Archive of SID

# محاسبه و ارزیابی میزان عدم قطعیت در اندازه‌گیری کمیت‌های دما و فشار در کوره‌های پالایشگاهی

علی اکبر جمالی[1]، مهدی بختیاری‌فر[2*]

[1] عضو هیات علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع)و پژوهشگر مرکز تحقیقات آئرودینامیک قدر

[2] دانشگاه جامع امام حسین (ع) –دانشکده فنی و مهندسی - محقق و پژوهشگر مرکز تحقیقات آئرودینامیک قدر

## چکیده

گرچه نوسانات دمایی در محدوده وظایف حرارتی فوق‌العاده کوره‌ها بسیار ناچیزاست، لیکن از نقطه نظر ممیزی و محاسبات طراحی با هدف بهبود شرایط با تمرکز بر ملاحظات مدیریت انرژی و محدودیت‌های زیست‌محیطی، اندازه‌گیری‌های رایج دما و فشار نیازمند صحت و اعتبار منطقی است. هدف از محاسبه میزان عدم قطعیت تعیین محدوده‌ای از سطح اطمینان است که به احتمال خیلی قوی مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شده در آن قرار می‌گیرد. برای بیان عدم قطعیت مشخصه‌ها به دو شاخص عدم قطعیت استاندارد ترکیبی و سطح اطمینان که بر اساس آن ضریب پوشش عدم قطعیت بسط‌یافته مشخص می‌شود، نیاز است. عدم قطعیت با ضریب پوشش۲، برای اندازه‌گیری با سطح اطمینان ۹۵٪ با فرض توزیع نرمال مؤلفه‌ها در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد؛ با استخراج عدم قطعیت از عوامل اثر گذار و نتایج اندازه‌گیری می‌توان کیفیت پایش‌های بعدی در کوره را هدایت نمود و هرچه عدم قطعیت نتایج، کمیت کوچک‌تری باشد، صحت و دقت ارتقاء یافته و نشاندهنده اثرگذاری کمتر خطاهایی نظیرخطای سیستماتیک و تصادفی بر روی نتایج است که به تفصیل در کار حاضر به شرح و بازشناسی آنها در یافتن منابع خطا پرداخت شده است.

**واژگان کلیدی:** پایش حرارتی کوره، کمیت‌های اندازه‌گیری، عدم قطعیت، خطاهای نظام‌مند و تصادفی، توزیع دما و فشار

## مقدمه

تنظیم فشار مناسب برای هدایت گازهای حاصل از احتراق و ایجاد شرایط کوران در کوره‌ها و پایش دما در سراسر بخش‌های کوره‌های صنعتی در افزایش بازده تأثیر بسزایی دارد. عدم کنترل گرما و تشعشع و نیز نوسانات دمایی در کوره ها باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش کیفیت محصول و آسیب رساندن به جداره داخلی کوره می‌شود. هربخش از کوره شامل اطاقک احتراق، بخش جابجایی و دودکش نیاز به دمایی ویژه دارد. عدم یکنواختی در دما باعث پایین آمدن کیفیت محصول در همان مرحله و یا وظیفه گرمایی در کلکورهصنعتیمی‌گردد. پیشگرم‌کن‌های هوا، دیوارهای بازتابنده، ریفرکتوری‌های موجود در منطقه احتراق و دودکش به عنوان بخش انتهای کوره مستلزم اندازه‌گیری و کنترل دما و فشار است. هر بخش دمای مخصوص به خود دارد. گرچه نوسانات دمایی در محدوده وظیفه حرارتی فوق‌العاده کوره‌ها بسیار ناچیزاست، لیکن از نقطه نظر ممیزی و محاسبات طراحی در

* jamalis5@iust.ac.ir



www.SID.ir

Archive of SID

جهت بهبود شرایط با تمرکز بر ملاحظات مدیری تانرژی و زیستمحیطی، اندازه‌گیری‌های رایجدما و فشار مستلزم صحت و اعتبار است. کوره های پالایشگاهی به صورت گسترده در صنعت نفت به کار می روند. پیش بینی صحیح تغییرات و توزیع دما در محفظه اهمیت بالایی در به دست آوردن کیفیت مناسب محصولات احتراق و کاهش مصرف انرژی دارد.ارزیابی فشار و توزیع دما در این نوع از کوره ها از اهمیتخاصی برخوردار است، تا بتوان چگونگی افزایش دما در بخش های مختلف از کوره را نسبت به زمان بررسی نمود. حرارت در کوره های پالایشگاهی به صورت تشعشع و هدایت انتقال می‌یابد. دماهای اندازه‌گیری شده توسط ترموکوپل‌های موجود در کوره صورت می‌گیرد.

مشاهدات بیان می‌کنند با گذشت بیشتر زمان روند افزایش دما در کوره با شیب کمتری انجام می‌گیرد و بالاخره در روند پایدارتری حفظ وباقیمی‌ماند. به گونه‌ای که دیگر افزایش دما رخ نمی‌دهد و دمای کوره ثابت می‌ماند. تغییرات دمایی با زمان قابل ملاحظه است. از پایین محفظه به طرف مشعل‌ها تا رسیدن به مرز شعله دما در حال صعود و در محدوده مشعل تقریبا خطی است با سپریکرده اطاق احتراق و گذر از لوله‌های سپر حرارتی دما در حال نزول است. ازآنجاکهبا افزایش سرعت سوخت قدرت احتراق بیشتر شده و فضای بیشتری از لوله شعله درگیر احتراق می‌شود و دمای آن بالا می‌رود؛ در حقیقت، محدوده احتراقی با افزایش سرعت سوخت افزایش پیدا می‌کند. به دلیل وجود احتراق میزان دما در محور لوله ابتدا به یک مقدار حداکثر رسیده و در طول لوله به تدریج کم می‌شود. همچنین زمانی که سرعت سوخت زیاد می‌شود میزان دما در بخش احتراق و در خروجی لوله بیشتر است.

موضوعی که دراینتحقیقبه آنپرداختهخواهدشد، ضرورت پایش درجه حرارت کورهبادمایکاری بالاتر از ۱۰۰۰ درجهسانتیگراد است. یک جنبه حیاتی در عملیات کوره‌ها، یکنواختی دما در محفظه و مرکز لوله‌های حامل خوراک و نگهداری محتوایحرارتی آن در دمای بالا است که با تغییر پارامترهای هندسی و شرایط مرزی به این مهم دست یافت.

همواره تصور بر این است که تجهیزات اندازه‌گیری با ریزنگری بالا قابل اعتماد می‌باشند.این در حالی است که در هر سیستم اندازه‌گیری حتی دقیق‌ترین آنها همواره خطا و همچنین شک و تردید در ارائه نتایج اندازه‌گیری وجود دارد و رسیدن به عدد واقعی کمترمیسر است، این شک و تردید در خصوص کیفیت اندازه‌گیری اطلاعاتی را عدم قطعیت می‌نامند.هدف از محاسبه عدم قطعیت تعیین محدوده‌ای از سطح اطمینان است که به احتمال خیلی قوی مقدار واقعی در آن قرار می‌گیرد. برای بیان عدم قطعیت به دو شاخص گستره (همان عدم قطعیت استاندارد ترکیبی) و سطح اطمینان که بر اساس آن ضریب پوشش عدم قطعیت بسط‌یافته مشخص می‌شود،نیاز است.

به تصورغلطبرخی عدم قطعیت،اندازه‌گیری همان خطا است در صورتی که تفاوت زیادی بین این دو وجود دارد، در گذشته از عبارات خطا، خطای تصادفی و خطای سیستماتیک برای توصیفعدم قطعیت استفاده می‌شد که سردرگمی مفرطی را باعث می‌شد. خطا برابر است با مقدار اندازه‌گیری شده منهای اندازه واقعی در صورتی که عدم قطعیت در گسترده ترین معنایش بر این ایده که نتیجه اندازه‌گیری دقیق نیست، دلالت دارد و در واقع بیانگر پراکندگی نتایج اندازه‌گیری با توجه به عوامل و پارامترهایی است که به‌صورت مستقیم یا غیر مستقیم روی نتایج اثر می‌گذارند. این پراکندگی حول مقدار اندازه‌گیری شده، به کمکوسایل مرجع بررسی می‌گردد.

با توجه به عدم قطعیت به‌دست آمده از عوامل اثر گذار و نتایج آزمون می‌توان کیفیت اندازه‌گیری‌های بعدی را کنترل نمود و هرچه عدم قطعیت نتایج کوچک‌تر باشد صحت و دقت بالا می‌روند و همچنین نشاندهنده اثر گذاری کمتر خطاهایینظیرخطای سیستماتیک و تصادفی بر روی نتایج است.بر اساس مقرراتی که برای آزمایشگاه‌هایکالیبراسیون وضع شده است، عدم قطعیت گسترده با ضریب پوشش۲ برای اندازه‌گیری درکالیبراسیون با سطح اطمینان ۹۵٪ با فرض توزیع نرمال مؤلفه‌ها در نظر گرفتهمی‌شود. اما همیشه فرض نرمال بودن به راحتی نمی‌تواند تایید شود و kضریب پوشش استاندارد معادل ۲می‌تواند به عدم قطعیت گسترده‌ای با سطح اطمینان متفاوت با ۹۵ ٪ نسبت داده شود.گفتنی است مادام کهنتیجه اندازه‌گیری دو کمیت مشابه با هم قابل مقایسه باشند، استفاده از یک سطح اطمینان یکسان مطلوب است.



www.SID.ir

Archive of SID

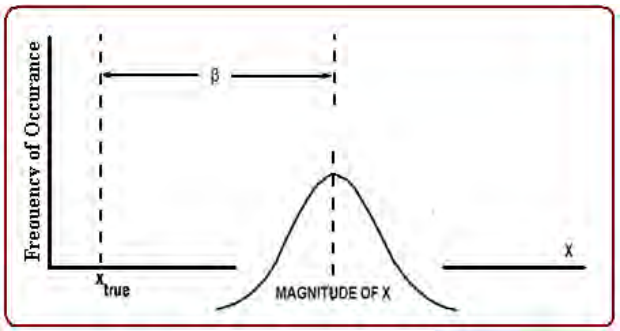
## ارزیابی کیفیت

مطابق تجربیاتفراوانیکه در مطالعات حرارتیکورههایصنعتی وجود دارد مشاهده شده است با افزایش سرعت سوخت میزان کسر جرمی محصولات احتراق در بخش ورودی افزایش پیدا می‌کند. با اینافزایش قدرت احتراق و وظیفهگرماییکورهنیز بیشتر می‌شود. همچنین به دلیل وجود احتراق، کسر جرمی محصولات احتراق در طول محور لوله با شیب زیادی افزایش پیدا کرده و در یک نقطه که احتراق به پایان می‌رسد، مقدار آن روند کاهشی دارد. با افزایش سرعت سوخت، میزان احتراق در طول بیشتری از لوله ادامه پیدا می‌کند.در اغلب منابع اطلاعاتییویژه گزارشات فنی و صنعتی، دادهها بدون اشاره به کیفیت نتایج ارائه می‌شوند. دادههای عدم اطمینان، به طور معمول بهصورتتکرارهایی از آزمایشات مشابه در نظر گرفته می‌شود. بهندرت برآورد عدم قطعیت (Uncertainty) براساسکالیبراسیونحرفهای از امکانات و ابزارآلات (بررسی کامل ازفرآیند تولید دادهها) و بررسی جامع از خطاهای ثابت قابل توجه ذاتی در آزمایش گزارش می‌شوند.بنابراین اتخاذ یک رویکرد منسجم دریکپارچهسازی عدم قطعیت و تجزیه وتحلیل کامل و حرفهای مستندات عدم قطعیت برای هر آزمایش، در تمام مراحل آزمون با اهمیتاست.

## روش ارزیابی عدم قطعیت

در اندازهگیری و نتایج تجربی استخراج شده، بدان دلیلکه ترکیب مفاهیم آماری و مهندسی به شیوهای که بتواند به طور سیستماتیک در هر مرحله از تعیین عدم قطعیت و ارزیابی دادهها استفاده شود، ساختاربندیروش برآورد عدم قطعیت ضروری است. لذابا ارائه روش تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، کاربرد آن در مراحل مختلف یک برنامه تجربی مورد بحث قرار گرفته است. این روش عمدتاً بر اساس مرجع[۱] و سازگار با بیشتر دستورالعملها و استانداردهای بینالمللیمیباشد[۲و۳]. تعاریف ترمهای خاص استفاده شده در این تحقیق و واژگان بینالمللی اصطلاحات مترولوژیکی(VIM) از منبع [۴] آورده شده است.

واژه دقت، ناظر بر نشان دادن نزدیکی مورد توافق بین مقدار تجربی داده و ارزش واقعی آن است. در نقطه مقابل خطا، تفاوت بین مقدار تجربی و ارزش واقعی است. افزایش دقت، متضمنتمایل و روند خطا به نزدیک صفر است.ارزشهای واقعی مقادیر اندازهگیری استانداردنظیرجرم، طول، زمان، ولت و غیره تنها در آزمایشگاههای استاندارد ملی قابل سنجش است وصرفاً در موارد نادریبه آنها ارزش واقعی یک کمیت اطلاق می‌شود. بنابراین، محقق ناگزیر به برآورد خطا بوده فلذا این همان تخمین عدم قطعیت است و عدم اطمینان از مقدار، تابع ارزش آن کمیتاستو برای طیف وسیعی از مقادیر، درصدی از مقدار کل در نظر میگیرند. در این جا، فرض بر آن است که تمام تخمینها در سطح اطمینان ۹۵ در نظر گرفته شده است، این بدان معناست که مقدار واقعی متغیر دربازهای با تغییرات مقدارتجربی اندازهگیری شده در معرض ۹۵ درصد احتمال وقوع قرار بگیرد.



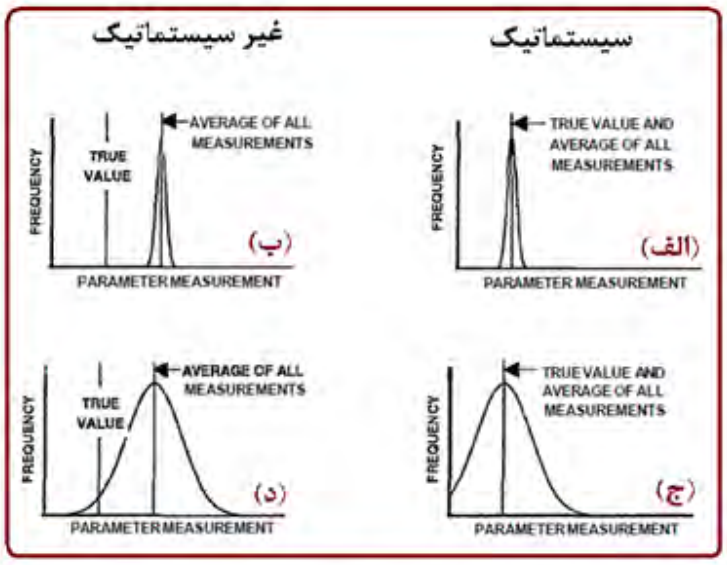

**شکل۱: فراوانی دقت و خطا در اندازهگیری متغیرX، [۱]**



www.SID.ir

Archive of SID

تخمین عدم قطعیت به عنوان معرفی بلامنازع برای خطا بنا بر تعمیق در تعریف و طبیعت آن ، خطا مشتمل بر دو جزء قابل تفکیکنظیر، خطای روش دار و نظام‌مند(Biased or Systematic Error) و خطای تصادفی (Precision or Random Error)می‌باشد. خطاهایی که در برگیرنده پراکندگی داده‌ها باشند، خطای تصادفی و متقابلاً تحت عنوان خطای سیستماتیکیانظام‌مند نامگذاری می‌شوند. فرض بر این است که تمامی خطاهای نظام‌مند شناخته شده اصلاح شده‌اند. خطاهای سیستماتیک باقیمانده می‌توانند دارای مقادیر مثبت یا منفی باشند. اثرات چنین خطاهایی در خوانش‌های متعدد متغیر X در(شکل ۱) نشان داده شده که β، معرف خطای سیستماتیک است. تأثیر کیفی ترکیبات مختلف از خطاهای تصادفی کوچک و بزرگ و خطای سیستماتیک در(شکل ۲) نشان داده شده است.




**شکل۲: اندازه‌گیری خطا (خطای سیستماتیک، خطای تصادفی و دقت)**

(الف) متضمن نمایشمقادیر اندازه‌گیری شده یک متغیر باتکرار آزمایش در شرایط مشابه است. در (ب) مشاهده می‌شود با اینکه دقت خطای تصادفی بالاست لیکن مقادیر با توجه به مقدار واقعی نادرست می‌باشد. در (ج) مقدار میانگین داده‌ها بر مقدار واقعی داده‌ها منطبق بوده اما مواجه با خطای تصادفی قابل توجه می‌باشیم و در (د) شاهد مقدار واقعی، خطای سیستماتیک و خطای تصادفی می‌باشیم.برآورد خطا تنها زمانی معنی دارد که فرآیندمنجر به ارزش مقدار مورد نظر شود.گام‌های مورد استفاده در فرآیندهای اندازه‌گیریمقادیر و همچنینمحیطی که در آن مراحل انجام گرفته به انضمامعوامل تاثیرگذار در نتیجه، شرایطی است که‌محقق را در شناسایی و تعیین کمیت منابع خطایاری خواهد ساخت.

تقریباً در تمام آزمایشات، مقادیر اندازه‌گیریداده‌های مختلف با استفاده از معادله کاهش داده(Data ReductionEquation) با هم ترکیب می‌شوند و به متغیرهایی مورد نظر تبدیل می‌شوند. مثال مناسب، تعیین تجربی ضریب پسا بر بدنه یک دودکش بلند در کوره‌هایحرارتی است. تعریف ضریب پسا به عنوان نمونه‌ای است که می‌تواند با توجه به خطاهای موجود در مقادیر متغیرهای سمت راست معادله (۱)، خطاهای موجود در ضریب پسا را تعیین نماید.

$$C_d = \frac{2F_A}{\rho V^2 A} \qquad (۱)$$



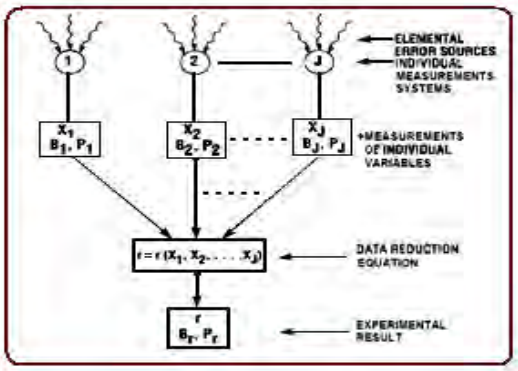
www.SID.ir

Archive of SID

نمایشی کلی‌تر از یک معادله کاهشِ داده به‌صورت زیر است:

$$r = r(X_1, X_2, \ldots, X_J) \qquad (۲)$$

کهنتیجه تجربی r از J متغیر اندازه‌گیری شده مشخص شده است.اگر B وP به‌عنوان برآورد مقادیر خطاهای سیستماتیک و تصادفی در نظر گرفته شوند، اثرات خطاهای متغیرهای اندازه‌گیری شده بر متغیر کل به‌صورتشماتیک در (شکل ۳)نشان داده شده است.




**شکل۳: توزیع خطا در نتایج تجربی**

هریک از سیستم‌هایاندازه‌گیری مورد استفاده برای اندازه‌گیری مقدار متغیرمنحصر بفرد توسط تعداد زیادی از منابع خطا تحت تأثیر قرارگرفته است. اثرات این خطاهای مؤلفه‌ای به عنوان خطای نظام‌مند (تخمین زده شده با ) و خطای تصادفی (تخمین زده شده با ) در مقادیر اندازه‌گیری متغیر آشکار شده است. این خطا در مقادیر، اندازه‌گیری شده و سپس از طریق انتشار، معادله کاهشِ داده، تولید خطای سیستماتیک و خطای تصادفی در جواب آزمایش(r)می‌کند.

در فرایند تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، عواملی مؤثر در تعیینمؤلفه‌های خطا ضروری است. به عنوان نمونه در بررسی‌هایهیدرودینامیکیفازهای مختلف و جنبه‌هایآئرودینامیکیشارشگازهای حاصل احتراق رویلوله‌های حامل خوراک در اطاق احتراق کوره‌هایپالایشگاهی از مجموعه مؤلفه‌های مرتبط با اندازه‌گیریِ فشار در قسمتهای مختلف آنمی‌توان شرایط آزمون ناپایدار، سوراخ (Orifice)، لوله، سیال کاری، تقویت‌کننده سیگنال، منبع تغذیه، دیتالاگر، مبدل آنالوگ به دیجیتال و دستگاه ضبط و ثبت داده را نام برد. در برنامه‌های متداول تجربی کوره، محاسبه و اعمال خطای تصادفی هر یک از مؤلفه‌های خطا مقرون به‌صرفهنمی‌باشد و اندازه‌گیری دقت خطای تصادفی خروجی مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها مؤثرتر می‌باشد. به این ترتیب، در سیستم اندازه‌گیری خطای تصادفی، فرض شده که این مؤلفه‌ها بر عدم قطعیت فشار اندازه‌گیری شده اثر می‌گذارند. اما همچنان استفاده از خطای تصادفیتک تکمؤلفه‌ها و لحاظ نمودن آنها در برآورد عدم قطعیت کل مناسب‌ترمی‌باشد.

از سوی دیگر محاسبه خطای سیستماتیک بدلیل کمتر بودن مراتب مؤلفه‌هایمؤثر بر آن آسان‌تر است. در جاییلازم نیست خطای سیستماتیک ناشی از برهمکنشواریفیس‌های فشار را برای هر دو سوراخ فشار، جداگانه تخمین زد. با این حال، این تخمین در هرجای سیستم اندازه‌گیریقابل تعمیم نباشد. هر یک از اجزاء سیستم اندازه‌گیری باید در بزرگ‌ترین بازه ممکن کالیبره شود. چنین رویکردی در اغلب موارد، باعث حذف نیاز به محاسبه خطای سیستماتیک از اجزاء منحصر به فرد سیستم‌هایاندازه‌گیری است.

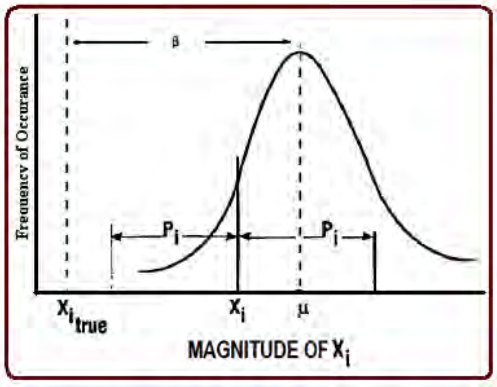


www.SID.ir

Archive of SID

### برآورد مؤلفه‌ها

به منظور برآورد دقیق از خطاهای سیستماتیک و تصادفی در متغیرهای اندازه‌گیری شده $X_{i}$ قابل ارائه است. این روش شامل پیش‌بینی دقیق از خطاهای سیستماتیک و تصادفی در نتایج آزمایشات تجربی r، محاسبه با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده در معادلاتکاهشِ داده‌است. در تخمین میزان خطاهای تصادفی در اندازه‌گیری متغیر ، محدوده خطای تصادفی تعریف می‌شود. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، بازه‌ی در محدود اندازه‌گیری از است که در آن مقدار میانگین ( ) با احتمال ۹۵٪ در این محدوده در صورت تکرار آزمایش در تعداد زیاد و شرایط آزمایش مشابه قرار می‌گیرد. به این ترتیب محدوده خطای تصادفی، تخمینی از عدم تکرار اندازه‌گیری ناشی از خطاهای تصادفی، ناپایداری‌ها، عدم توانایی برای تنظیم دقیق مجدد شرایط تجربی و غیره است.




**شکل۴ : محدوده خطای تصادفی با احتمال ۹۵٪ در اطراف متغیر**

به‌منظور برآورد میزان خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری متغیر ، محدوده خطای سیستماتیک تعریف شده است. محدوده خطای سیستماتیک با توجه به این موضوع تخمین زده شده که انجام‌دهنده آزمایش ۹۵ درصد مطمئن است که مقدار واقعی خطای سیستماتیک، در صورت شناخته شدن، کمتر از خواهد بود.محدوده عدم قطعیت : در اندازه‌گیری متغیر بازه‌ای است که انجام دهنده آزمایش ۹۵ درصد مطمئن است که مقدار واقعی متغیر در این ناحیه است. عدم قطعیت با احتمال ۹۵ درصد به‌طریق $U_i = (B_i^2 + P_i^2)^{0.5}$ بدست می‌آید.

### برآورد محدوده خطای تصادفی

محدوده خطای تصادفی برای اندازه‌گیری متغیر توسط رابطه $P_i =$ بدست می‌آیدکه در آن K فاکتور پوشش و برابر۲ برای سطح اطمینان ۹۵ درصد است و انحراف استاندارد نمونه خوانده شده متغیر است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

(۳)

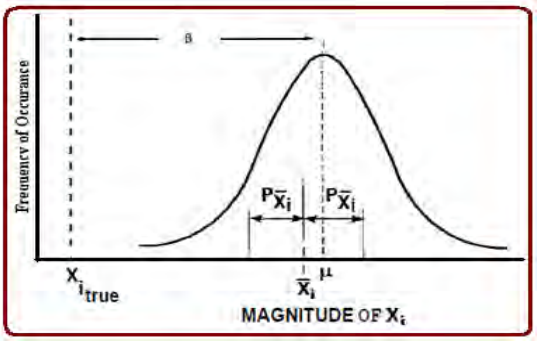
$$S_i = \left( \sum_{k=1}^{N_i} \frac{[(X_i)_k - \bar{X}_i]^2}{N_i - 1} \right)^{0.5} \quad \bar{X}_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} (X_i)_k$$



www.SID.ir

Archive of SID

محدوده در شکل نشان داده شده است. استفاده از فاکتور پوشش معادل ۲ با فرض تعداد زیاد نمونه و توزیع گاوسین خطا است.هنگامی که میانگین مقدار به منظور تعیین نتیجه rمورد استفاده قرار گیرد، محدوده خطای تصادفی مناسب که خطای تصادفی میانگین است،به‌صورت $P_{\bar{X}_i} = N_i^{-1}$ تعریف می‌گردد.



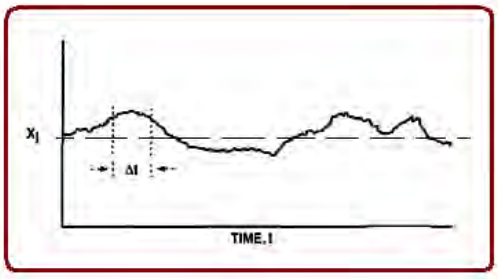

**شکل۵: محدوده خطای تصادفی با سطح اطمینان ۹۵٪ در اطراف نمونه خوانده شده از متغیر**

در ارزیابی محدوده خطای تصادفی از نمونه‌ای که مرتبه خوانده شده، دو سوالی که اغلب مطرح است عبارتند از:

۱. با داده‌های خارج از محدوده شامل داده‌های دور از مقادیراکثر نقاط در نمونه چه باید کرد؟

۲. با علم به عدم تلقی منابع خطا تصادفی در صورت ناپایداری سیستم،تغییرات داده‌ایچگونه مورد ارزیابی قرار گیرند؟

در ارتباط با دو عامل فوق،داده‌های خارج از محدوده، اولینرا بایدناشی از حوادث متـأثر از انجامآزمایشـو دیگریـدر تعـداد داده‌هـای گرفته شده در مرحله نخست داده برداری دانست. برای پیشگیری از حذف داده‌هاناخواسته تحت عنوان داده‌های خارج از محدوده بایستی آنها را از بابت پدیده‌های جریان قبل از حذف بررسی نمود.




**شکل۶: تغییرات زمانیپارامتر قابل اندازه‌گیریدر شرایط پایا**

در صورت بازشناسی و برآورد مطلوب خطای تصادفی، برای مجموعه‌ای از مرتبه داده خوانده شده،ملاحظه و انتخاب فاصله زمانی مناسب ضروریاست. به عنوان نمونه، با در نظرگیریآزمایشیبا طبیعت داشتن متغیرهای آزمون باتابعیت زمان در جستجوی بازه زمانی مطلوب باشیم،M مجموعه ازداده‌های خوانده شده($X_j...X_i$)را می‌توان در معادله کاهش داده برای تهیه M جواب معادله استفاده نمود و مقدار میانگین و محدوده خطای تصادفی مناسب با استفاده از تکنیک‌های شرح داده شده در زیر بدست می‌آید.وضعیت معمول در اندازه‌گیری‌های دما و فشار در بخش‌های مختلف کوره و مشعلهایصنعتی در وضعیتی رخ می‌دهد که



www.SID.ir

Archive of SID

داده‌ها از آزمون با شرایط پایا صورت گرفته است، در اینجااتفاقات واقعی در ها متغیربا زمان است. در این مورد، به‌طور معمول جواب آزمایش که با استفاده از معادله کاهش داده به‌دستمی‌آید نشان دهنده مقدار جواب آزمایش است که در بزرگتر از فاصله زمانی که طی آن چندین تغییرات کامل در متغیرها رخ می‌دهد، بدست می‌آید. با این حال، معمولا به‌دلیلاین‌که بعضی از متغیرها ممکن است که دارای بازه زمانیچند ساعته یا چند روزه باشند،انجام آزمایش در تمامیبازه زمانیاخیرامکان‌پذیر نیست. در اکثر آزمایشات، اندازه‌گیری‌ها در بازه‌های کوتاه زمانی، با درک کامل از این موضوع که بازه زمانی برای تغییر برخی از متغیرها، بسیار طولانی‌تر از زمان اندازه‌گیری اخذ شده است. در چنین مواردی، مقدار مشخص در طول چنین مدت زمان نسبتا کوتاه را باید به عنوان یک بار خوانده شدن متغیر در نظر گرفت و محدوده خطای تصادفی مناسب توسط معادله مربوطه بدست آورد. توجه داشته باشید که این تفسیر بر مبنای این اصل استوار است که مقدار میانگینی از ۱۰، $10^3$ یا $10^6$ داده خوانده شدهاست.همچنین امکان برآورد مناسب از انحراف استاندارد نمونهدر طول فرایند آزمایش، با در نظر گرفتن داده‌های تکراری به شرطی که به همه منابع خطای در ارتباط با خطای تصادفی کل اجازه تغییر داده شود، وجود دارد.

## تخمین خطای نظام‌مند

یک روش مفید برای برآورد میزان خطای سیستماتیک، فرض مقدار آن وابسته به برخی توزیع‌های آماری مفروض است. برای مثال اگر یک سازنده مقاومت حرارتی(Thermistor) مشخص کند که ۹۵٪ از نمونه‌های آن با دقت ۰/۵±درجه سانتیگراد منحنی مرجع مقاومت حرارتی (R-T) را ارضاء می‌کند، یکی از فرض‌های ممکن، فرض خطای سیستماتیک که متعلق به توزیع نرمال با انحراف استاندارد $b_T$ $(0.5^0C)$ ) و متناسب با محدوده خطای سیستماتیک$B_T= 2b_T$و یا ۰/۵درجه سانتیگراد می‌باشد.

خطاهای کالیبراسیون، خطاهای داده‌برداری، خطای کاهشِ داده، خطای روش آزمون مجموعه خطاهای سیستماتیک را شامل می‌شوندکه اندازه‌گیری یک متغیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد.در هر دسته، ممکن است چندین منبع عنصری از خطای سیستماتیک وجود داشته باشد. اگر برای متغیر J ام، Mمؤلفه قابل توجه وجود داشته باشد، محدوده‌های خطای سیستماتیک به تفکیک $(B_1)_1,(B_1)_2,\dots,(B$ بدست می‌آید. سپس محدوده خطای سیستماتیک برای مقدار اندازه‌گیری شده $X_j$ به‌صورت جذر مجموع مربعات ترکیبی از مؤلفه‌هایمحدوده‌هابه‌دستمی‌آید.مؤلفه‌هایمحدوده‌های خطای نظام‌مند،$(B_i)_k$، برای هر متغیر $X_i$ با استفاده از بهترین اطلاعات در دسترس در آن زمان، تخمین زده می‌شوند.

$$B_j = \left[\sum_{k=1}^{M} (B_j)_k^2\right]^{0.5} \qquad (۴)$$

روشی دیگر برای تعیین خطای سیستماتیک استفاده از اختلاف بین دو آفست است. این روش بر این اصل استوار است که در حالت آفستمیانگیندادههایک مقدار ثابت و مشخص است،بنابراین اختلاف میانگین دو آفستباید صفر باشد. از طرفی به دلیل وجود خطاپیش‌فرضاین اختلاف برایتمامیدادهها صفر نمی‌شود. لذا با تعیینبیشترین مقدار اختلاف بین دو داده‌یآفستمی‌توانبیشینهخطاپیش‌فرض کلیه داده‌ها را تعیین و از آن به عنوان خطاپیش‌فرض استفاده کرد.

## برآورد در نتایج تجربی

خطا نتیجهواقعه‌ای است که طبق انتظار نبوده و طی‌یک عمل غیر مجاز یاغیرممکن حاصل گردیده است. روش دسترسی به تخمین خطاهای تصادفی و سیستماتیک در نتایج تجربی (R) متعاقب شناخت کلیاینپیش‌بینی در متغیرهای اندازه‌گیری شده سودمند است.جهت برآورد میزان مؤلفه تصادفی عدم قطعیت در نتیجه آزمایش، محدوده خطای تصادفی در جواب آزمایش (P) تعریف می‌شود. محدودهP±، بازه‌ای در اطراف جواب است که نتایج آزمایش در صورت تکرار با درصد اطمینان ۹۵درصدی محتوم



www.SID.ir

Archive of SID

به وقوع است. محدوده خطای تصادفی شامل پراکندگی و عدم امکانطبیعیتکرار دادهها به دلایلی از قبیل اختلاف و انحراف بین مشاهده و واقعیت، بی ثباتی، عدم توانایی برای تنظیم مجدد دقیق شرایط تجربی و غیره میباشد.بهمنظور برآورد مقدار مؤلفه خطای سیستماتیک عدم قطعیت در نتیجه آزمایش، محدوده خطای سیستماتیک نتایج (B) تعریف می شود. محدوده این خطا نیز با درصد احتمال ۹۵٪ تخمین زده میشود.بازه عدم قطعیت ($\pm U_r$)در اطراف جواب، عبارت از محدودهایاست که آزمایشگر با اطمینان ۹۵٪ مطمئن است که جواب صحیح در آن بازه رخ میدهد. عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵٪ بهصورت $U_r = \sqrt{B_r^2 + P_r^2}$ تعریف میگردد.

## انتشار خطای تصادفی به نتایج تجربی

اگر اندازهگیری چندین بار تکرار گردد، در نتیجه چندین جواب از یک شرایط آزمایش یکسان در دسترس بوده و بهترین برآورد از جواب آزمایش (r)، مقدار میانگین آن ( ) بوده و بهصورت زیر نمایش داده میشود:

$$\bar{r} = \frac{1}{M}\sum_{k=1}^{M} r_k \qquad (۵)$$

که M، تعداد جوابهای آزمایش ناشی از تکرار میباشد. محدوده خطای تصادفی برای جواب ($P_r$) عبارت است از:

$$P_r = K . S_r . M^{-0.5} \qquad (۶)$$

که K ضریب پوشش (معمولاًمعادل ۲) و $S_r$ انحراف استاندارد نمونه از M جواب میباشد. بدیهی است که تا زمانی که چندین جواب از آزمایش وجود داشته باشد، محاسبه آن امکان پذیر است.محدوده خطای تصادفی تنها برای منابع خطای تصادفی قابل استفاده است که در هنگام انجام وتکرار آزمایش فعال باشند.

گاهی با شرایطی مواجه میشویم که دادهها در بازههایی از زمان اندازهگیریمیشوند که نسبت به بازه تغییرات در شرایط آزمایش کوچک میباشند. محدودهخطای تصادفی مناسب با خواندن دادهها در این بازه زمانی کوچک قابل محاسبه نمیباشند. برای این قبیل از دادهها، اندازهگیری متغیر بایستی بهصورت اندازهگیری واحد در نظر گرفته شود و محدوده خطای تصادفی بایستی بر پایه اطلاعات محاسبه شده در گذشته (دادههایکالیبراسیون، اندازهگیریهای انجام گرفته مشابه، انجام گرفته با کمکتجهیزات مشابه) انجام گیرد.هنگامی که برآوردها شامل محدودههای خطای تصادفی همه متغیرهای اندازهگیری شده میشود، محدوده خطای تصادفی برای جواب آزمایش با استفاده از رابطه زیر محاسبه میشود.

$$P_r = \left[\sum_{i=1}^{J} (\theta_i P_i)^2\right]^{0.5}, \qquad \theta_i = \frac{\partial r}{\partial X_i} \qquad (۷)$$

در اینجا محدودههای خطای تصادفی برای مجموعه تعدادمعتنابهیدادهها فرض شده است. معادله (۷) یک معادله تقریبی است که بر مبنای سری تیلور و حذف تمامی ترمهای با مرتبه بالاتر از یک بدست آمده است [۱].

## خطای سیستماتیک در نتایج آزمایشگاهی

هنگامی که نتیجه آزمایش بهصورت $r = r(X_1, X_2, \ldots,$ ارائه شده باشد.محدوده خطای سیستماتیکآن که در ارتباط با محدودههای خطای سیستماتیک اندازهگیری شده از متغیرهای مجزای است بهصورت زیر میباشد:

$$B_r^2 = \left(\sum_{i=1}^{J} \theta_i^2 B_i^2\right) + 2\theta_m \theta_n \acute{B}_m \acute{B}_n \qquad (۸)$$



www.SID.ir

Archive of SID

که مقادیر و بخش‌هایی از محدوده‌های خطای سیستماتیک اندازه‌گیری متغیرهای و بوده که از منابع مشابه ناشی شده و با فرض برهمکنش کامل بر روی یکدیگر می‌باشد[۱] و محدوده‌های خطای سیستماتیک با احتمال ۹۵٪ وقوع، برآورد شده‌اند. بسته به نوع روش تجربی استفاده شده، اثرات خطاهای سیستماتیک وابسته می‌تواند باعث کاهش و یا افزایش عدم قطعیت در نتیجه نهایی آزمایش در مقایسه با آزمایش‌های بدون این اثرات گردد.

**بحث و نتیجه‌گیری**

در مجتمع های نفت و گاز کوره های فرایندی از زمره تجهیزات مهم و حیاتی واحدهای عملیاتی به شمار می‌روند. لوله‌های حامل خوراک این کوره ها بدلیل اینکه برای مدت زمان طولانی در معرض دمای بالا، تنش ناشی از سیال فرآیندی و محیط خورنده می باشند، عمر محدودی دارند و ارزیابی عمر باقیمانده آنها از جنبه اقتصادی و حفظ ایمنی تولید ضروری و مورد نیاز می باشد. نتیجه این ارزیابی ها تعویض زودهنگام لوله‌ها قبل از اتمام عمر مفید بر اساس طراحی و یا استمرار استفاده از آنها متعاقب به پایان رسیدن عمر طراحی می باشد. وقوع شکست در اجزاءکوره‌ها در حین سرویس محتوی خسارات فوق‌العادهاست و حداکثر توجه برای جلوگیری از شکست این تجهیزات ضروری است.بعضی از فاکتورهایمتالورژیکی و عملیاتی باعث می‌گردند عمر مفیدبیشتر از عمر طراحی باشد و بالعکس. پارامترهاییکه باعث افزایش عمر مفید، بالاتر از عمر طراحیمی‌گردند عبارتند از اعمال ضرایباطمینان بالا در عمر طراحی،دقت در پردازش و برونیابی داده ها، تقریببیش از حد تأثیر عوامل مخرب مانند اکسیداسیون در عمر طراحی. فاکتورهاییکه باعث می‌شوند عمر واقعیکمتر از عمر طراحی باشد عبارتند از تنش‌های ناخواسته و پسماند، عوامل محیطی و عملیاتی پیش بینی نشده در طراحی، کاربری خارج از محدوده طراحی است. لیکن آنچه مهم است تمهیداتنگهداری همراه با کنترلدقیق دما در شرایطعملیات است.روش ارزیابی عدم قطعیت، برای اجراء یا عدم انجام یک آزمایش باید با در نظرگرفتننتیجه‌دهی آزمون برای رسیدن به اهداف آزمون در عدم قطعیت مجاز انجام پذیرد. نتیجه هر آزمون وابسته به تمامی مراحل آزمایش خواهد بود. این فرایند شامل طراحی آزمایش، تکنیک بکار گرفته شده، ابزار دقیق انتخاب شده، کیفیت جریان، و تصحیح و یا تنظیم اطلاعات برای تبدیل داده‌ها به شرایط مرجع مناسب است.

مزیتتعیین مقدار عدم قطعیت برای یک آزمون، در کمک به طراحی آزمایش و پیداکردن کیفیت قابل قبول، به‌گونه‌ای است کهمحقق چه انتظاری از نتیجهآزمون می‌تواند داشته باشد. ارزیابی بیشتر و مستندسازی نتایج آزمون، از جمله عدم قطعیت، به عنوان مرجع به نفع هر دو ارزیابی ذهنی از کیفیت اندازه‌گیری و ارزیابی از عدم اطمینان برای آزمایش‌هایبعدی است. نتیجه آزمایش وابسته به فرایند انجام آن است. هر بخشی از مجموعه داده‌هایسنسور به نسبت اطلاعات منتشر شده، یک منبع از عدم اطمینان در جواب نهایی است.در اینجا حق انتخاب برای آنچه که به عنوان جواب نهایی بیان می‌شود، وجود دارد.

در اینجا، فرض بر این است که خروجی نهایی به پارامترهایی مشتق شده که می‌توانند به عنوانقطه شروع در فرآیند پیش‌بینی نتایج در مقیاس کامل مورد استفاده قرار گیرند.پارامترهای مزبور شامل ضرایب، مقادیر بدون بعد، خواص سیال و جریان شامل دما، آنتالپی، فشار دینامیکی و ... است.

گام اول در انجام تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، ردیابی کل روند جریان اطلاعات از خروجی سنسور، از طریق تبدیل و تنظیم داده‌ها تا رسیدن به جواب نهایی است. علاوه بر این، فرض بر این است که مقدار مناسبی از داده‌های مطمئن ارائه شده است که هر گونه تنظیم و یا دستکاری جریان داده‌ها، عدم اطمینان اضافی را ایجاد نکند.ذعدم قطعیت نبایستی به طور خودکار برای هر یک از عوامل بالقوه که در مجموع زنجیره کل را تشکیل می‌دهند، تخمین زده شود. در عوض، توصیه می‌شود که عدم قطعیت در شروع و پایانآزمایش مورد ارزیابی قرار گیرد. دو دلیل برای این پیشنهاد وجود دارد. مورد اول اینکه ارزیابی در شروع و پایان اغلب برآوردِعدمِقطعیتِواقعی‌تر (معمولا با مقدار کمتر) فرآیند را تولید می‌کند. مورد دوم اینکه سابقه کار ممکن است از ارزش بیشتری در



www.SID.ir

Archive of SID

برآورد عدم قطعیت کلی به نسبت اطلاعات به‌دست آمده از صرف منابع برای تعیینعدم قطعیت جداگانه برای یک سری از منابع خطا، برخوردار باشد.

در جریانتبییناروش ارزیابی عدم قطعیت برای هر نتیجه تجربی معادله کاهشِ داده تشکیل می‌شود. متعاقباً متغیرهای مؤثر شناخته شده و منابع عدم قطعیت هریک از آنها تعیین می‌گردد. پس از تعیین منابع عدم قطعیت اهمیت و میزان تأثیر هریک از آنها تعیین می‌گردد. این عمل با وزن‌دهی به متغیرها انجام می‌پذیرد و منابعی که دارای وزن کمتر از ۲۵ درصد از منابع دیگر باشند قابل صرف نظر می‌باشند و منابع باقیمانده پس از این مرحله در تعیین عدم قطعیت دارای اهمیت بیشتری است. سپس برای هریک از متغیرها، محدوده خطاهای سیستماتیک و تصادفی تعیین می‌گردد.

در اکثر آزمایشات، برآورد مؤلفه‌هایمحدوده‌های خطای تصادفی مقرون به صرفه نمی‌باشد و مناسب‌تر آن است که برآورد مقدار خطای تصادفی سیستم‌هایاندازه‌گیریبدست آید و یا بهتر آن است که خطای تصادفی میانگین نتایج بدست آمده در معادله را با شرط آنکه نتایج متعدد دارای تنظیم اولیه یکسان باشند، بدست آورد.

## مراجع


[1]. **Coleman, H.W. and Steele, W. G., Experimentation and Uncertainty Analysis for Engineers. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, 1989.**

[2]. **"Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement," ISO, First edition, ISBN92-67-1 01 88-9, 1993.**

[3]. **"Measurement Uncertainty," ISO/TC 69/SC 6 draft dated April 1992.**

[4]. **"International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology," ISO, Second edition, ISBN92-67-01 075-1, 1993.**

[5]. **Taylor, B.N. and Kuyatt, C. E., "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results," NIST Technical Note 1297, January 1993.**

[6]. **Steele, W.G., Taylor, R. P., Burrell, R. E., and Coleman, H. W. "The Use of Data from Previous Experience to Estimate the Precision Uncertainty of Small Sample Experiments," AIAA Journal, Vol. 31, No. IO, 1993.**

[7]. **Moffat, R.J., "Describing the Uncertainties in Experirnental Results," Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 1, 1 988.**

[8]. **ISO/TAG/WG3 "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement." Draft dated June 1992.**

[9]. **Cahill, D.M. "Development of an Uncertainty Methodology for Multiple-Channel Instrumentation Systems." AIAA Paper No. 92-3953, AIAA_1 7th A. G. T. Conference, Nashville, TN, July 6-8, 1992.**




www.SID.ir