسته است. اگر دمای خروجی از کمپرسور کمتر از 50°C باشد، آنگاه

۵. راهکارهای کاهش افت فشار در مبدل‌های هوایی ایستگاه‌های نمونه

بررسی نتایج شبیه‌سازی و ارزیابی در ایستگاه‌های تقویت فشار نمونه، نشان می‌دهد که با اصلاح برخی از قسمت‌های هندسه مبدل از افت فشار ناشی از شرایط بد طراحی در مبدل می‌توان جلوگیری کرد. همچنین در برخی شرایط عملیاتی می‌توان با بهره‌برداری مناسب از مبدل‌های، به شرایط بهتری از لحاظ افت فشار رسید. پتانسیل‌های موجود در دو بخش ارائه می‌شود. ابتدا پیشنهاداتی در غالب اصلاح طراحی مبدل مطرح می‌شود و در ادامه روش‌هایی در راستای بهره‌برداری و بهبود بخشیدن به وضعیت افت فشار ارائه می‌شود.

۱-۵- راهکارهای اصلاح در طراحی و هندسه مبدل

با توجه به شناسایی و ارزیابی پتانسیل‌های موجود جهت کاهش افت فشار در مبدل، پیشنهادات ارائه شده به شرح زیر است:

▪ تغییر در نازل‌های ایستگاه نمونه اول

سهام افت فشار نازل‌های مبدل ایستگاه نمونه اول، از درصد نسبتاً بالایی در مقایسه با سایر ایستگاه‌های تقویت فشار برخوردار است. با تغییر در سایز نازل‌های ورودی، از سایز ۶ inch به ۱۲ inch در ایستگاه مذکور، میزان افت فشار مطابق با جدول شماره ۹ تغییر می‌یابد.

جدول ۹- تغییر در سایز نازل‌های ایستگاه تقویت فشار نمونه اول

| | |
|-----|------------------------------------|
| ۶۰ | دبی عبوری گاز از مبدل (MMSCMD) |
| ۶/۸ | افت فشار کل مبدل با نازل ۶" (psi) |
| ۴/۰ | افت فشار کل مبدل با نازل ۱۲" (psi) |

▪ تغییر در آرایش هدر ورودی به کولرهای هوایی ایستگاه نمونه دوم

در جدول شماره ۷ اشاره شد که سرعت گاز در لوله‌های مبدل ایستگاه نمونه دوم بسیار بالاتر از سرعت مجاز در لوله‌های مبدل است [5]. برای توجیه سرعت بالای گاز در لوله‌های مبدل ایستگاه نمونه دوم، لازم به ذکر است که نوع

هفتمین همایش ملی انرژی

۶. طراحی بهینه مبدل

با توجه به راهکارهای ارائه شده در بخش طراحی، بنظر می‌رسد طراحی مبدل‌های هوایی در ایستگاه‌های تقویت فشار نمونه چندان مناسب نیست. لذا مبدل‌های هر سه ایستگاه تقویت فشار، با لحاظ کردن حداقل ایجاد افت فشار، مجدداً طراحی شده است.

لازم به ذکر است که برآورد اقتصادی و هزینه ناشی از طراحی مناسب یک مبدل، نقش مهمی در انتخاب مبدل طراحی شده ایفا می‌کند. در طراحی هر سه ایستگاه نمونه پارامتر هزینه مد نظر قرار گرفته و در طراحی هر سه ایستگاه نمونه هزینه‌های طراحی در شرایط جدید کمتر از شرایط کنونی برآورد شده است.

۶-۱- طراحی بهینه ایستگاه نمونه اول

نتایج طراحی مجدد کولرهای هوایی در ایستگاه نمونه اول مطابق با جدول شماره ۱۲ می‌باشد.

جدول ۱۲- نتایج حاصل از طراحی بهینه ایستگاه نمونه اول

| پارامترهای طراحی | طراحی قدیم | طراحی جدید |
|------------------------------|------------|------------|
| تعداد کل بانل | ۱۸ | ۲۶ |
| تعداد کل نازل‌های ورودی | ۳۶ | ۵۲ |
| تعداد کل نازل‌های خروجی | ۳۶ | ۵۲ |
| تعداد کل لوله‌ها در مبدل | ۱۸۰ | ۱۷۶ |
| مساحت انتقال حرارت (m^2) | ۸۴۰۵۲ | ۷۹۱۸۲ |
| افت فشار مبدل (psi) | ۶/۸ | ۳/۳ |
| کاهش هزینه طراحی (%) | | ۲ |

در جدول شماره ۱۳ بررسی کامل میزان صرفه‌جویی در مصرف انرژی با توجه به کاهش میزان افت فشار در مبدل‌های ایستگاه نمونه اول انجام شده است

جدول ۱۳- بررسی اقتصادی طراحی مجدد مبدل در ایستگاه نمونه اول

| | |
|--|---------------|
| کاهش افت فشار کولر در شرایط جدید (psi) | ۳/۵ |
| کاهش توان مصرفی کمپرسور در ایستگاه پایین- دست (kW) | ۶۰۶ |
| میزان سالانه گاز صرفه جویی شده در توربین ایستگاه پایین‌دست (m^3) | ۲,۱۷۴,۳۴۰ |
| ارزش سالیانه صرفه جویی مصرف گاز در ایستگاه پایین‌دست (ریال) | ۱,۹۸۳,۲۹۴,۰۰۰ |

هدایت گاز از مسیر کنارگذر مناسب است. این شرایط معمولاً در اقلیم‌های سردسیر و در شرایط با برداشت کم از خط برآورده می‌شود. اجرای این طرح برای نمونه در ایستگاه اول و در یکی از شرایط عملیاتی برای حالتی که گاز از مسیر کنار گذر عبور کند و وارد خط لوله شود، بررسی شده که نتایج آن مطابق با جدول شماره ۱۱ می‌باشد.

جدول ۱۱- بررسی اقتصادی استفاده از مسیر کنارگذر در ایستگاه نمونه

اول

| | |
|--|---------------|
| دبی گاز عبوری (MMSCMD) | ۶۰ |
| فشار خروجی (psi) | ۱۰۲۳ |
| فشار ورودی به ایستگاه پایین‌دست (psi) | ۶۸۵ |
| فشار ورودی به ایستگاه پایین‌دست با بای‌پس نمودن کولر (psi) | ۶۹۴/۴ |
| تفاوت فشار (psi) | ۹/۴ |
| میزان صرفه جویی در توان کمپرسورهای ایستگاه (kW) | ۱۲۲۲ |
| ارزش سالانه صرفه جویی در مصرف گاز ایستگاه تقویت پایین‌دست (ریال) | ۴,۰۰۰,۹۹۴,۰۰۰ |

نتایج جدول شماره ۱۱ نشان می‌دهد با در نظر داشتن شرایط عملیاتی و نظارت بر ممانعت از آسیب‌رسی به پوشش خط، می‌توان با هدایت گاز از مسیر کنارگذر به صرفه اقتصادی مناسبی دست یافت. همانطور که در جدول شماره ۸ نشان داده شد، در شرایط طراحی میزان افت فشار در مبدل ۶/۸ psi بود، درحالی‌که با عبور گاز از مسیر کنار گذر مبدل‌های هوایی، میزان افزایش فشار روندی صعودی پیدا کرده و طبق جدول شماره ۱۱ تا ۹/۴ psi در ایستگاه بعد افزایش می‌یابد. دلیل این امر در این است که کاهش افت فشار در طول خط روندی نمایی داشته و با پیشروی در طول خط شدت می‌گیرد. البته باید در نظر داشت که در طراحی ایستگاه‌های تقویت فشار، الزاما مسیر کنارگذر برای مبدل‌های هوایی وجود ندارد. با این وجود در ایستگاهی که مسیر کنار گذر برای مبدل‌های آن طراحی شده است می‌توان با اصلاح روش بهره‌برداری به کاهش افت فشار کمک کرد.

هفتمین همایش ملی انرژی

لازم به ذکر است نتایج طراحی بر اساس پارامترهای موثر بر افت فشار در هندسه مبدل، در جداول شماره ۱۲، ۱۴ و ۱۶ عنوان شده است، لذا عدم وجود برخی پارامترهای موثر دیگر مثل قطر لوله، گام و ... نشان دهنده عدم تغییر این پارامترها در شرایط طراحی جدید است.

جدول ۱۶- نتایج حاصل از طراحی بهینه ایستگاه نمونه سوم

| پارامترهای طراحی | طراحی قدیم | طراحی جدید |
|------------------------------|------------|------------|
| تعداد کل بانل | ۴۵ | ۴۶ |
| تعداد کل نازل‌های ورودی | ۱۳۵ | ۹۲ |
| تعداد کل نازل‌های خروجی | ۱۳۵ | ۹۲ |
| تعداد کل لوله‌ها در مبدل | ۳۴۸ | ۱۲۰ |
| مساحت انتقال حرارت (m^2) | ۲۴۸۷۸۰ | ۱۰۰۱۹۴ |
| افت فشار مبدل (psi) | ۷/۷ | ۴/۵ |
| کاهش هزینه طراحی (%) | | ۵۱ |

جدول ۱۷- بررسی اقتصادی طراحی مجدد مبدل در ایستگاه نمونه سوم

| | |
|--|---------------|
| کاهش افت فشار کولر در شرایط جدید (psi) | ۳/۲ |
| کاهش توان مصرفی کمپرسور در ایستگاه پایین- دست (kW) | ۴۱۶ |
| میزان سالانه گاز صرفه جویی شده در توربین ایستگاه پایین دست (m^3) | ۱,۹۷۴,۲۰۳ |
| ارزش سالیانه صرفه جویی مصرف گاز در ایستگاه پایین دست (ریال) | ۱,۳۶۲,۲۰۰,۰۰۰ |

۷. نتیجه گیری

در فرایند خنک کاری گاز در ایستگاه تقویت فشار، مبدل‌های مورد استفاده در سه ایستگاه نمونه بطور مجزا بررسی شد. بررسی ایستگاه نمونه اول نشان دهنده بالا بودن سرعت در نازل‌های ورودی است. لذا اولین راهکار کاهش افت فشار، تغییر در ساینز نازل‌های این ایستگاه ارائه شده است، شبیه سازی با نازل‌های اصلاح شده در این ایستگاه نشان می‌دهد به میزان ۲/psi می‌توان از افت فشار در مبدل کم کرد. در بررسی و ارزیابی ایستگاه نمونه دوم، پیشنهاد تغییر در آرایش هدر ورودی سیال به مبدل مطرح شد، شبیه سازی طرح

بررسی جدول ۱۳ نشان می‌دهد که طراحی جدید در ایستگاه نمونه اول، با هدف کاهش افت فشار در مسیر حرکت گاز، به میزان قابل توجهی از میزان گاز مصرفی در ایستگاه بعد می‌کاهد.

۲-۶- طراحی بهینه ایستگاه نمونه دوم

با در نظر داشتن میزان سرمایش، شرایط عملیاتی و طراحی ایستگاه، ایستگاه نمونه دوم نیز مانند ایستگاه قبل طراحی شد و نتایج این طراحی در جدول ۱۴ و ۱۵ آورده شده است.

جدول ۱۴- نتایج حاصل از طراحی بهینه ایستگاه نمونه دوم

| پارامترهای طراحی | طراحی قدیم | طراحی جدید |
|------------------------------|------------|------------|
| تعداد کل بانل | ۸ | ۱۲ |
| تعداد کل نازل‌های ورودی | ۱۸ | ۲۴ |
| تعداد کل نازل‌های خروجی | ۱۸ | ۲۴ |
| تعداد کل لوله‌ها در مبدل | ۳۴۸ | ۱۲۶ |
| مساحت انتقال حرارت (m^2) | ۴۸۵۳۴ | ۲۷۷۶۲ |
| افت فشار مبدل (psi) | ۸/۵ | ۴/۵ |
| کاهش هزینه طراحی (%) | | ۱۷ |

جدول ۱۵- بررسی اقتصادی طراحی مجدد مبدل در ایستگاه نمونه دوم

| | |
|--|---------------|
| کاهش افت فشار کولر در شرایط جدید (psi) | ۴ |
| کاهش توان مصرفی کمپرسور در ایستگاه پایین- دست (kW) | ۴۱۸ |
| میزان سالانه گاز صرفه جویی شده در توربین ایستگاه پایین دست (m^3) | ۱,۹۸۳,۶۹۵ |
| ارزش سالیانه صرفه جویی مصرف گاز در ایستگاه پایین دست (ریال) | ۱,۳۶۸,۷۴۹,۰۰۰ |

۳-۶- طراحی بهینه ایستگاه نمونه سوم

نتایج طراحی در ایستگاه نمونه سوم مطابق جداول ۱۶ و ۱۷ می‌باشد.

محاسبات نشان می‌دهد که طراحی در این ایستگاه نیز می‌تواند بهتر از شرایط موجود باشد و با طراحی بهتر می‌توان تا ۴/۵ psi از افت فشار ایجاد شده در مبدل کم کرد.

هفتمین همایش ملی انرژی

پیشنهادی نشان داد که به میزان ۳/۷psi از افت فشار در مبدل می‌توان کاست.

بررسی‌های بیشتر در ایستگاه‌های نمونه نشان می‌دهد که در طراحی ایستگاه‌های نمونه، پتانسیل‌های فراوانی برای کاهش افت فشار در مبدل وجود دارد. وجود این پتانسیل‌های بالا در طراحی ایستگاه‌های نمونه، نشان دهنده عدم طراحی مناسب مبدل‌ها است. برای بررسی و درک بهتر موضوع، هر سه ایستگاه در شرایط طراحی توسط نرم‌افزار Aspen-HTFS با لحاظ کردن حداقل افت فشار، مجدداً طراحی شد. محدودیت‌های عمده در این شبیه‌سازی، دمای خروجی گاز از مبدل، هزینه طراحی و نیز حداقل افت فشار لحاظ شده است. طراحی در شرایط جدید نشان می‌دهد که با صرف هزینه کمتر در ساخت و طراحی مبدل‌های هوایی، می‌توان حالتی بهینه از دیدگاه میزان افت فشار در ایستگاه‌های تقویت فشار ایجاد کرد. بگونه‌ای که در طراحی جدید مبدل‌های ایستگاه تقویت فشار، از میزان افت فشار در ایستگاه نمونه اول ۵۱٪، ایستگاه نمونه دوم ۴۷٪ و ایستگاه نمونه سوم ۴۱٪ نسبت به حالت کنونی کاسته شده است. همچنین در طراحی ایستگاه‌های نمونه، از هزینه‌های طراحی در هر سه ایستگاه به ترتیب ۲، ۱۷ و ۵۱٪ کاسته شده است.

۸. مراجع

- [1]Campbell J. M. (1994). "Gas Conditioning & Processing", Campbell Petroleum Series, 7th Edition, 75p.
- [2]Varney B. W. (2003). "Heat Exchanger Optimization Process and Apparatus", US Patent 7,178, pp 351.
- [3]Saunders E.A.D (2002). "Heat Exchangers Selection, Design and Construction", Tehran A'eizh, 85p.
- [4]White F. M. (2002). "Fluid Mechanics" 4th Edition, 340p.
- [5]Richard B. (1999). "Tubular Exchanger Manufactures Association (TEMA)", 8th Edition.
- [6] API Standard 661. (2002), 5th Edition 17p.