



جمهوری اسلامی ایران
Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran



استاندارد ملی ایران

۱۳۳۷۵

چاپ اول

ISIRI

13375

1st. Edition

معیار بازده خالص در واحدهای تبدیل کننده
سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی
(نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و
به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به
طور هم‌زمان (CHP)

Net efficiency criteria in fossil fuel power
plant and combined heat and power
(CHP) systems

ICS: 27 ; 29.020

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۰۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است.

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود. پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادات در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود. پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند در کمیته ملی طرح و بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می دهد به تصویب رسیده باشد. سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین المللی بهره گیری می شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عبار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد
" معیار بازده خالص در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی
(نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی
به طور هم‌زمان (CHP) "

رئیس:

بهزاد ، محمد

(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

دبیر:

صادق زاده ، محمد

(دکترای تخصصی مهندسی برق - قدرت)

اعضاء: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

ابوئی مهریزی، ایرج

(لیسانس مهندسی برق - قدرت)

احمدی زاده ، عبدالامیر

(فوق لیسانس مهندسی برق قدرت)

افتخاری ، سیدمحسن

(فوق لیسانس مدیریت اجرایی)

بشیری، فرید

(فوق لیسانس مدیریت اجرایی)

پور حیدری، کوروس

(لیسانس مهندسی مکانیک)

حامد، هایده

(لیسانس شیمی)

سبحانی سنندجی ، بابک

(فوق لیسانس مهندسی مکانیک تبدیل انرژی)

سمت و/ یا نمایندگی

معاون وزیر نیرو در امور برق و انرژی

عضو هیئت علمی دانشگاه شاهد

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

وزارت نیرو (شرکت توانیر)

نیروگاه اصفهان

نیروگاه دماوند

شرکت قدس نیرو

شرکت قدس نیرو

شرکت بهینه سازی مصرف سوخت

سلطانی حسینی، مسعود
(فوق لیسانس مهندسی مکانیک تبدیل انرژی)

پژوهشگاه نیرو

صالحیان پیرمرد، عباس محمد
(لیسانس مهندسی مکانیک)

وزارت نیرو - دفتر استانداردهای فنی،
مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی

عدالتی، ابوالفضل
(فوق لیسانس محیط زیست)

سازمان حفاظت محیط زیست

عربی، امیر حسین
(فوق لیسانس مهندسی مکانیک)

وزارت نیرو - دفتر استانداردهای فنی،
مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی

عفت نژاد، رضا
(دکترای مهندسی برق)

وزارت نیرو - دفتر استانداردهای فنی،
مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی

عمرانی، مهدی
(لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت قدس نیرو

فرهور، علی
(لیسانس مهندسی برق - قدرت)

نیروگاه شازند

قزلباش، پرچهر
(لیسانس فیزیک کاربردی)

مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران

قصبه، کاووس
(دکترای مهندسی برق)

شرکت قدس نیرو

مظفری گودرزی، علی
(فوق لیسانس مهندسی برق - قدرت)

وزارت نیرو - دفتر استانداردهای فنی،
مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی

نبی زاده، مرتضی
(لیسانس مهندسی مکانیک)

شرکت قدس نیرو

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ب	آشنایی با سازمان ملی استاندارد
ج	کمیسیون فنی تدوین استاندارد
ز	پیش گفتار
ح	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ معیار بازده خالص در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم‌زمان (CHP)
۳	۵ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم زمان (CHP)
۴	قسمت اول: تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های بخاری
۴	۱ هدف و دامنه کاربرد
۴	۲ اصطلاحات و تعاریف
۶	۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای بخاری
۹	۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله
۱۱	شکل ۱- نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه بخاری
۱۳	قسمت دوم: تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های گازی
۱۳	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱۳	۲ اصطلاحات و تعاریف
۱۶	۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای گازی
۱۹	۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله
۲۰	شکل ۲- نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه گازی
۲۲	قسمت سوم: تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی
۲۲	۱ هدف و دامنه کاربرد
۲۲	۲ اصطلاحات و تعاریف

ادامه فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۲۶	۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای سیکل ترکیبی
۲۹	۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله
۳۱	شکل ۳- نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه سیکل ترکیبی
۳۳	قسمت چهارم: تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)
۳۳	۱ هدف و دامنه کاربرد
۳۳	۲ اصطلاحات و تعاریف
۳۴	شکل ۴- نمودار شماتیک مرز سیستم CHP
۳۹	۳ تعیین بازده خالص کلی سیستم (CHP)
۴۳	۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله
۴۵	شکل ۵- نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)

پیش گفتار

استاندارد "معیار بازده خالص در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم‌زمان (CHP) " که بوسیله وزارت نیرو، معاونت امور انرژی - دفتر بهینه سازی مصرف انرژی تهیه و تدوین شده و در کمیته تصویب معیارهای مصرف انرژی وزارت نیرو مورخ ۸۹/۱۰/۲۸ مطابق مواد قانونی بند (الف) ماده ۱۲۱ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران و مصوبات یکصد و دومین شورای عالی استاندارد مورخ ۸۱/۳/۵ به تصویب رسیده است، اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات سازمان ملی استاندارد ایران مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ بعنوان استاندارد ملی ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت بنابراین، باید همواره از آخرین تجدیدنظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منابع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

- 1- ISO 2314-Gas Turbine-Acceptance Tests
- 2-ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Performance Plant
- 3 -ASME PTC 22- 1997- Performance Test Code on Gas Turbines
- 4 - PURPA(Public Utility Regulatory Act)§292.205-

- ۵- عفت نژاد، رضا و همکاران، پروژه تعیین معیار راندمان و مصرف انرژی در نیروگاه‌های حرارتی (در شش فصل و منابع خارجی مندرج در گزارش‌های پروژه، دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی وزارت نیرو با مشاوره شرکت مهندسی قدس نیرو، ۱۳۸۵.
- ۶- عفت نژاد، رضا و همکاران، بازدیدهای میدانی از نیروگاه‌ها و اطلاعات کسب شده از آنها، دفتر استانداردهای فنی، مهندسی، اجتماعی و زیست محیطی وزارت نیرو با مشاوره شرکت مهندسی قدس نیرو، ۱۳۸۵.

مقدمه

محدود بودن منابع سوخت فسیلی، سهم بالای آنها در تأمین انرژی مورد نیاز، اثرات سوء زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی، بهای فرآورده‌های نفتی و امکان صادرات آنها، پرداخت یارانه‌های انرژی توسط دولت، الزام و غیر قابل اجتناب بودن هدفمند کردن آنها، از جمله عواملی می‌باشند که مدیریت مصرف انرژی و افزایش بازده مصرف سوخت در صنایع مصرف کننده را ضروری می‌سازند.

طبق ماده ۱۲۱ قانون برنامه سوم توسعه اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، دولت موظف است به منظور صرفه جوئی در مصرف انرژی و حفاظت از محیط زیست نسبت به تهیه و تدوین معیارهای و مشخصات فنی مرتبط با مصرف انرژی در تجهیزات، فرایندها و سیستم‌های مصرف کننده انرژی اقدام نماید.

نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی واحدهایی برای تبدیل انرژی حرارتی حاصل از احتراق سوخت فسیلی به انرژی الکتریکی می‌باشند، و سهم قابل توجهی از کل مصرف سوخت در کشور را به خود اختصاص می‌دهند. در واحدهای موسوم به ¹ (CHP) نیز، که در آنها فرآیند تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی، با هدف افزایش بازده مصرف سوخت انجام می‌پذیرد، سوخت فسیلی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

کاهش بازده حرارتی در این واحدهای مصرف کننده سوخت، حتی به میزان ظاهراً "ناچیز"، در کل منجر به افزایش قابل ملاحظه مصرف سوخت در کشور می‌گردد. بنابراین بسیار ضروری است که معیار بازده حرارتی برای نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی و همچنین واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی کشور (CHP) تعیین گردد، تا به این ترتیب جایگاه هر واحد تبدیل سوخت فسیلی به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی با توجه به شاخص تعیین شده، مشخص گردد.

در نیروگاه‌های حرارتی با سوخت فسیلی، انرژی حرارتی ایجاد شده طی فرآیند احتراق سوخت به انرژی الکتریکی تبدیل می‌گردد. این تبدیل انرژی طی چرخه‌های ترمودینامیکی مختلفی می‌تواند انجام پذیرد. در نیروگاه‌های بخاری، طی چرخه رانکلین، در نیروگاه‌های گازی طی چرخه برایتون و در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، ترکیبی از این دو چرخه.

نظر به تفاوت بازده ایده‌آل در هریک از این چرخه‌های ترمودینامیکی، نه تنها انتظار می‌رود که بازده برای هریک از انواع نیروگاه‌های حرارتی متفاوت باشد، بلکه با توجه به طراحی‌های متفاوت هریک از اجزاء اصلی تأثیرگذار بر بازده واحد در هر نیروگاه خاص، و همچنین موقعیت مکانی استقرار نیروگاه و به تبع آن شرایط مختلف محیطی که بر بازده واحدهای نیروگاهی تأثیرگذار است، معیار بازده مورد انتظار برای هر نیروگاه نیز متفاوت می‌باشد.

علاوه بر موارد فوق عوامل دیگری شامل عمر نیروگاه، کیفیت تکنولوژی و تجهیزات هر نیروگاه، و امکانات بهره‌برداری و نگهداری از نیروگاه بر بازده حرارتی واحد تأثیرگذار می‌باشند:

در مورد واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) نیز همین گونه است. روش تولید

انرژی الکتریکی و در نتیجه میزان انرژی حرارتی مورد دفع به منبع سرد، روش و میزان بازیافت این انرژی حرارتی و سایر عوامل مؤثر برشمرده برای بازده حرارتی نیروگاه‌ها، در اینجا نیز بر بازده مورد انتظار از هریک از واحدهای (CHP) تأثیر گذار خواهد بود.

نظر به تفاوت در فناوری تولید در هر یک از نیروگاه‌های بخار، گازی و سیکل ترکیبی و در نتیجه وجود تفاوت در نحوه تعیین بازده در هر یک از این نیروگاه‌ها و همچنین روش تعیین بازده واحدهای (CHP)، این استاندارد شامل یک قسمت اصلی برای تعیین شاخص مصرف سوخت در نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی و واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی، و چهار قسمت مجزا، برای تعیین روش اندازه‌گیری بازده حرارتی در هر یک از انواع نیروگاه گازی، بخاری و سیکل ترکیبی و همچنین واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) می‌باشد.

معیار بازده خالص در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم‌زمان (CHP)

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد تعیین معیار بازده خالص حرارتی، برای نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی (نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی) و واحدهای تبدیل کننده سوخت فسیلی به انرژی الکتریکی و حرارتی به طور هم‌زمان (CHP) است. در این استاندارد چگونگی اندازه‌گیری بازده در چهار قسمت مجزا برای نیروگاه‌های بخار، نیروگاه‌های گازی و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی و واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) مشخص می‌شود. این چهار قسمت در چهار پیوست این استاندارد آمده است.

۲-۱ دامنه کاربرد

این استاندارد برای تعیین بازده خالص حرارتی کلیه نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی (نیروگاه‌های بخاری، گازی و سیکل ترکیبی) و واحدهای تبدیل کننده سوخت فسیلی به انرژی الکتریکی و حرارتی به طور هم‌زمان (CHP)، برای واحدهای در حال بهره‌برداری و واحدهایی که در آینده مورد بهره‌برداری خواهند گرفت، کاربرد دارد.

۲ مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد محسوب می‌شود. در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدرکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظرها و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است. استفاده از مراجع زیر برای کاربرد این استاندارد الزامی است :

2-1 ASME PTC PM- 1993- Performance Monitoring Guidelines for Steam Plants

2-2 ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Plant Performance

2-3 ASME PTC 22- 1997- Performance Test Code on Gas Turbines

2-4 ISO 2314-Gas Turbine-Acceptance Tests -1988-Revised 2009

2-5 Code of Federal Regulation -PURPA (Public Utility Regulatory Act) section 292.205 – Criteria for Qualifying Cogeneration Facilities-2010-04-01

2-6 ASTM D 1480 Standard Test Method for Density, Density and Specific Gravity of viscous material by Bingham Pycnometer-Edition 2007

2-7 ASTM D 4809-00 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter-Edition 2009

2-8 ASTM D7164-05 Standard Practice for Online/At-Line Heating Valve Determination of gaseous Fuel by gas Chromatography- Edition 2010

2-9 ASTM 3588-98 (2003) - Standard Practice for Calculating Heat Valve, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous fuels .

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف به تناسب در هر یک از چهار قسمت مجزایی که قبلاً به آن اشاره شد، ارائه می شود.

۴ معیار بازده خالص حرارتی در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم زمان (CHP)

معیار بازده خالص حرارتی برای نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی و واحدهای تبدیل کننده سوخت فسیلی به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم‌زمان (CHP)، طبق دسته‌بندی مندرج در جدول شماره ۱ تعریف و با η نمایش داده می‌شود.

جدول ۱ - معیار بازده خالص حرارتی در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم‌زمان (CHP)

معیار بازده خالص حرارتی (بر حسب درصد)						
A	B	C	D	E	F	G
$\eta \geq 60$	$50 \leq \eta < 60$	$45 \leq \eta < 50$	$40 \leq \eta < 45$	$35 \leq \eta < 40$	$30 \leq \eta < 35$	$25 \leq \eta < 30$

یادآوری ۱ - هیچ واحدی با بازده حرارتی کمتر از ۲۵٪ مجاز به بهره‌برداری نمی‌باشد.

یادآوری ۲ - کلیه واحدهایی که از تاریخ اعلام اجرای اجباری این استاندارد مجوز احداث کسب می‌نمایند باید بازده حرارتی آنها در رتبه D و یا بیشتر قرار گیرد.

یادآوری ۳ - متوسط بازده حرارتی سالیانه هر واحد، با رتبه‌بندی جدول ۱ مقایسه می‌گردد.

۵ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای تبدیل کننده سوخت‌های فسیلی به انرژی الکتریکی (نیروگاه‌های حرارتی سوخت فسیلی) و به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی به طور هم زمان (CHP)

شیوه محاسبه بازده خالص حرارتی در چهار قسمت مجزا برای نیروگاه‌های بخاری، نیروگاه‌های گازی، نیروگاه های سیکل ترکیبی و واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی که به ترتیب در قسمت های ۱ تا ۴ این استاندارد آمده اند، توضیح داده می شود.

قسمت اول:

تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های بخاری

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین این قسمت از استاندارد، بیان چگونگی اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی در نیروگاه‌های بخاری و تعیین آن می‌باشد.

۲-۱ دامنه کاربرد

تعیین بازده خالص حرارتی کلیه واحدهای نیروگاه‌های بخاری در دامنه کاربرد این استاندارد قرار می‌گیرد.

۲ اصطلاحات و تعاریف

در این قسمت از استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۲ بازده خالص حرارتی واحد

بازده خالص حرارتی واحد عبارت است از نسبت انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد به کل حرارت ورودی به بویلر و یا به عبارت دیگر توان خالص خروجی ژنراتور واحد به نرخ حرارت ورودی به بویلر.

$$\text{بازده خالص حرارتی واحد} = \frac{\text{انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد (kWh)} \times 3600}{\text{حرارت ورودی به بویلر (kJ)}}$$

و یا

$$= \frac{\text{توان خالص خروجی ژنراتور واحد (kW)}}{\text{نرخ حرارت ورودی به بویلر (kJ/s)}}$$

۲-۲ انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد

انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد عبارت است از انرژی ناخالص خروجی از ژنراتور واحد منهای مصارف داخلی انرژی الکتریکی واحد و سیستم تحریک ژنراتور، بر حسب kWh

۳-۲ توان خالص خروجی ژنراتور واحد

توان خالص خروجی ژنراتور واحد عبارت است از توان ناخالص خروجی ژنراتور واحد منهای توان مصرفی واحد و سیستم تحریک ژنراتور، بر حسب kW

۴-۲ حرارت ورودی به بویلر

حرارت ورودی به بویلر عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در بویلر که به صورت زیر محاسبه می‌شود :

برای سوخت مایع و گاز :

$$(KJ) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت ورودی به بویلر (kJ)}$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (۲۵°C) متفاوت باشد در این شرایط حرارت ورودی به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت ورودی به بویلر (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت مایع } \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری } \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{25}: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^\circ C \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (۱۵°C و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط حرارت ورودی به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت ورودی به بویلر (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت گاز } \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری } \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{g,b}: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (} 15^\circ C \text{ و یک اتمسفر)} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

۵-۲ نرخ حرارت ورودی به بویلر

نرخ حرارت ورودی به بویلر عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در واحد زمان (s) که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

برای سوخت مایع و گاز :

$$\left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right) \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت ورودی به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (25°C) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت ورودی به بویلر از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت ورودی به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp : حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت مایع} \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{25} : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}\text{C} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (15°C) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط حرارت ورودی به بویلر از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت ورودی به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp : حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت گاز} \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{g,b} : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد} (15^{\circ}\text{C} \text{ و یک اتمسفر}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

۲-۶ ارزش حرارتی پایین سوخت

برای سوخت مایع و گاز، ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت به حرارت حاصل از احتراق واحد جرم سوخت در فشار ثابت اطلاق می گردد در شرایطی که تمامی آب حاصل، طی فرایند احتراق در فاز بخار

مانده باشد و واحد آن $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ یا $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ می باشد.

۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای بخاری

جهت محاسبه بازده خالص حرارتی در واحدهای بخاری از دو روش می توان استفاده نمود.

- روش مستقیم انرژی ورودی و خروجی (Input-Output) که رابطه آن در بند ۲-۱ توضیح داده شده است.
 - روش تعیین تلفات انرژی برای قسمت‌های مختلف واحد بخار شامل بویلر، سیکل، توربین ژنراتور و مصرف انرژی الکتریکی در واحد و سیستم تحریک و محاسبه خالص انرژی خروجی با کسر کل این تلفات از انرژی ورودی به بویلر
- جهت تعیین راندمان بر اساس هر کدام از این دو روش، آخرین بازنگری استانداردهای زیر جهت رعایت کامل شرایط آزمایش، روش آزمون، اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیرها، ارائه نتیجه و ... باید مورد استناد قرار گیرند.
- ASME PTC PM- 1993- Performance Monitoring Guidelines for Steam Plants
 - ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Plant Performance
- تعیین بازده در این استاندارد بر اساس روش اول بوده و شیوه اندازه‌گیری بازده به این روش، شامل شرایط آزمایش، پارامترها و اطلاعات مورد نیاز، اندازه‌گیری‌ها، محاسبات، و ... به اختصار در این قسمت توضیح داده شده و بسته به مورد، مراجع لازم به منظور رجوع معرفی می‌گردند.

۳-۱ دفعات و مدت زمان آزمایش

در تعیین بازده واحد، به منظور بالا رفتن حد دقت و اطمینان از نتیجه آزمایش، توصیه می‌گردد تا تعداد دفعات آزمایش بیش از یک بار باشد. همچنین توصیه می‌شود تا مدت زمان آزمایش کمتر از دو ساعت نباشد.

۳-۲ اطلاعات مورد نیاز

همانطور که رابطه مذکور در بند ۲-۱ نشان می‌دهد برای اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی واحد، اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- انرژی خالص خروجی از ژنراتور (kWh) / توان خالص خروجی ژنراتور (kW)
- میزان مصرف سوخت مایع / گاز (Kg) و یا نرخ مصرف سوخت مایع / گاز ($\frac{Kg}{S}$)
- ارزش حرارتی سوخت مایع / گاز ($\frac{KJ}{Kg}$)

یادآوری - به منظور مقایسه و ارزیابی بازده محاسبه شده نسبت به بازده واحد مطابق طراحی، علاوه بر این اطلاعات، در دسترس بودن اطلاعات سازنده واحد، شامل منحنی تغییرات بار و بازدهی با تغییرات دما، فشار و رطوبت ضروری است تا نتایج آزمایش به شرایط مرجع مشخص شده اصلاح گردد.

۳-۳ اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری موارد ذکر شده در بند ۳-۲ و همچنین پارامترهای دیگری که برای اندازه‌گیری آنها و سایر شرایط آزمایش ضروری است، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را در انجام آزمایش بازده تشکیل می‌دهد. مجموعه این اندازه‌گیری‌ها و مشخصات فنی کامل هر یک از تجهیزات اندازه‌گیری به تفصیل در قسمت ۵ از استاندارد ASME PTC PM-1993 و قسمت ۴ از استاندارد ASME PTC 46-1996 توضیح داده شده‌اند. در اندازه‌گیری بازده واحد، باید اندازه‌گیری‌ها مطابق مشخصات توضیح داده شده در این بندها انجام پذیرد.

در بندهای ذیل به اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اشاره می‌شود.

۱-۳-۳ اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتور

جهت اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتور، توان/ انرژی خروجی ناخالص ژنراتور و توان/ انرژی مصرف داخلی نیروگاه، از اندازه‌گیری‌هایی که به ترتیب در مسیرهای خروجی از ژنراتور و انشعاب مصارف داخلی نیروگاه منصوب هستند، خوانده شده و از اختلاف آن‌ها توان/ انرژی خروجی خالص ژنراتور مشخص می‌گردد. چنانچه اندازه‌گیر توان/ انرژی در ورودی به ترانس اصلی وجود داشته باشد مستقیماً می‌توان از عدد خوانده شده از این اندازه‌گیر استفاده نمود.

حد دقت و مشخصات این اندازه‌گیرها لازم است با آنچه که در بند ۵-۲ از قسمت ۵ دستورالعمل (ASME PTC PM-1993) با عنوان Performance Monitoring Guidelines for steam Power Plants مشخص شده است، تطبیق داشته باشد. در غیر اینصورت باید تا اندازه‌گیری‌های موقت که با حد دقت قید شده در دستورالعمل فوق مطابقت داشته باشند، نصب گردند. کالیبره تجهیزات اندازه‌گیر نیز باید مطابق توضیحات مندرج در بند ۵-۲ از دستورالعمل فوق انجام پذیرد.

۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع و گاز

۱-۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت مایع در بویلر از اندازه‌گیری‌های شدت جریان سوخت مایع/ کنتور سوخت نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت مایع به بویلر استفاده می‌گردد. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در نیروگاه، باید کالیبراسیون آنها مطابق با دستورالعمل سازنده صورت پذیرد. اعداد به دست آمده از اندازه‌گیر شدت جریان سوخت/ میزان سوخت، شدت جریان حجمی/ میزان حجمی سوخت هستند. در محاسبه بازده نیروگاه نیاز به شدت جریان/ میزان جرمی سوخت می‌باشد. بنابراین باید دانسیته سوخت مشخص باشد. دانسیته مطابق روش آزمایش زیر اندازه‌گیری می‌شود.

ASTM D -1480 Standard Test Method for Density, Density and Specific Gravity of viscous material by Bingham Pycnometer

۲-۲-۳-۳ میزان / نرخ مصرف سوخت گاز

برای مشخص شدن نرخ / میزان مصرف سوخت گاز در بویلر از اندازه‌گیری‌های شدت جریان سوخت گاز/ کنتور گاز نصب شده در مسیر ورودی گاز طبیعی به بویلر استفاده می‌گردد. این اندازه‌گیری‌های جریان می‌توانند از نوع ارفیسی و یا توربینی باشند. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در واحد، باید کالیبراسیون این ادوات اندازه‌گیری مطابق با دستورالعمل سازنده انجام پذیرد. دما در حین اندازه‌گیری باید مشخص گردد. خطای اندازه‌گیری نباید از $\pm 0.8\%$ بیشتر باشد. استفاده از سایر انواع اندازه‌گیر جریان گاز به شرط خطای کمتر از $\pm 0.8\%$ امکان‌پذیر است.

۳-۳-۳ ارزش حرارتی سوخت

ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت، یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز در انجام محاسبات مربوط به بازده حرارتی واحد می باشد.

۱-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت مایع

برای محاسبه ارزش حرارتی پائین سوخت در فشار ثابت، براساس استاندارد

ASTM D 4809-00 Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter.

ارزش حرارتی بالای سوخت در حجم ثابت اندازه گیری شده و ارزش حرارتی پایین سوخت طبق روش مندرج در پیوست D دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) محاسبه می شود.

۲-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت گاز

ارزش حرارتی پائین سوخت گاز طبیعی براساس روش آزمایش مندرج در استانداردهای زیر تعیین می گردد.

- ASTM D7164-05 Standard Practice for Online/At-Line Heating Valve Determination of gaseous Fuel by gas Chromatography

- ASTM 3588-98 (2003)- Standard Practice for Calculating Heat Valve, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous fuels .

روش انجام محاسبات در پیوست E دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) آمده است.

۴-۳ ارزیابی نتایج آزمایش

در هر نوبت آزمایش، بازده واحد از متوسط گیری نتایج آزمایش هایی که شرایط آن در بند ۳-۱ توضیح داده شد، به دست خواهد آمد.

۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله

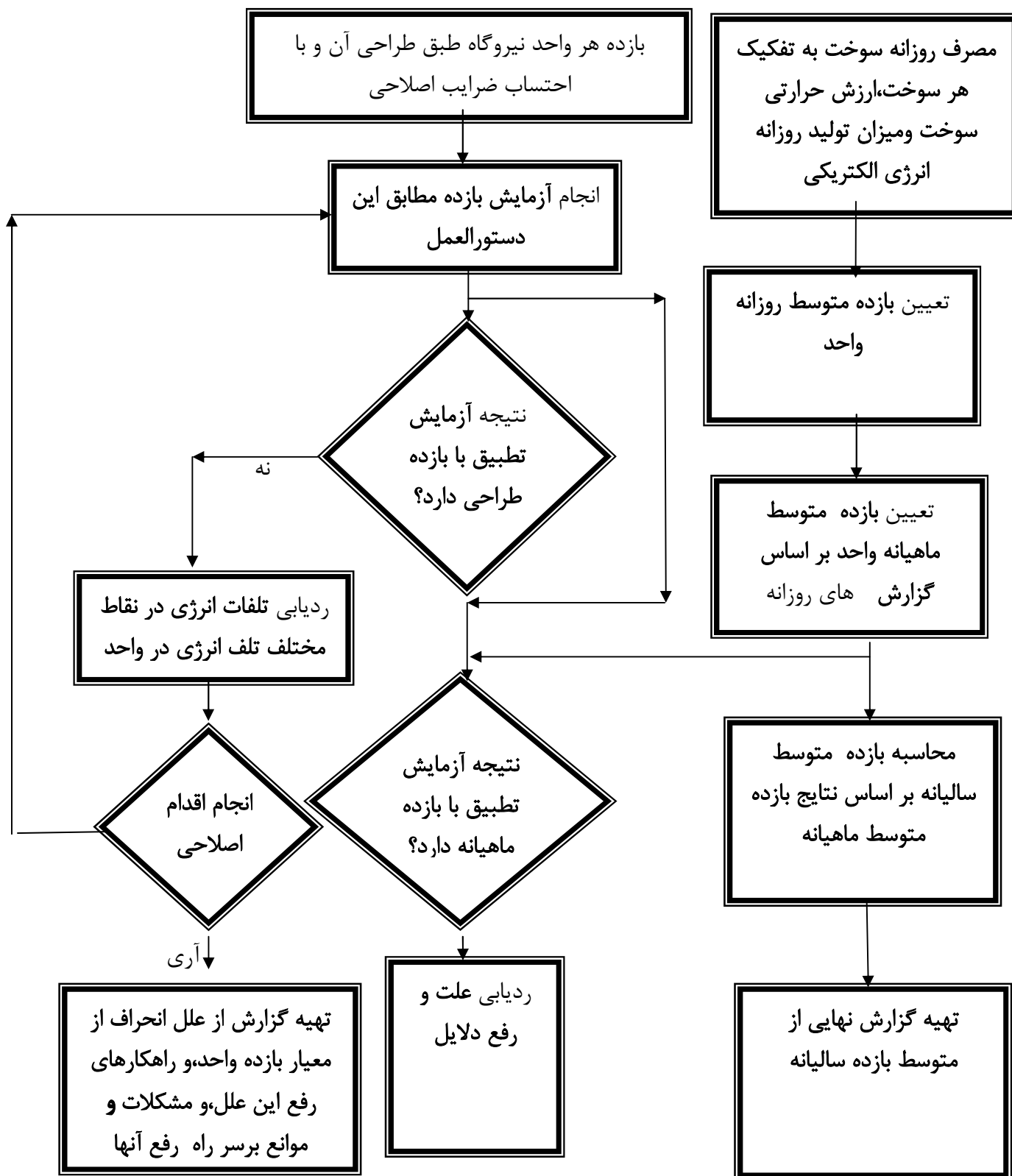
باتوجه به اینکه در نهایت، ارزیابی بازده واحد در یک دوره یک ساله مورد نظر است، لذا باید در طی سال بازده به دو صورت محاسبه گردد:

- محاسبه بازده بر اساس شیوه توضیح داده شده در بند ۳، حد اقل دو نوبت در سال، به منظور ارزیابی صحت بازده ای که به عنوان میانگین ماهیانه واحد محاسبه می گردد.
- تعیین بازده سالیانه، بر اساس متوسط بازده ماهیانه که بر اساس توضیح بند ۲-۱ و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

۳۶۰۰× کل انرژی الکتریکی خالص تولید شده در واحد در طی ماه (kWh)

$$\text{متوسط بازده حرارتی در ماه} = \frac{(\text{ارزش حرارتی پایین سوخت گاز}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times (\text{مصرف گاز در طول ماه (Kg)}) + (\text{ارزش حرارتی پایین سوخت مایع}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times (\text{مصرف سوخت مایع در طول ماه (Kg)})}{\text{ماه (Kg)}}$$

باید به منظور تعیین متوسط سالیانه بازده و همچنین ردیابی دلایل انحراف منفی از بازده طراحی و رفع این انحراف، مراحل طبق نمودار شکل ۱ طی گردد.



شکل ۱ - نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه بخاری

برای مقایسه بازده واحد با بازده طراحی، باید در گزارش‌های روزانه پارامترهای زیر با دقت و صحت اندازه‌گیری و گزارش شوند.

- متوسط دمای روزانه؛
- متوسط فشار روزانه؛
- متوسط رطوبت روزانه؛
- میزان مصرف سوخت به تفکیک برای هر نوع سوخت مصرف شده؛
- متوسط بار واحد؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت مایع، دفعات بنا به تشخیص بهره‌بردار؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت گاز دو یا سه بار در ماه.

۱ - محاسبه متوسط دمای ماهیانه بر اساس متوسط دمای روزانه به منظور تعیین ارزش حرارتی سوخت در دمای واقعی ضروری می‌باشد (به بند ۲-۵ مراجعه شود).

قسمت دوم:

تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های گازی

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین این قسمت از استاندارد، بیان چگونگی اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی در نیروگاه‌های گازی و تعیین آن می‌باشد.

۱-۲ دامنه کاربرد

تعیین بازده خالص حرارتی کلیه واحدهای نیروگاه‌های گازی در دامنه کاربرد این استاندارد قرار می‌گیرد.

۲ اصطلاحات و تعاریف

در این قسمت از استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۲ بازده خالص حرارتی واحد

بازده خالص حرارتی واحد عبارت است از نسبت انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد، به کل حرارت وارد شده به توربین گاز و یا به عبارت دیگر توان خالص خروجی ژنراتور واحد به نرخ حرارت وارده به توربین گاز.

$$\text{بازده خالص حرارتی واحد} = \frac{\text{انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد (kWh)} \times 3600}{\text{حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)}}$$

و یا

$$= \frac{\text{توان خالص خروجی ژنراتور واحد (kW)}}{\text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ/s)}}$$

۲-۲ انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد

انرژی خالص خروجی ژنراتور واحد عبارت است از انرژی ناخالص خروجی از ژنراتور واحد منهای مصارف داخلی انرژی الکتریکی واحد و سیستم تحریک ژنراتور، بر حسب kWh

۳-۲ توان خالص خروجی ژنراتور واحد

توان خالص خروجی ژنراتور واحد عبارت است از توان ناخالص خروجی ژنراتور واحد منهای توان مصرفی واحد و سیستم تحریک ژنراتور، بر حسب kW

۴-۲ حرارت داده شده به توربین گاز

حرارت داده شده به توربین گاز عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در محفظه احتراق توربین گاز که به صورت زیر محاسبه می شود :

برای سوخت مایع و گاز :

$$(Kg) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)}$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت مایع ($25^{\circ}C$) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت مایع} \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{25}: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}C \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت گاز ($15^{\circ}C$) و یک اتمسفر (متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت گاز} \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{g,b}: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (} 15^{\circ}C \text{ و یک اتمسفر)} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

۵-۲ نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز

نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در واحد زمان (s) که به صورت زیر محاسبه می شود:

برای سوخت مایع و گاز :

$$\left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right) \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (25°C) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت مایع} \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{25}: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}\text{C} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (15°C) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت گاز} \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{g,b}: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد} (15^{\circ}\text{C} \text{ و یک اتمسفر}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

۶-۲ ارزش حرارتی پایین سوخت (LHV)

برای سوخت مایع و گاز، ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت به حرارت حاصل از احتراق واحد جرم سوخت در فشار ثابت اطلاق می گردد در شرایطی که تمامی آب حاصل، طی فرایند احتراق در فاز بخار مانده

باشد و واحد آن $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ یا $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ می باشد.

۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای گازی

جهت محاسبه بازده خالص حرارتی در واحدهای گازی از دو روش زیر می‌توان استفاده نمود :

- روش مستقیم انرژی ورودی و خروجی (Input-Output) که رابطه آن در بند ۲-۱ توضیح داده شده است.

- روش غیر مستقیم با انجام محاسبات ترمودینامیکی به وسیله نوشتن موازنه حرارتی برای مجموعه حجم کنترل شده توربین گاز (توربین، کمپرسور، محفظه احتراق) و محاسبه توان شفت از رابطه بند ۸-۵ استاندارد ISO 2314.

با محاسبه توان شفت از این رابطه، توان خروجی ژنراتور، با ضرب توان شفت محاسبه شده در حاصلضرب بازدهی های ژنراتور و تجهیزات اصلی انتقال قدرت (Main Transmission Gearing)، استخراج شده از مدارک سازنده، به دست خواهد آمد.

جهت تعیین بازدهی بر اساس هر کدام از این دو روش، آخرین بازنگری استانداردهای زیر جهت رعایت کامل شرایط آزمایش، روش آزمایش، اندازه‌گیری‌ها و اندازه‌گیرها، ارائه نتیجه و ... باید مورد استناد قرار گیرند.

- ASME PTC 22- 1997- Performance Test Code on Gas Turbines

- ISO 2314-Gas Turbine-Acceptance Tests

تعیین بازده در این استاندارد بر اساس روش اول بوده و شیوه اندازه‌گیری بازده به این روش، شامل شرایط آزمایش، پارامترها و اطلاعات مورد نیاز، اندازه‌گیری‌ها، محاسبات و ... به اختصار در این قسمت توضیح داده شده و بسته به مورد، مراجع لازم به منظور رجوع معرفی می‌گردند.

۳-۱ دفعات و مدت زمان آزمایش

به منظور اندازه‌گیری بازده، آزمایش باید در سه نوبت متوالی که مدت زمان هر یک نباید کمتر از ۵ min و بیشتر از ۲۰ min باشد، انجام پذیرد. یعنی کل زمان آزمایش نباید کمتر از ۱۵ min و بیشتر از ۶۰ min باشد.

۳-۲ اطلاعات مورد نیاز

همانطور که رابطه مذکور در بند ۲-۱ نشان می‌دهد برای اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی واحد، اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- انرژی خالص خروجی از ژنراتور (kWh) / توان خالص خروجی ژنراتور (kW)

- میزان مصرف سوخت مایع/گاز (Kg) و یا نرخ مصرف سوخت مایع / گاز ($\frac{Kg}{S}$)

- ارزش حرارتی سوخت مایع / گاز ($\frac{KJ}{Kg}$)

یادآوری - به منظور مقایسه و ارزیابی بازده محاسبه شده نسبت به بازده واحد مطابق طراحی، علاوه بر این اطلاعات، در دسترس بودن اطلاعات سازنده واحد، شامل منحنی تغییرات بار و بازدهی با تغییرات دما، فشار و رطوبت ضروری است تا نتایج آزمایش به شرایط مرجع مشخص شده اصلاح گردد.

۳-۳ اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری موارد ذکر شده در بند ۴-۲ و همچنین پارامترهای دیگری که برای اندازه‌گیری آنها و سایر شرایط آزمایش ضروری است، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را در انجام آزمایش بازده تشکیل می‌دهد. مجموعه این اندازه‌گیری‌ها و مشخصات فنی کامل هر یک از تجهیزات اندازه‌گیری به تفصیل در بند ۴-۲ از استاندارد ASME PTC 22 و بند ۶-۲ از استاندارد ISO 2314 توضیح داده شده‌اند. در اندازه‌گیری بازده واحد، باید اندازه‌گیری‌ها مطابق مشخصات توضیح داده شده در این بندها انجام پذیرد. در بندهای ذیل به اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اشاره می‌شود.

۱-۳-۳ اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتور

جهت اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتور، توان/ انرژی خروجی ناخالص ژنراتور و توان/ انرژی مصرف داخلی واحد، از اندازه‌گیری‌هایی که به ترتیب در مسیرهای خروجی از ژنراتور و انشعاب مصارف داخلی واحد منصوب هستند، خوانده شده و از اختلاف آنها توان/ انرژی خالص ژنراتور مشخص می‌گردد. چنانچه اندازه‌گیر توان/ انرژی در ورودی به ترانس اصلی وجود داشته باشد مستقیماً می‌توان از عدد خوانده شده از این اندازه‌گیر استفاده نمود.

حد دقت و مشخصات این اندازه‌گیرها باید با آنچه که در بند ۴-۴ از قسمت ۴ دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) مشخص شده است تطبیق داشته باشد. در غیر اینصورت باید تا اندازه‌گیری‌های موقت که با حد دقت قید شده در دستورالعمل فوق مطابقت داشته باشند، نصب گردند. کالیبره تجهیزات اندازه‌گیر نیز باید مطابق توضیحات مندرج در بند ۴-۸ از دستورالعمل فوق انجام پذیرد.

۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع و گاز

۱-۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت مایع در توربین گاز از اندازه‌گیری‌های شدت جریان سوخت مایع / کنتور سوخت مایع نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت مایع به توربین گاز استفاده می‌گردد. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در نیروگاه، باید کالیبراسیون آنها مطابق با دستورالعمل سازنده صورت پذیرد. اعداد به دست آمده از اندازه‌گیر شدت جریان سوخت/ میزان سوخت، شدت جریان حجمی/ میزان حجم سوخت هستند. در محاسبه بازده نیروگاه نیاز به شدت جریان/ میزان جرمی سوخت می‌باشد. بنابراین باید دانسیته سوخت مشخص باشد. دانسیته برطبق روش آزمایش زیر اندازه‌گیری می‌شود.

ASTM D -1480 (Standard Test Method for Density, Density and Specific Gravity of viscous material by Bingham Pycnometer)

طبق بند ۴-۱۱-۵ از دستورالعمل ASME PTC 22-1997، مربوط به اندازه‌گیری شدت جریان حجمی سوخت، خطای محاسبه شدت جریان جرمی نباید از ۰/۸٪ بیشتر باشد. طبق همین بند از دستورالعمل فوق، چنانچه شدت جریان حجمی از کنتور اندازه‌گیر حجم سوخت به دست آید، مدت زمان بین قرائت حجم ابتدا و حجم انتها از ۴ min نباید کمتر باشد.

برای سایر موارد لازم در ارتباط با اندازه‌گیری مصرف سوخت مایع نیز به بند ۴-۱۱-۵ از این دستورالعمل مراجعه شود.

۳-۳-۲ میزان / نرخ مصرف سوخت گاز

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت گاز در توربین گاز از اندازه‌گیرهای شدت جریان سوخت گاز/کنتور گاز نصب شده در مسیر ورودی گاز طبیعی به توربین گاز استفاده می‌گردد. قبل از استفاده از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در واحد، باید کالیبراسیون این ادوات اندازه‌گیری مطابق با دستورالعمل سازنده انجام پذیرد. طبق بند ۴-۱۲-۳ از دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) چنانچه شدت جریان حجمی، از کنتور اندازه گیر حجم گاز به دست آید مدت زمان بین قرائت حجم ابتدا و حجم انتها از ۴ min نباید کمتر باشد. برای سایر موارد لازم در ارتباط با اندازه‌گیری مصرف سوخت گاز نیز به بند ۴-۱۲-۳ از این دستورالعمل مراجعه شود.

۳-۳-۳ ارزش حرارتی سوخت

ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت، یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز در انجام محاسبات مربوط به بازده حرارتی واحد می‌باشد.

۳-۳-۳-۱ ارزش حرارتی پائین سوخت مایع

برای محاسبه ارزش حرارتی پائین سوخت مایع در فشار ثابت، براساس استاندارد ASTM D 4809-00 (Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter) ارزش حرارتی بالای سوخت در حجم ثابت اندازه‌گیری شده، و ارزش حرارتی پایین سوخت طبق روش مندرج در پیوست D دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) محاسبه می‌شود.

۳-۳-۳-۲ ارزش حرارتی پائین سوخت گاز

ارزش حرارتی پائین سوخت گاز طبیعی براساس روش آزمایش مندرج در استانداردهای زیر تعیین می‌گردد.

- ASTM D7164-05 Standard Practice for Online/At-Line Heating Valve Determination of gaseous Fuel by gas Chromatography
- ASTM 3588-98 (2003) - Standard Practice for Calculating Heat Valve, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous fuels .

روش انجام محاسبات در پیوست E دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) آمده است.

۳-۴ ارزیابی نتایج آزمایش

بازده واحد از متوسط‌گیری نتایج سه آزمایش که شرایط آن در بند ۳-۱ توضیح داده شده، به دست خواهد آمد.

۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله

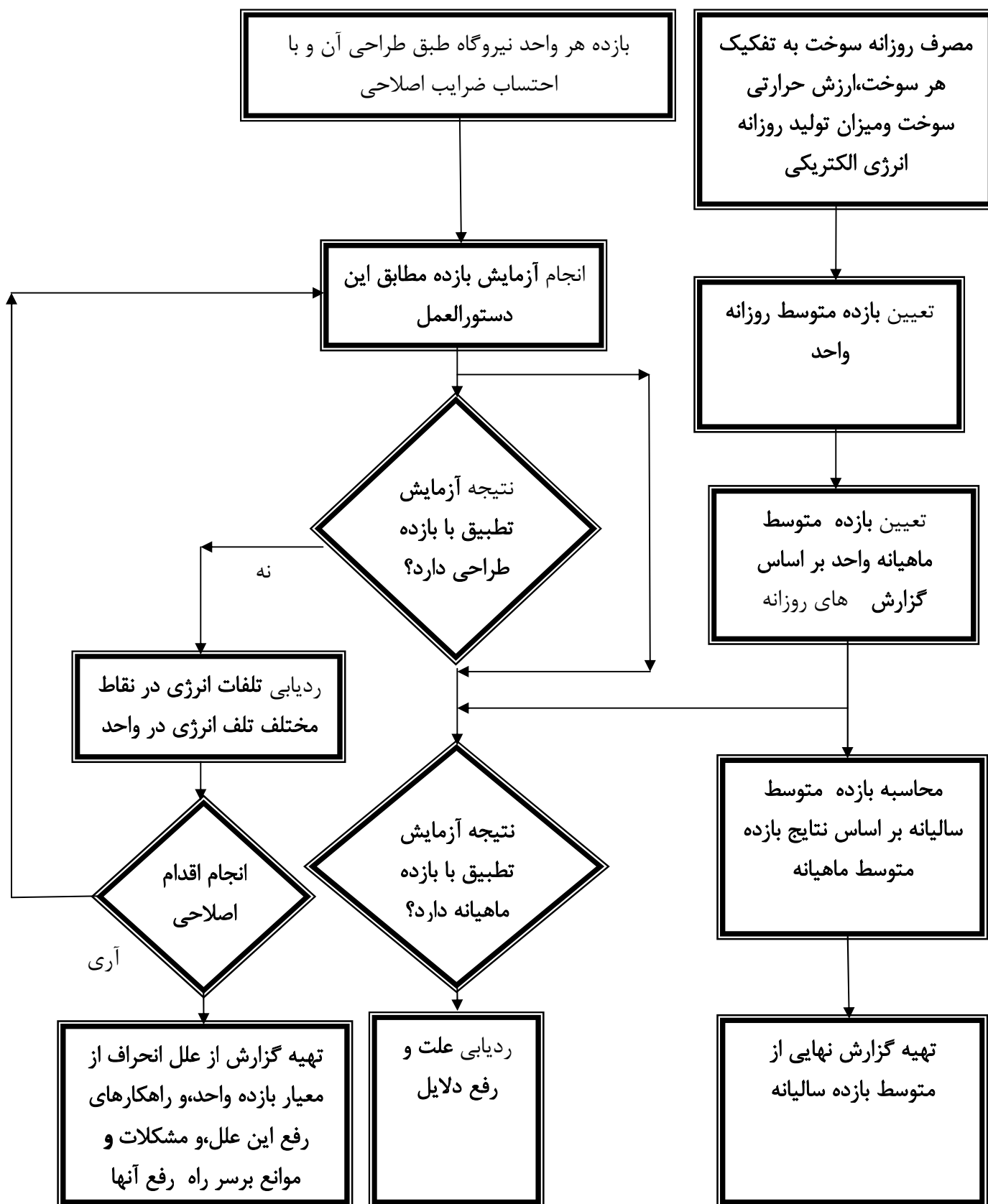
باتوجه به اینکه در نهایت، ارزیابی بازده واحد در یک دوره^۲ یک ساله مورد نظر است، لذا باید در طی سال بازده به دو صورت محاسبه گردد:

- محاسبه بازده بر اساس شیوه توضیح داده شده در بند ۳، حد اقل دونوبت در سال و به منظور ارزیابی صحت بازده‌ای که به عنوان میانگین ماهیانه واحد محاسبه می‌گردد.
- تعیین بازده سالیانه، بر اساس متوسط بازده ماهیانه که بر اساس توضیح بند ۲-۱ و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$3600 \times \text{کل انرژی الکتریکی خالص تولید شده در واحد در طی ماه (kWh)}$

$$\text{متوسط بازده حرارتی در ماه} = \frac{\text{ارزش حرارتی پایین سوخت گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times \text{مصرف گاز در طول ماه (Kg)} + \text{ارزش حرارتی پایین سوخت مایع} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times \text{مصرف سوخت مایع در طول ماه (Kg)}}{\text{ماه (Kg)}}$$

باید به منظور تعیین متوسط سالیانه بازده و همچنین ردیابی دلایل انحراف منفی از بازده طراحی و رفع این انحراف، مراحل طبق نمودار شکل ۲ طی گردد.



شکل ۲ - نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه گازی

برای مقایسه بازده واحد با بازده طراحی، باید در گزارش‌های روزانه پارامترهای زیر با دقت و صحت اندازه‌گیری و گزارش شوند.

- متوسط دمای روزانه؛
- متوسط فشار روزانه؛
- متوسط رطوبت روزانه؛
- میزان مصرف سوخت به تفکیک برای هر نوع سوخت مصرف شده؛
- متوسط بار واحد؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت مایع، دفعات بنا به تشخیص بهره‌بردار؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت گاز دو یا سه بار در ماه.

۱ - محاسبه متوسط دمای ماهیانه بر اساس متوسط دمای روزانه به منظور تعیین ارزش حرارتی سوخت در دمای واقعی ضروری می‌باشد (به بند ۲-۵ مراجعه شود).

قسمت سوم:

تعیین بازده خالص حرارتی واحد در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین این قسمت از استاندارد، بیان چگونگی اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی در نیروگاه‌های سیکل ترکیبی می‌باشد.

۱-۲ دامنه کاربرد

تعیین بازده خالص حرارتی کلیه واحدهای نیروگاه‌های سیکل ترکیبی در دامنه کاربرد این استاندارد قرار می‌گیرد.

۲ اصطلاحات و تعاریف

در این قسمت از استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۲ بازده خالص حرارتی واحد

بازده خالص حرارتی واحد عبارت است از نسبت کل انرژی خالص خروجی از ژنراتورهای واحد (مجموع انرژی خروجی از توربو ژنراتور گازی و توربو ژنراتور بخاری) به کل حرارت وارد شده به توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (در صورت استفاده از مشعل در بویلر بازیاب) و یا به عبارت دیگر، توان خالص خروجی از ژنراتورهای واحد (مجموع انرژی خروجی از توربو ژنراتور گازی و توربو ژنراتور بخاری) به نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (در صورت استفاده از مشعل در بویلر بازیاب).

$$\text{بازده خالص حرارتی واحد} = \frac{\text{مجموع انرژی خالص خروجی ژنراتورهای واحد (kWh)} \times 3600}{\text{کل حرارت وارد شده به توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (kJ)}}$$

و یا

$$= \frac{\text{جمع توان خالص خروجی ژنراتورهای واحد (kW)}}{\text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (} \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \text{)}}$$

۲-۲ انرژی خالص خروجی ژنراتورهای واحد

انرژی خالص خروجی ژنراتورهای واحد عبارت است از مجموع انرژی ناخالص خروجی از ژنراتورهای واحد (توربو ژنراتور گازی و توربو ژنراتور بخاری) منهای مجموع مصارف داخلی انرژی الکتریکی و سیستم تحریک ژنراتورها در بخش‌های گاز و بخار، بر حسب kWh

۳-۲ توان خالص خروجی ژنراتورهای واحد

توان خالص خروجی ژنراتورهای واحد عبارت است از مجموع توان ناخالص خروجی از ژنراتورهای واحد (توربو ژنراتور گازی و توربو ژنراتور بخاری) منهای مجموع توان مصارف داخلی واحد و سیستم تحریک ژنراتورها در بخش‌های گاز و بخار، بر حسب kW

۴-۲ حرارت داده شده به توربین گاز

حرارت داده شده به توربین گاز عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در محفظه احتراق توربین گاز که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

برای سوخت مایع و گاز :

(Kg) میزان مصرف سوخت $\times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$ ارزش حرارتی پایین سوخت = حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)
یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (25°C) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می‌آید :

SHp (Kg) + میزان مصرف سوخت $\times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$ ارزش حرارتی پایین سوخت = حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)
 که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{SHp} = (\text{Kg}) \times (h - h_{25})$$

که در آن:

h: انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$

h_{25} : انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای 25°C $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (15°C) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می‌آید :

SHp (Kg) + میزان مصرف سوخت $\times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$ ارزش حرارتی پایین سوخت = حرارت وارد شده به توربین گاز (kJ)

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{SHp} = (\text{Kg}) \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

h: انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$

$h_{g,b}$: انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (15°C و یک اتمسفر) $\left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right)$

۵-۲ حرارت داده شده به بویلر بازیاب حرارت

حرارت داده شده به بویلر بازیاب حرارت عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در بویلر بازیاب حرارت، در صورتی که بویلر بازیاب حرارت دارای مشعل باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود.
برای سوخت مایع و گاز :

$$(KJ) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به بویلر (kJ)}$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع ($25^{\circ}C$) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به بویلر (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت مایع} \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{25}: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}C \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز ($15^{\circ}C$) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط حرارت وارد شده به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{حرارت وارد شده به بویلر (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت گاز} \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{g,b}: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (} 15^{\circ}C \text{ و یک اتمسفر)} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

۶-۲ نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز

نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در واحد زمان (s) که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

برای سوخت مایع و گاز :

$$\left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (25°C) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت مایع} \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{25}: \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}\text{C} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (15°C) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز از رابطه زیر به دست می آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به توربین گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت گاز} \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$h_{g,b}: \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد} (15^{\circ}\text{C} \text{ و یک اتمسفر}) \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

۷-۲ نرخ حرارت وارد شده به بویلر بازیاب حرارت

نرخ حرارت وارد شده به بویلر بازیاب حرارت عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در بویلر بازیاب حرارت در واحد زمان (S)، در صورتی که بویلر بازیاب حرارت دارای مشعل باشد و به صورت زیر محاسبه می شود.

برای سوخت مایع و گاز :

$$\left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \text{ نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

یادآوری ۱ – چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (25°C) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت وارد شده به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \times \text{میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \times (\text{h} - \text{h}_{25}) \text{ نرخ مصرف سوخت مایع}$$

که در آن:

$$\text{h} : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$\text{h}_{25} : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}\text{C} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

یادآوری ۲ – چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (15°C) و یک آتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط نرخ حرارت وارد شده به بویلر از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\text{SHp} + \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \times \text{نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{نرخ حرارت وارد شده به بویلر} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{S}}\right)$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\text{SHp} = \left(\frac{\text{Kg}}{\text{S}}\right) \times (\text{h} - \text{h}_{\text{g,b}}) \text{ نرخ مصرف سوخت گاز}$$

که در آن:

$$\text{h} : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

$$\text{h}_{\text{g,b}} : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (} 15^{\circ}\text{C} \text{ و یک آتمسفر)} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right)$$

۸-۲ ارزش حرارتی پایین سوخت

برای سوخت مایع و گاز، ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت به حرارت حاصل از احتراق واحد جرم سوخت در فشار ثابت اطلاق می‌گردد در شرایطی که تمامی آب حاصل، طی فرایند احتراق در فاز بخار مانده

باشند و واحد آن $\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}$ یا $\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$ می‌باشد.

۳ شیوه تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای سیکل ترکیبی

جهت محاسبه بازده خالص حرارتی در واحدهای سیکل ترکیبی از رابطه بند ۲-۱ استفاده می‌گردد.

۱-۳ دفعات و مدت زمان آزمایش

به منظور اندازه‌گیری بازده، آزمایش باید در سه نوبت متوالی که مدت زمان هر یک نباید کمتر از ۵ min و بیشتر از ۲۰ min باشد، انجام پذیرد. یعنی کل زمان آزمایش نباید کمتر از ۱۵ min و بیشتر از ۶۰ min باشد.

۲-۳ اطلاعات مورد نیاز

همانطور که رابطه مندرج در بند ۱-۲ نشان می‌دهد برای اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی واحد، اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- جمع انرژی خالص خروجی از ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی و بخاری) (kWh) / جمع توان خالص خروجی ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی و توربو ژنراتور بخاری) (kW)؛
- میزان مصرف سوخت مایع/گاز (Kg) و یا نرخ مصرف سوخت مایع /گاز ($\frac{Kg}{s}$) در توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (در صورتی که بویلر مجهز به مشعل باشد).

یادآوری - به منظور مقایسه و ارزیابی بازده محاسبه شده نسبت به بازده واحد مطابق طراحی، علاوه بر این اطلاعات، در دسترس بودن اطلاعات سازنده واحد، شامل منحنی تغییرات بار و بازدهی با تغییرات دما، فشار و رطوبت ضروری است تا نتایج آزمایش به شرایط مرجع مشخص شده اصلاح گردد.

۳-۳ اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری موارد ذکر شده در بند ۲-۳ و همچنین پارامترهای دیگری که برای اندازه‌گیری آنها، و سایر شرایط آزمایش ضروری است، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را در انجام آزمایش بازده تشکیل می‌دهد. مجموعه این اندازه‌گیری‌ها و مشخصات فنی کامل هر یک از تجهیزات اندازه‌گیری به تفصیل در قسمت ۴ از استاندارد ASME PTC 46-1996 توضیح داده شده‌اند. در اندازه‌گیری بازده واحد، باید اندازه‌گیری‌ها مطابق مشخصات توضیح داده شده در این بندها انجام پذیرد. در بندهای ذیل به اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اشاره می‌شود.

۱-۳-۳ اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی و بخاری)

جهت اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتورها، توان/ انرژی خروجی ناخالص ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی و بخاری) و توان/ انرژی مصرف داخلی بخش‌های گاز و بخار واحد، از اندازه‌گیری‌هایی که به ترتیب در مسیرهای خروجی از ژنراتورها و انشعاب مصارف داخلی هر بخش منصوب هستند، خوانده شده و از اختلاف آنها توان/ انرژی خالص ژنراتورها مشخص می‌گردد. مجموع توان/ انرژی خالص توربو ژنراتورهای بخاری و گازی توان/ انرژی خالص واحد را مشخص می‌نماید. چنانچه اندازه‌گیر توان/ انرژی در ورودی به ترانس‌های اصلی وجود داشته باشد مستقیماً می‌توان از اعداد خوانده شده از این اندازه‌گیر استفاده نمود.

حد دقت و مشخصات این اندازه‌گیرها باید با آنچه که در بند ۴-۶-۳ از قسمت ۴-۶ دستورالعمل (ASME PTC 46-1996) با عنوان Overall plant Performance مشخص شده است، تطبیق داشته باشد.

کالیبره تجهیزات اندازه‌گیر نیز باید مطابق توضیحات مندرج در بند ۴-۶-۳-۵ از دستورالعمل فوق انجام پذیرد.

۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع و گاز

۱-۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت مایع در توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (در صورتی که بویلر مجهز به مشعل باشد) از اندازه‌گیرهای شدت جریان سوخت مایع / کنتور سوخت مایع نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت مایع به آنها استفاده می‌گردد. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در نیروگاه، باید کالیبراسیون آنها مطابق با دستورالعمل سازنده صورت پذیرد. اعداد به دست آمده، از اندازه‌گیر شدت جریان سوخت/ میزان سوخت، شدت جریان حجمی/ میزان حجم سوخت مصرفی هستند. در محاسبه بازده نیروگاه نیاز به شدت جریان/ میزان جرمی سوخت می‌باشد. بنابراین باید دانسیته سوخت مشخص باشد. دانسیته مطابق روش آزمون زیر اندازه‌گیری می‌شود.

ASTM D -1480 (Standard Test Method for Density, Density and Specific Gravity of viscous material by Bingham Pycnometer)

دانسیته بهتر است در سه دما در محدوده دمای سوخت در طول آزمایش اندازه‌گیری شود و دانسیته سوخت در جریان در دمای واقعی، با استفاده از منحنی تغییرات دانسیته و دما به دست آید. خطای اندازه‌گیری شدت جریان سوخت نباید از 0.7% بیشتر باشد. برای توضیحات دقیق تر به بند ۴-۴-۲ از استاندارد زیر که به اندازه‌گیری شدت جریان سوخت مایع اختصاص دارد، رجوع شود.

ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Plant Performance

۲-۲-۳-۳ میزان / نرخ مصرف سوخت گاز

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت گاز در توربین گاز و بویلر بازیاب حرارت (در صورتی که بویلر مجهز به مشعل باشد) از اندازه‌گیرهای شدت جریان گاز / کنتور گاز نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت گاز به آنها استفاده می‌گردد. این اندازه‌گیرهای جریان می‌توانند از نوع ارفیسی ویا توربینی باشند. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در واحد، باید کالیبراسیون این ادوات اندازه‌گیری مطابق با دستورالعمل سازنده انجام پذیرد. دما در حین اندازه‌گیری باید مشخص گردد. خطای اندازه‌گیری نباید از 0.8% بیشتر باشد. استفاده از سایر انواع اندازه‌گیر جریان گاز به شرط خطای کمتر از 0.8% امکان‌پذیر است. برای توضیحات دقیق تر به بند ۴-۴-۳ از استاندارد زیر که به اندازه‌گیری شدت جریان سوخت گاز اختصاص دارد، رجوع شود.

۳-۳-۳ ارزش حرارتی پایین سوخت

ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز در انجام محاسبات مربوط به بازده حرارتی واحد می باشد.

۱-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت مایع

برای محاسبه ارزش حرارتی پائین سوخت در فشار ثابت ، براساس استاندارد

ASTM D 4809-00 (Standard Test Method for Heat of Combustion of. Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter).

ارزش حرارتی بالای سوخت در حجم ثابت اندازه گیری شده ، و ارزش حرارتی پایین سوخت طبق روش مندرج در پیوست D دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) محاسبه می شود.

۲-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت گاز

ارزش حرارتی پائین سوخت گاز طبیعی براساس روش آزمون مندرج در استانداردهای زیر تعیین می گردد.

- ASTM D7164-05 Standard Practice for Online/At-Line Heating Valve Determination of gaseous Fuel by gas Chromatography
- ASTM 3588-98 (2003)- Standard Practice for Calculating Heat Valve, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous fuels .

۴-۳ ارزیابی نتایج آزمایش

بازده واحد از متوسط گیری نتایج آزمایش هایی که شرایط آن در بند ۱-۳ توضیح داده شد، به دست خواهد آمد.

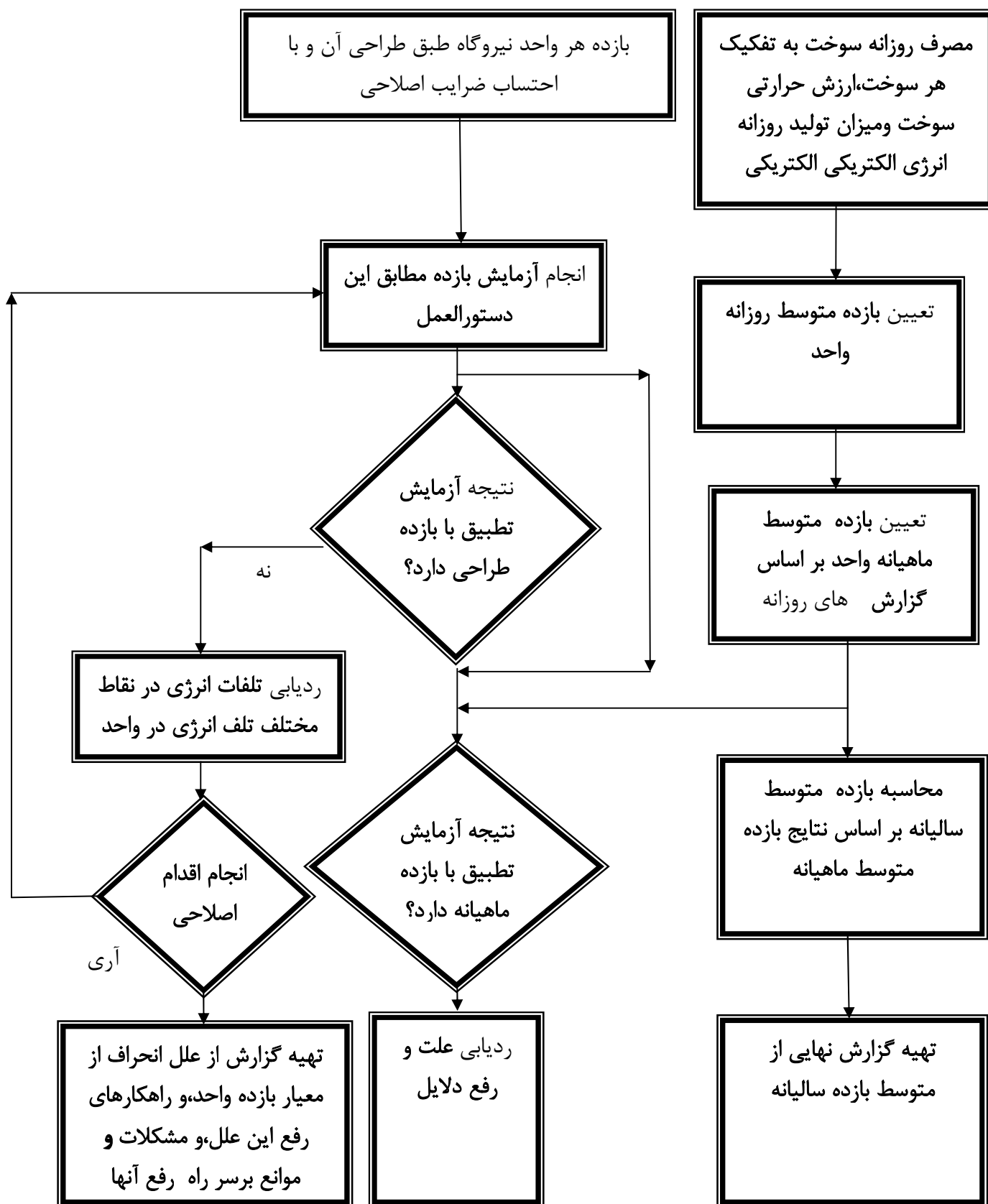
۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله

باتوجه به اینکه در نهایت، ارزیابی بازده واحد در یک دوره^۱ یک ساله مورد نظر است، لذا باید در طی سال بازده به دو صورت محاسبه گردد:

- محاسبه بازده بر اساس شیوه توضیح داده شده در بند ۳، حد اقل دونوبت در سال، و به منظور ارزیابی صحت بازده‌ای که به عنوان میانگین ماهیانه واحد محاسبه می‌گردد.
- تعیین بازده سالیانه، بر اساس متوسط بازده ماهیانه که بر اساس توضیح بند ۲-۱ و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} & ۳۶۰۰ \times \text{کل انرژی الکتریکی خالص تولید شده در واحد در طی ماه (kWh)} \\ & = \frac{\text{متوسط بازده حرارتی در ماه}}{\left(\text{ارزش حرارتی پایین سوخت گاز} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times \text{مصرف گاز در طول ماه (Kg)} + \right.} \\ & \quad \left. \text{ارزش حرارتی پایین سوخت مایع} \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} \right) \times \text{مصرف سوخت مایع در طول} \right. \\ & \quad \left. \text{ماه (Kg)} \right) \end{aligned}$$

لازم است به منظور تعیین متوسط سالیانه بازده و همچنین ردیابی دلایل انحراف منفی از بازده طراحی و رفع این انحراف، مراحل طبق نمودار شکل ۳ طی گردد.



شکل ۳ - نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه سیکل ترکیبی

برای مقایسه بازده واحد با بازده طراحی، باید در گزارش‌های روزانه پارامترهای زیر با دقت و صحت اندازه‌گیری و گزارش شوند.

- متوسط دمای روزانه؛
- متوسط فشار روزانه؛
- متوسط رطوبت روزانه؛
- میزان مصرف سوخت به تفکیک برای هر نوع سوخت مصرف شده؛
- متوسط بار واحد؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت مایع، دفعات بنا به تشخیص بهره‌بردار؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت گاز دو یا سه بار در ماه.

۱ - محاسبه متوسط دمای ماهیانه بر اساس متوسط دمای روزانه به منظور تعیین ارزش حرارتی سوخت در دمای واقعی ضروری می‌باشد (به بند ۲-۵ مراجعه شود).

قسمت چهارم

تعیین بازده خالص حرارتی در واحدهای تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)

۱ هدف و دامنه کاربرد

۱-۱ هدف

هدف از تدوین این قسمت از استاندارد، بیان چگونگی اندازه‌گیری بازده خالص حرارتی در واحدهای تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) و تعیین آن می‌باشد.

۲-۱ دامنه کاربرد

تعیین بازده خالص حرارتی کلیه واحدهای تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) از سوخت فسیلی در دامنه کاربرد این استاندارد قرار می‌گیرد.

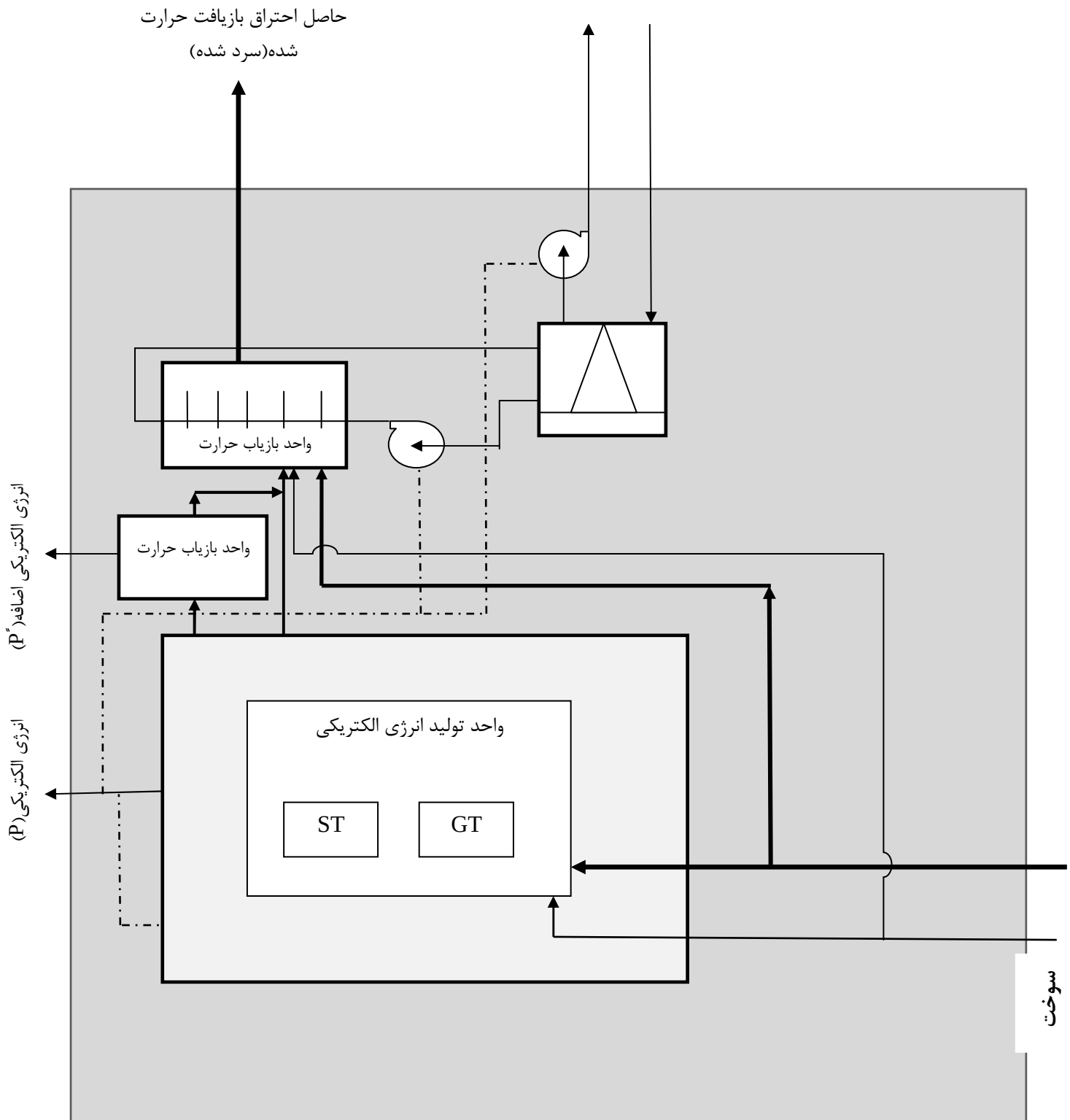
۲ اصطلاحات و تعاریف

در این قسمت از استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۲ واحد تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)

واحد تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP) به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که از یک منبع سوخت، به طور همزمان انرژی الکتریکی (قدرت) و حرارت تولید می‌کنند. این سیستم شامل واحد / واحدهایی که در آن سوخت مصرف می‌شود (توربین گاز، بویلر و...) (توربو ژنراتور/های برق و واحد / واحدهای بازیاب حرارت که حرارت‌های قابل بازیاب را به انرژی قابل مصرف تبدیل می‌نماید، می‌باشد.

هدف از بهره‌برداری از یک واحد تولید همزمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)، بازیافت حرارت‌های قابل بازیابی به منظور تولید انرژی الکتریکی اضافی و یا انرژی حرارتی قابل مصرف می‌باشد. انرژی حرارتی قابل مصرف می‌تواند به صورت انتالپی ذخیره در بخار، آب داغ و یا گاز داغ برای مصارف فرآیندی، سیستم‌های گرمایش و سیستم‌های سرمایش به کار برده شود. در شکل ۴ نمودار شماتیک مرز سیستم (CHP) نشان داده شده است.



شکل ۴- نمودار شماتیک مرز سیستم CHP

۲-۲ بازده خالص حرارتی واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)

در این قسمت از استاندارد، بازده خالص حرارتی در واحدهای تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (CHP)، با در نظر گرفتن تفاوت در ارزش کیفی انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی مفید تولید شده در سیستم (CHP) و کیفیت سیال حامل حرارت (بخار/ آب داغ)^۱ تعیین می‌گردد.

با این فرض بازده خالص سیستم (CHP) عبارت است از :

نسبت مجموع کل انرژی الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم و کل انرژی/ انرژی‌های حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم برای مصارف گرمایش/ سرمایش / مصارف فرایندی تقسیم بر نسبت تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی، برای هر جریان انرژی حرارتی، به کل انرژی سوخت ورودی به سیستم . به عبارت دیگر نسبت مجموع کل توان الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای واحد و کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) مفید خالص خروجی از سیستم برای مصارف گرمایش/ سرمایش / مصارف فرایندی تقسیم بر نسبت تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی برای هر جریان انرژی حرارتی، به کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی به سیستم.

$$\eta_{\text{CHP}} = \frac{W_E \times 3600 + \sum \frac{Q_{\text{TH}}}{\alpha}}{Q_{\text{Fuel}}} \quad (۱)$$

و یا

$$\eta_{\text{CHP}} = \frac{P_E \times 3600 + \sum \frac{\dot{Q}_{\text{TH}}}{\alpha}}{Q_{\text{Fuel}}} \quad (۲)$$

که در آن‌ها :

η_{CHP} : بازده خالص سیستم با در نظر داشتن تفاوت در ارزش کیفی انرژی الکتریکی و حرارتی

W_E : کل انرژی خالص الکتریکی خروجی از ژنراتورهای سیستم (kWh)

$\sum Q_{\text{TH}}$: کل انرژی حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم^۲ (kJ)

۱- این رویکرد محاسبه بازده حرارتی بر اساس قانون دوم ترمودینامیک است

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Fuel}} &: \text{کل انرژی حرارتی سوخت ورودی به سیستم (kJ)} \\
 P_E &: \text{مجموع توان الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم (kW}_E\text{)} \\
 \Sigma Q_{\text{Th}} &: \text{کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) مفید خالص خروجی از سیستم (kW}_{\text{Th}}\text{)} \\
 Q_{\text{Fuel}} &: \text{کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی به سیستم (kW}_{\text{Th}}\text{)} \\
 \alpha &: \text{نسبت تبدیل انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی}^1
 \end{aligned}$$

یادآوری ۱ - بازده در حلقه مصرف انرژی حرارتی خروجی از مرز سیستم CHP، در محدوده این استاندارد نبوده و در محاسبات بازده نقشی ندارد.

یادآوری ۲ - انرژی حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم به میزانی که در واحد پذیرنده به مصرف رسیده باشد در محاسبات منظور می‌گردد. آنچه از انرژی حرارتی مفید مصرف نشده که تلف گردد، در محاسبه بازده سیستم وارد نمی‌شود.

۳-۲ کل انرژی الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم

کل انرژی الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم عبارت است از مجموع انرژی ناخالص خروجی از ژنراتورها در سیستم (CHP)، منهای مجموع مصارف داخلی انرژی الکتریکی سیستم (CHP) و سیستم تحریک ژنراتورها، بر حسب kWh

۴-۲ کل توان الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم

کل توان الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم عبارت است از مجموع توان ناخالص خروجی از ژنراتورها در سیستم (CHP)، منهای مجموع توان مصارف داخلی سیستم (CHP) و سیستم تحریک ژنراتورها، بر حسب kW

۵-۲ کل انرژی حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم

کل انرژی حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم (CHP) عبارت است از انرژی حرارتی مفید کلیه جریان های سیال (بخار/ آب داغ) حامل انرژی، خروجی از سیستم، منهای انرژی حرارتی کلیه جریان های سیال حامل انرژی (بخار/ آب داغ) ورودی به سیستم و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Sigma Q_{\text{Th}} = \Sigma (m_i h_i)_{\text{out}} - \Sigma (m_i h_i)_{\text{in}} \quad (5)$$

که در آن:

m_i : جرم سیال حامل انرژی (kg)

h_i : انتالپی سیال حامل انرژی (kJ / kg)

۱- نسبت α در این روابط معادل ۲ اختیار می‌شود.

۶-۲ کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) مفید خالص خروجی از سیستم

کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) مفید خالص خروجی از سیستم (CHP) عبارت است از انرژی حرارتی مفید کلیه جریان‌های سیال حامل انرژی (بخار/ آب داغ)، خروجی از سیستم، منهای انرژی حرارتی کلیه جریان‌های سیال حامل انرژی (بخار/ آب داغ) ورودی به سیستم، در واحد زمان (S)

$$\Sigma \dot{Q}_{TH} = \Sigma (\dot{m}_i h_i)_{out} - \Sigma (\dot{m}_i h_i)_{in} \quad (۶)$$

که در آن:

$$\dot{m}_i : \text{شدت جریان جرمی جرم سیال حامل انرژی (kg / S)}$$

۷-۲ انرژی سوخت ورودی به سیستم

انرژی سوخت ورودی به سیستم عبارت است از کل حرارت حاصل از احتراق سوخت در واحدهای مولد اولیه انرژی الکتریکی مانند توربین گاز و بویلر، در سیستم (CHP) و همچنین سوخت مصرفی در بویلرهای بازیافت حرارت، در صورتی که در آنها از مشعل استفاده شده باشد و به صورت زیر محاسبه می‌شود :

برای سوخت مایع و گاز :

$$(Kg) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{انرژی سوخت ورودی به سیستم (kJ)}$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع ($25^{\circ}C$) متفاوت باشد در این شرایط انرژی سوخت ورودی به سیستم از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{انرژی سوخت ورودی به سیستم (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت مایع } \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری } \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{25} : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای } 25^{\circ}C \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز ($15^{\circ}C$) و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط انرژی سوخت ورودی به سیستم از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$SHp + (Kg) \text{ میزان مصرف سوخت } \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \text{ ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{انرژی سوخت ورودی به سیستم (kJ)}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = (Kg) \times (h - h_{g,b})$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{g,b} : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (C } 15^{\circ} \text{ و یک آتمسفر)} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

۸-۲ کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی به سیستم

کل توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی به سیستم عبارت است از حرارت حاصل از احتراق سوخت در واحدهای مولد اولیه انرژی الکتریکی مانند توربین گاز و بویلر، در سیستم (CHP) و همچنین سوخت مصرفی در بویلرهای بازیاب حرارت در محدوده سیستم، در صورتی که در آنها از مشعل استفاده شده باشد، در واحد زمان (S) و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

برای سوخت مایع و گاز:

$$\left(\frac{Kg}{S} \right) \times \text{نرخ مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) = \text{ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی)}$$

$$\left(\frac{KJ}{S} \right) \text{ سوخت ورودی به سیستم}$$

یادآوری ۱ - چنانچه دمای سوخت مایع از دمای استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت مایع (C ۲۵) متفاوت باشد در این شرایط نرخ انرژی سوخت ورودی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SHp + \left(\frac{Kg}{S} \right) \times \text{میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) = \text{ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی}$$

$$\left(\frac{KJ}{S} \right) \text{ به سیستم}$$

که در آن:

$$SHp + \left(\frac{Kg}{S} \right) \times \text{میزان مصرف سوخت} \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) = \text{ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت}$$

$$\left(\frac{KJ}{S} \right) \text{ ورودی به سیستم}$$

که در آن:

SHp: حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = \left(\frac{Kg}{S} \right) \times (h - h_{25})$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای بهره‌برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{25} : \text{انتالپی مخصوص سوخت مایع در دمای C } 25^{\circ} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

یادآوری ۲ - چنانچه دما و فشار سوخت گاز از دما و فشار استاندارد اندازه‌گیری ارزش حرارتی سوخت گاز (C ۱۵° و یک اتمسفر) متفاوت باشد در این شرایط نرخ انرژی سوخت ورودی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SHp + \left(\frac{Kg}{S} \right) \times \left(\frac{KJ}{Kg} \right) \times \text{ارزش حرارتی پایین سوخت} = \text{توان حرارتی (نرخ انرژی حرارتی) سوخت ورودی}$$

$$\left(\frac{KJ}{S} \right) \text{ به سیستم}$$

که در آن:

SHp : حرارت محسوس در فشار ثابت بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$SHp = \left(\frac{Kg}{S} \right) \times (h - h_{g,b}) \times \text{نرخ مصرف سوخت گاز}$$

که در آن:

$$h : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط بهره‌برداری} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

$$h_{g,b} : \text{انتالپی مخصوص سوخت گاز در شرایط استاندارد (C ۱۵° و یک اتمسفر)} \left(\frac{KJ}{Kg} \right)$$

۹-۲ ارزش حرارتی پایین سوخت

برای سوخت مایع و گاز، ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت، به حرارت حاصل از احتراق واحد جرم سوخت در فشار ثابت اطلاق می‌گردد در شرایطی که تمامی آب حاصل، طی فرایند احتراق در فاز بخار مانده باشند و واحد آن $\frac{KJ}{Kg}$ یا $\frac{Kcal}{Kg}$ می‌باشد.

۳ تعیین بازده خالص کلی سیستم (CHP)

جهت تعیین بازده خالص کلی سیستم (CHP) از رابطه ۳ و یا ۴ بند ۲-۲ استفاده می‌گردد.

۱-۳ دفعات و مدت زمان آزمایش

به منظور اندازه‌گیری بازده آزمایش، باید در سه نوبت متوالی که مدت زمان هر یک نباید کمتر از ۵ min و بیشتر از ۲۰ min باشد، انجام پذیرد. یعنی کل زمان آزمایش نباید کمتر از ۱۵ min و بیشتر از ۶۰ min باشد.

۲-۳ اطلاعات مورد نیاز

همانطور که رابطه مندرج شده در بند ۱-۲ نشان می‌دهد برای اندازه‌گیری خالص کلی سیستم (CHP) اطلاعات زیر مورد نیاز است:

- جمع انرژی الکتریکی خالص خروجی از ژنراتورهای سیستم (kWh) / جمع توان خالص خروجی ژنراتورها ی سیستم (kW)
- کل انرژی / کل توان (نرخ انرژی) حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم (kJ) / (kJ/S) ، که طبق رابطه ۶ مذکور در بند ۲-۶ برای محاسبه آن جرم / شدت جریان گرمی و انتالپی کلیه جریان‌های

سیال حامل انرژی (بخار/ آب داغ) ، خروجی از سیستم، جرم/ شدت جریان جرمی و انتالپی کلیه جریان‌های سیال حامل انرژی (بخار/ آب داغ) ورودی به سیستم ، در واحد زمان (S) مورد نیاز است.

- کل انرژی حرارتی / کل توان (نرخ انرژی) حرارتی سوخت ورودی به سیستم که طبق بند ۲-۷ و ۲-۸ برای محاسبه آن میزان کل سوخت / نرخ کل سوخت ورودی به واحدهای مولد اولیه انرژی الکتریکی مانند توربین گاز و بویلر در سیستم (CHP) و بویلر بازیاب حرارت، در صورتی که در آنها از مشعل استفاده شده باشد، (Kg) / (Kg/S) و همچنین ارزش حرارتی پایین سوخت مورد نیاز است.

یادآوری – به منظور مقایسه و ارزیابی بازده محاسبه شده نسبت به بازده سیستم مطابق طراحی، علاوه بر این اطلاعات، در دسترس بودن اطلاعات سازنده واحدهای تولید انرژی الکتریکی و حرارتی ، شامل منحنی تغییرات بار و بازدهی با تغییرات دما فشار و رطوبت ضروری است تا نتایج آزمایش به شرایط مرجع مشخص شده در طراحی اصلاح گردد.

۳-۳ اندازه‌گیری‌ها

اندازه‌گیری موارد ذکر شده در بند ۳-۲ و همچنین پارامترهای دیگری که برای اندازه‌گیری آنها و سایر شرایط آزمایش ضروری است ، مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها را در انجام آزمایش بازده تشکیل می‌دهد. مجموعه این اندازه‌گیری‌ها و مشخصات فنی کامل هر یک از تجهیزات اندازه‌گیری به تفصیل در قسمت ۴ از استاندارد ASME PTC 46-1996 توضیح داده شده‌اند. در اندازه‌گیری بازده واحد تولید هم‌زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی باید اندازه‌گیری‌ها مطابق مشخصات توضیح داده شده در این بندها انجام پذیرد. در بندهای ذیل به اندازه‌گیری پارامترهای اصلی اشاره می‌شود.

۱-۳-۳ اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی / بخاری)

جهت اندازه‌گیری خروجی خالص ژنراتورها، توان/ انرژی خروجی ناخالص ژنراتورها (توربو ژنراتور گازی / بخاری) و توان/ انرژی مصرف داخلی بخش‌های درون محدوده سیستم (CHP)، از اندازه‌گیرهایی که به ترتیب در مسیرهای خروجی از ژنراتورها و انشعاب مصارف داخلی هر بخش منصوب هستند، خوانده شده و از اختلاف آنها توان/ انرژی خروجی خالص ژنراتورها مشخص می‌گردد. مجموع توان/ انرژی خروجی خالص کلیه توربو ژنراتورها توان / انرژی خروجی واحد رامشخص می‌نماید. چنانچه اندازه‌گیر توان/ انرژی در ورودی به ترانس‌های اصلی وجود داشته باشد مستقیماً می‌توان از اعداد خوانده شده از این اندازه‌گیر استفاده نمود.

حد دقت و مشخصات این اندازه‌گیرها باید با آنچه که در بند ۴-۶-۳ از قسمت ۴-۶ دستورالعمل (ASME PTC 46-1996) با عنوان Overall plant Performance مشخص شده است تطبیق داشته باشد. کالیبره تجهیزات اندازه‌گیر نیز باید مطابق توضیحات مندرج در بند ۴-۶-۳-۵ از دستورالعمل فوق انجام پذیرد.

۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع و گاز

۱-۲-۳-۳ نرخ / میزان مصرف سوخت مایع

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت مایع در مولدهای اولیه تولید انرژی الکتریکی، بویلر و بویلر بازیاب حرارت(در صورتی که بویلر مجهز به مشعل باشد) از اندازه‌گیرهای شدت جریان سوخت مایع / کنتور سوخت مایع نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت مایع به آنها استفاده می‌گردد. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در نیروگاه، باید کالیبراسیون آنها مطابق با دستورالعمل سازنده صورت پذیرد. اعداد به دست آمده، از اندازه‌گیر شدت جریان سوخت/ میزان سوخت، شدت جریان حجمی/ میزان حجم سوخت مصرفی هستند. در محاسبه بازده نیاز به شدت جریان/ میزان جرمی سوخت می‌باشد. بنابراین باید دانسیته سوخت مشخص باشد. دانسیته مطابق روش آزمایش زیر اندازه‌گیری می‌شود.

ASTM D-1480 (Standard Test Method for Density, Density and Specific Gravity of viscous material by Bingham Pycnometer

دانسیته بهتر است در سه دما، در محدوده دمای سوخت در طول آزمایش، اندازه‌گیری شود و دانسیته سوخت در جریان در دمای واقعی، با استفاده از منحنی تغییرات دانسیته و دما به دست آید. خطای اندازه‌گیری شدت جریان سوخت نباید از 0.7% بیشتر باشد. برای توضیحات دقیق تر به بند ۴-۴-۲ از استاندارد زیر که به اندازه‌گیری شدت جریان سوخت مایع اختصاص دارد رجوع شود.

ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Plant Performance

۲-۲-۳-۳ میزان / نرخ مصرف سوخت گاز

برای مشخص شدن نرخ/ میزان مصرف سوخت گاز در توربین گاز، بویلر و بویلر بازیاب حرارت(در صورتی که بویلر مجهز به مشعل باشد) از اندازه‌گیرهای شدت جریان گاز / کنتور گاز نصب شده در مسیر جریان ورودی سوخت گاز به آنها استفاده می‌گردد. این اندازه‌گیرهای جریان می‌توانند از نوع ارفیسی و یا توربینی باشند. قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در واحد، باید کالیبراسیون این ادوات اندازه‌گیری مطابق با دستورالعمل سازنده انجام پذیرد. دما در حین اندازه‌گیری لازم است مشخص گردد. خطای اندازه‌گیری نباید از 0.8% بیشتر باشد. استفاده از سایر انواع اندازه‌گیر جریان گاز به شرط خطای کمتر از 0.8% امکان‌پذیر است. برای توضیحات دقیق تر به بند ۴-۴-۳ از استاندارد زیر که به اندازه‌گیری شدت جریان سوخت گاز اختصاص دارد، رجوع شود.

ASME PTC 46- 1996- Performance Test Code On Overall Plant Performance

۳-۳-۳ ارزش حرارتی پایین سوخت

ارزش حرارتی پایین سوخت در فشار ثابت، یکی دیگر از پارامترهای مورد نیاز در انجام محاسبات مربوط به بازده حرارتی واحد می‌باشد.

۱-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت مایع

برای محاسبه ارزش حرارتی پائین سوخت در فشار ثابت، براساس استاندارد

ASTM D 4809-00 (Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter).

ارزش حرارتی بالای سوخت در حجم ثابت اندازه‌گیری شده، و ارزش حرارتی پایین سوخت طبق روش مندرج در پیوست D دستورالعمل (ASME PTC 22-1997) محاسبه می‌شود.

۲-۳-۳-۳ ارزش حرارتی پائین سوخت گاز

ارزش حرارتی پائین سوخت گاز طبیعی براساس روش آزمایش مندرج در استانداردهای زیر تعیین می‌گردد.

- ASTM D7164-05 Standard Practice for Online/At-Line Heating Valve Determination of gaseous Fuel by gas Chromatography
- ASTM 3588-98 (2003) - Standard Practice for Calculating Heat Valve, Compressibility Factor, and Relative Density of Gaseous fuels .

۴-۳-۳ اندازه‌گیری میزان جریان / شدت جریان سیال حامل انرژی حرارتی (خروجی از سیستم و ورودی به سیستم)

برای مشخص کردن میزان جریان / شدت جریان سیال حامل انرژی حرارتی (آب داغ/ بخار)، خروجی از سیستم و ورودی به سیستم، از اندازه‌گیرهای میزان جریان آب / بخار (کنترلر) و یا اندازه‌گیرهای شدت جریان آب / بخار نصب شده در مسیر/مسیرهای خروجی و ورودی سیال به سیستم استفاده می‌شود. بسته به شرایط و مسیر سیال لازم است تا متناسباً اندازه‌گیر میزان جریان (کنترلر) / اندازه‌گیر شدت جریان انتخاب گردد. خطای این اندازه‌گیرها باید کمتر از ۱٪ باشد.

قبل از خواندن اطلاعات از این دستگاه‌های اندازه‌گیری، به منظور استفاده در محاسبات بازده حرارتی در نیروگاه، باید کالیبراسیون آنها مطابق با دستورالعمل سازنده صورت پذیرد. اندازه‌گیری باید در شرایطی صورت پذیرد که جریان دارای حالت یکنواخت بوده و نوسان نداشته باشد.

یادآوری ۱- چنانچه در جایی که انتظار می‌رود میزان/شدت جریان خروجی و ورودی سیال از سیستم و به سیستم، یکسان باشد، نصب اندازه‌گیر در مسیر خروجی کفایت خواهد کرد.

یادآوری ۲- با توجه به اینکه حد دقت اندازه‌گیری شدت جریان آب از اندازه‌گیری شدت جریان بخار بیشتر است، می‌توان در صورت امکان جریان آب اندازه‌گیری شود و شدت جریان بخار از این اندازه‌گیری محاسبه گردد.

اعداد به دست آمده از اندازه‌گیرهای میزان جریان / شدت جریان سیال حامل انرژی حرارتی، حجم سیال ورودی و خروجی را مشخص می‌کند. در محاسبه بازده، نیاز به شدت جریان / میزان جرمی سیال می‌باشد.

بنابراین باید دانسیته سیال (آب/بخار) مشخص باشد. دانسیته با مشخص بودن دما و فشار سیال مشخص می گردد.

۳-۳-۵ اندازه گیری دما در مسیر / مسیره های خروجی و ورودی سیال حامل انرژی حرارتی از سیستم و به سیستم

اندازه گیری دما در این مسیرها جهت تعیین دانسیته و انتالپی سیال ضروری است. خطا در اندازه گیری های نصب شده در مسیرهای با دمای کمتر از 93°C (200°F) نباید بیشتر از 0.27°C (0.5°F) و برای بالاتر از آن نباید بیشتر از 0.55°C (1°F) باشد. دماسنج ها باید کالیبره شده باشند.

۳-۳-۶ اندازه گیری فشار در مسیر / مسیره های خروجی و ورودی سیال حامل انرژی حرارتی از سیستم و به سیستم

اندازه گیری فشار در این مسیرها جهت تعیین انتالپی سیال ضروری است. کلاس دقت ترانس میترهای فشار باید 0.1% باشد. کالیبراسیون فشارسنج ها ضروری است.

۳-۴ ارزیابی نتایج آزمایش

بازده واحد از متوسط گیری نتایج آزمایش هایی که شرایط آن در بند ۳-۱ توضیح داده شد، به دست خواهد آمد.

۴ بازده واحد در دوره زمانی یک ساله

باتوجه به اینکه در نهایت، ارزیابی بازده واحد در یک دوره یک ساله مورد نظر است، لذا باید در طی سال بازده به دو صورت محاسبه گردد:

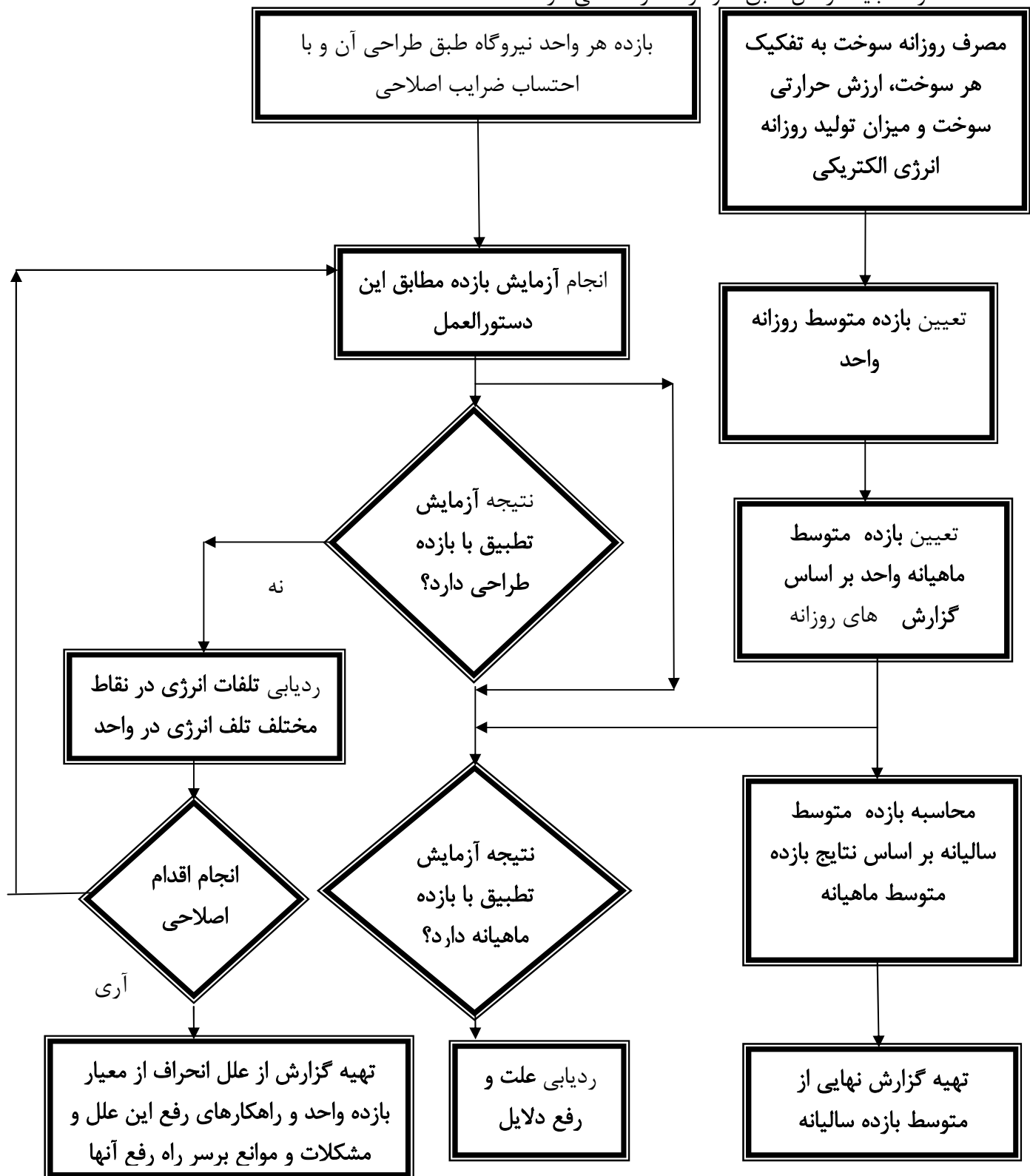
- محاسبه بازده بر اساس شیوه توضیح داده شده در بند ۳، حداقل دونوبت در سال و به منظور ارزیابی صحت بازده ای که به عنوان میانگین ماهیانه واحد محاسبه می گردد.
- تعیین بازده سالیانه، بر اساس متوسط بازده ماهیانه که بر اساس توضیح بند ۲-۲ و از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\left(\begin{array}{l} \text{کل انرژی الکتریکی خالص تولید شده در سیستم در طی ماه} \\ + \\ 1/2 \times \text{کل انرژی حرارتی مفید خالص خروجی از سیستم که به} \\ \text{مصرف رسیده باشد در طی ماه} \end{array} \right)$$

= متوسط بازده حرارتی در ماه

ارزش حرارتی پایین سوخت گاز $\times$ مصرف گاز در طول ماه +
ارزش حرارتی پایین سوخت مایع $\times$ مصرف سوخت مایع در طول
ماه

به منظور تعیین متوسط سالیانه بازده و همچنین ردیابی دلایل انحراف منفی از بازده طراحی و رفع این انحراف، باید مراحل طبق نمودار شماره ۵ طی گردد.



شکل ۵ - نمودار مراحل ارزیابی و اصلاح بازده حرارتی واحد نیروگاه تولید هم زمان انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی (پا آ)

برای مقایسه بازده واحد با بازده طراحی، باید در گزارش‌های روزانه پارامترهای زیر با دقت و صحت اندازه‌گیری و گزارش شوند.

- متوسط دمای روزانه؛
- متوسط فشار روزانه؛
- متوسط رطوبت روزانه؛
- میزان مصرف سوخت به تفکیک برای هر نوع سوخت مصرف شده؛
- متوسط بار واحد؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت مایع، دفعات بنا به تشخیص بهره‌بردار؛
- انجام آزمایش تعیین ارزش حرارتی پایین سوخت گاز دو یا سه بار در ماه.

۱ - محاسبه متوسط دمای ماهیانه بر اساس متوسط دمای روزانه به منظور تعیین ارزش حرارتی سوخت در دمای واقعی ضروری می‌باشد (به بند ۲-۵ مراجعه شود).