

بررسی اختلافات ناشی از استانداردهای مختلف در اندازه‌گیری حجم گاز مصرفی در صنعت سیمان و راهکارهای رفع آن

■ مهندس رضا رحمانی فر
شرکت سیمان آذرآبادگان خوی

چکیده:

در صنعت سیمان، حجم گاز مصرفی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌ها در ارزیابی بهره‌وری انرژی و مدیریت هزینه‌هاست. با این حال، اختلاف میان استانداردهای مورد استفاده در اندازه‌گیری حجم گاز، به‌ویژه بین شرکت‌های گاز و مصرف‌کنندگان عمده مانند کارخانه‌های سیمان، منجر به بروز تفاوت‌هایی در محاسبات و در برخی موارد، بروز تنش‌هایی میان طرفین شده است. این مقاله با تمرکز بر مبانی علمی اختلاف، نمونه‌های عددی و مقایسه استانداردها، سعی در تبیین دلایل این تفاوت و ارائه راهکارهایی جهت همسان‌سازی و رفع سوءتفاهم‌ها دارد.

۱- مقدمه

در کارخانه‌های سیمان، گاز طبیعی به عنوان یکی از منابع اصلی انرژی حرارتی مصرف می‌شود. با توجه به حجم بالای مصرف، دقت در اندازه‌گیری و صحت‌سنجی مقادیر ثبت شده از اهمیت بالایی برخوردار است. یکی از مسائل رایج، اختلاف میان حجم گاز ثبت شده توسط کنتورهای شرکت گاز و تجهیزات اندازه‌گیری در محل مصرف نظیر سکوی کوره یا پری‌هیتر است. منشأ این اختلاف معمولاً به تفاوت در شرایط مرجع دما و فشار در استانداردهای مختلف برمی‌گردد.

۲- معرفی اجمالی سیستم اندازه‌گیری و نقش اصلاح‌گر

در سامانه‌های تحویل گاز، حجم گاز ابتدا توسط کنتور حجمی اندازه‌گیری می‌شود. اما چون حجم گاز تابع دما و فشار است، مقدار اولیه خوانده شده توسط کنتور واقعی نیست و نیاز به تصحیح دارد. در این مرحله تجهیزاتی به نام اصلاح‌گر وارد

عمل می‌شود. اصلاح‌گر مقادیر لحظه‌ای دما و فشار گاز را از حسگرهای متصل دریافت کرده و بر اساس معادله عمومی گازها، عدد حجم تصحیح شده را محاسبه و ثبت می‌کند. بنابراین، اصلاح‌گر در واقع مغز سیستم اندازه‌گیری است و صحت نهایی حجم گزارش شده کاملاً به عملکرد درست آن وابسته است.

۳- تفاوت استانداردهای اندازه‌گیری حجم گاز

استانداردهای مورد استفاده در اندازه‌گیری حجم گاز عمدتاً شامل دو نوع هستند:

الف- نرمال متر مکعب (Nm^3)

مرجع دما صفر درجه سانتیگراد (برابر ۲۷۳٫۱۵ کلوین) و فشار یک بار که براساس تعریف استاندارد آیوپاک (IUPAC) است (از سال ۱۹۸۲ میلادی به بعد مرجع فشار

در این استاندارد به یک بار تغییر کرده است و قبلاً یک اتمسفر بوده است، هر چند تفاوت زیادی ندارند (یک اتمسفر برابر ۱۰۱۳۲۵ بار است). این استاندارد بیشتر در کارخانه‌های سیمان و تجهیزات خریداری شده اروپایی کاربرد دارد.

ب- استاندارد متر مکعب (Sm^3)

مرجع دمایی ۶۰ درجه فارینهایت یا ۱۵٫۵۶ درجه سانتی‌گراد (برابر ۲۸۸٫۷۱ درجه کلوین) و فشار برابر یک اتمسفر، این استاندارد در سیستم اندازه‌گیری شرکت ملی گاز ایران مورد استفاده است (Iranian Gas Standards (IGS و برگرفته از استاندارد آمریکایی ANSI است.

تبدیل این دو واحد از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$1Sm^3 = 1.043 Nm^3$$

به عبارت دیگر، در شرایط یکسان، مقدار اندازه‌گیری شده برحسب نرمال متر مکعب، کمتر از مقدار متناظر برحسب استاندارد متر مکعب خواهد بود.

اگر فشار خط گاز برابر ۱ بار و فشار محیط برابر ۰٫۸۶ بار و دمای گاز خروجی کنتور ۱۵ درجه سانتیگراد باشد، فشار مطلق برابر با ۱٫۸۶ بار یا ۱٫۸۳۶ اتمسفر و دمای آن ۲۹۸٫۱۵ درجه کلوین خواهد بود و اگر مثلاً کنتور فلوی گاز را ۲۵۰۰ متر مکعب نشان دهد (تاکید می‌شود متر مکعب نه نرمال متر مکعب یا استاندارد مکعب بر ساعت بلکه حجم گاز در شرایط دما و فشار خروجی کنتور)، محاسبه حجم گاز مصرفی در ساعت بر اساس استانداردهای مختلف با روابط زیر انجام می‌شود:

$$V = V_{count} \times (T_{ref} / T_{line}) \times (P_{total} / P_{ref})$$

$$V_N = 2500 \times (273.15 / 288.15) \times 1.86 = 4260 Nm^3/h$$

$$V_S = 2500 \times (288.71 / 288.15) \times 1.836 = 4444 Sm^3/h$$

اختلاف دو استاندارد اندازه‌گیری، حدود ۱۹۱ متر مکعب در ساعت است.

۷- نتیجه‌گیری

اختلاف در استانداردهای اندازه‌گیری حجم گاز مسئله‌ای فنی با اثرات اقتصادی است. هماهنگی دقیق بین روش‌های اندازه‌گیری و استانداردسازی مراجع، بررسی علمی عملکرد اصلاح‌گرها و لحاظ شرایط محیطی از جمله فشار محیط و صحت اندازه‌گیری ابزارهای دقیق مربوط اندازه‌گیری فشار و دما هم در ایستگاه گاز و هم در محل مصرف می‌تواند به رفع اختلاف‌ها و محاسبات دقیق‌تر منجر شود.

ضمیمه ۱- روابط پایه در محاسبه حجم گاز

معادله عمومی گازها:

$$PV = nRT$$

و برای مقایسه دو حالت ۱ و ۲ برای یک گاز از فرمول بالا به نسبت زیر می‌رسیم:

$$P_1/P_2 = V_2/V_1 = T_1/T_2$$

رابطه فشار با ارتفاع از سطح دریا:

$$P = P_0 \times e^{\frac{-Mgh}{RT}}$$

P_0 : فشار در سطح دریا و برابر ۱۰۱۳ بار

M : جرم ملکولی هوا حدود ۲۸٫۹۸ گرم برمول

g : شتاب گرانش برابر ۹٫۸۱ متر بر مجذور ثانیه

h : ارتفاع از سطح دریا و برحسب متر

۴- نکته علمی- قانون عمومی گازها

طبق قانون عمومی گازها، تغییر حجم گاز تابع مستقیمی از دما و فشار محیط است. اگر دما ۱ درجه سلسیوس تغییر کند، حجم گاز با نسبت حدود ۱ به ۲۷۳ تغییر خواهد کرد و اگر فشار گاز دو برابر شود، در دمای ثابت، حجم آن نصف می‌گردد، بنابراین انتظار ثبات حجم بدون تصحیح دما و فشار نادرست است.

۵- منشأ اصلی اختلافات در اندازه‌گیری

در بسیاری از موارد، زمانی که رقم ثبت شده روی قبض گاز با مقدار مصرفی مشاهده شده در محل مصرف مطابقت ندارد، فرض بر ایراد در کالیبراسیون کنتورها گذاشته می‌شود. اما در واقعیت، قبل از هرگونه اقدام برای ارسال کنتور جهت کالیبراسیون، باید تمامی اصلاحات فنی و محاسبات دما، فشار، شرایط مرجع و عملکرد اصلاح‌گرها به‌خصوص ابزارهای اندازه‌گیری فشار و دما و صحت اندازه‌گیری آنها و انتقال داده‌ها بررسی گردد. در برخی شرکت‌ها مشاهده شده است که بدون تحلیل کافی، کنتورها برای کالیبراسیون ارسال شده‌اند در حالی که ایراد اصلی از اصلاح‌گر بوده است.

۶- محاسبات اختلاف حجمی- مثال عددی (صرفاً حاصل از اختلاف استاندارد اندازه‌گیری)

مثال عددی محاسبات اختلاف حجمی (صرفاً حاصل از اختلاف استاندارد اندازه‌گیری) به صورت زیر است:

T: دمای مطلق برحسب کلوین

R: ثابت عمومی گازها ژول بر مول کلوین

n: تعداد مول گاز

فوق‌العاده‌ای (در حد بعلاوه منهای ۱ تا ۵ درصد) برخوردارند.
۳- اندازه‌گیری مستقیم: با گزارش جرم، که یک کمیت پایه است، بسیاری از ابهامات مربوط به تعریف «شرایط استاندارد» از بین می‌رود.

معایب و چالش‌ها (دلایل محدودیت کاربرد در صنایعی مانند سیمان):

۱- هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالا: قیمت یک کنتور کوریولیس با قطر بالا برای دبی‌های کلان یک کارخانه سیمان، می‌تواند چندین برابر یک کنتور توربینی به همراه کرک‌تور باشد.
۲- محدودیت در ساین خط لوله: با افزایش قطر لوله، هزینه، ابعاد و وزن این کنتورها به صورت نمایی افزایش می‌یابد که نصب و نگهداری آنها را در لاین‌های اصلی با قطر بالا (مثلاً ۱۰ اینچ به بالا) غیرعملی یا بسیار پرهزینه می‌کند.

۳- حساسیت به ارتعاشات: کنتورهای کوریولیس به ارتعاشات خارجی بسیار حساس هستند. نصب آنها در نزدیکی تجهیزات دوار پراوتعاش مانند کمپرسورها یا فن‌های بزرگ در کارخانه سیمان، می‌تواند بر دقت آنها تأثیر منفی بگذارد یا حتی باعث خرابی زودرس شود.

۴- افت فشار بیشتر: این کنتورها در مقایسه با کنتورهای توربینی یا اولتراسونیک، افت فشار بیشتری در خط ایجاد می‌کنند.

۵- مشکل در تصدیق و تطابق: از آنجایی که شرکت‌های گاز در سراسر جهان عمدتاً بر مبنای حجم در شرایط استاندارد صورتحساب صادر می‌کنند، استفاده از کنتور جرمی نیاز به یک توافق جداگانه دارد که خود جرم اندازه‌گیری شده را با استفاده از یک مدل ترمودینامیکی دقیق از گاز به حجم استاندارد تبدیل کند. این فرآیند، خود پیچیدگی و هزینه دارد.

نتیجه‌گیری

با وجود مزایای نظری چشمگیر، محدودیت‌های فنی-اقتصادی به ویژه در ساین‌های بزرگ و شرایط محیطی خاص کارخانه‌های سیمان، باعث شده است که کاربرد این کنتورها عمدتاً به جریان‌های فرعی، آزمایشگاه‌های کالیبراسیون یا صنایع خاص با ارزش افزوده بسیار بالا محدود شود. بنابراین، در حال حاضر و در آینده قابل پیش‌بینی، راه‌حل اصلی برای مشکل اختلاف اندازه‌گیری در مصارف عمده، همچنان درک صحیح، تطبیق و مدیریت همان کنتورهای حجمی متداول و تجهیزات تصحیح‌گر همراه آنها خواهد بود.

امروزه اندازه‌گیری فشار مطلق به طور مستقیم و با دقت بالا توسط ترانسمیترهای دیفرانسیلی فشار مطلق انجام می‌شود و مستقیماً می‌تواند در کنتور اعمال شود (ترانسمیترها و گیج‌های معمولی اختلاف فشار را اندازه می‌گیرند و نه برخلاف تصور عامه فشار مطلق را). عمدتاً در بسیاری از سیستم‌ها هنوز فشار محیط بصورت دستی در اصلاح‌گر وارد می‌شود و همان‌گونه که اشاره شد فشار مطلق برابر حاصل جمع فشار نسبی با فشار محیط می‌باشد. در مصارف خانگی اصلاً اصلاح‌گری وجود ندارد. در مناطق ساحلی و شرعی، در صورتی که فشار محیط به صورت دستی در اصلاح‌گر وارد شود و میزان واقعی رطوبت لحاظ نگردد، افزایش رطوبت محیط موجب کاهش حجم اندازه‌گیری شده در اصلاح‌گر خواهد شد، زیرا بخار آب بخشی از فشار کل را اشغال کرده و فشار مؤثر گاز خشک را کاهش می‌دهد. در این حالت، خطای اندازه‌گیری حجم گاز می‌تواند بین ۱ تا ۳ درصد متغیر باشد (با فرض دمای ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و فشار کل حدود ۲ بار). از این رو توصیه می‌شود در مناطق مرطوب از ترنسمیترهای فشار دیفرانسیلی و حسگرهای دمای دقیق استفاده شود تا اثر رطوبت بالا بر محاسبات حجم به حداقل برسد. البته این خطا در صورتی که هر دو کنتور شرکت گاز و کارخانه از یک نوع باشند، قابل مشاهده نیست؛ چون فشار محیط به یک نسبت در هر دو کنتور تغییر می‌کند (قبلاً محاسبه کردیم تفاوت دو استاندارد نرمال متر مکعب و استاندارد متر مکعب در شرایط کاملاً خشک حدود ۴,۳ درصد است).

ضمیمه ۲- کنتورهای جرمی: راه‌حلی مدرن با چالش‌های خاص

در کنار کنتورهای رایج حجمی (توربینی، اولتراسونیک و ...)، فناوری‌های دیگری وجود دارند که مستقیماً جرم گاز (بر حسب کیلوگرم یا تن) را اندازه‌گیری می‌کنند. از مهم‌ترین این فناوری‌ها می‌توان به کنتورهای کوریولیس اشاره کرد.

مزایای کلیدی:

۱- حذف وابستگی به پارامترهای فیزیکی: این کنتورها به‌طور ذاتی جرم گاز را بدون تأثیرپذیری از تغییرات دما، فشار یا چگالی اندازه می‌گیرند. در نتیجه، نیازی به دستگاه تصحیح‌گر و محاسبات پیچیده برای تبدیل به شرایط استاندارد ندارند.

۲- دقت بسیار بالا: در شرایط ایده‌آل، این کنتورها از دقت