

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آو ساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی

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

علی اکبر جمالی<sup>۱</sup>، مهدی بختیاری<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup>عضو هیات علمی دانشگاه جامع امام حسین (ع) و پژوهشگر مرکز تحقیقات آنرودینامیک قدر  
<sup>۲</sup>دانشگاه جامع امام حسین (ع) - دانشکده فنی و مهندسی - محقق و پژوهشگر مرکز تحقیقات آنرودینامیک 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 پوشش ۲، 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 نظیر خطای 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 کوره‌ها باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش کیفیت محصول و آسیب رساندن به جداره داخلی کوره می‌شود. هر بخش 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 کلکوره صنعتی می‌گردد. پیشگرم‌کن‌های هوا، دیوارهای بازتابنده، ریفراکتوری‌های موجود در منطقه احتراق و دودکش به عنوان بخش انتهایی کوره مستلزم اندازه‌گیری و کنترل دما و فشار است. هر بخش دمایی 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

جهت بهبود شرایط با تمرکز بر ملاحظات مدیری تانرژی و زیستمحیطی، اندازه‌گیری‌های رایج‌دما و فشار مستلزم صحت و اعتبار است. کوره‌های پالایشگاهی به صورت گسترده در صنعت نفت به کار می‌روند. پیش‌بینی 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 کوره‌ها از اهمیت‌خاصی برخوردار است، تا بتوان چگونگی افزایش دما در بخش‌های مختلف از کوره را نسبت به زمان بررسی نمود. حرارت در کوره‌های 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 و باقی‌ماند. 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 تقریباً خطی است با سپری‌کرده اطاق احتراق و گذر از لوله‌های سپر حرارتی دما در حال نزول است. از آنجا که 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 در این تحقیق به آن پرداخته خواهد شد، ضرورت پایش درجه حرارت کوره‌ها در مایکاری بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد است. یک جنبه حیاتی در عملیات کوره‌ها، یکنواختی دما در محفظه و مرکز لوله‌های حامل خوراک و نگهداری محتوای حرارتی 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 کمتر میسر 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 بسط یافته مشخص می‌شود، نیاز است.

به تصور غلط برخی 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 توصیف عدم قطعیت استفاده می‌شد که سردرگمی مفردی را باعث می‌شد. خطا برابر است با مقدار اندازه‌گیری شده منهای اندازه واقعی در صورتی که عدم قطعیت در گسترده‌ترین 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 به صورت مستقیم یا غیر مستقیم روی نتایج اثر می‌گذارند. این پراکندگی حول مقدار اندازه‌گیری شده، به کمک وسایل مرجع بررسی می‌گردد.

با توجه به عدم قطعیت به دست آمده از عوامل اثر گذار و نتایج آزمون می‌توان کیفیت اندازه‌گیری‌های بعدی را کنترل نمود و هر چه عدم قطعیت نتایج کوچک‌تر باشد صحت و دقت بالا می‌روند و همچنین نشان‌دهنده اثر گذاری کمتر خطاهای این نظیر خطای سیستماتیک و تصادفی بر روی نتایج است. بر اساس مقرراتی که برای آزمایشگاه‌های کالیبراسیون وضع شده است، عدم قطعیت گسترده با ضریب پوشش ۲ برای اندازه‌گیری در کالیبراسیون با سطح اطمینان ۹۵٪ با فرض توزیع نرمال مؤلفه‌ها در نظر گرفته می‌شود. اما همیشه فرض نرمال بودن به راحتی نمی‌تواند تایید شود و  $k$  ضریب پوشش استاندارد معادل ۲ می‌تواند به عدم قطعیت گسترده‌ای با سطح اطمینان متفاوت با ۹۵٪ نسبت داده شود. گفتنی است مادام که نتیجه اندازه‌گیری دو کمیت مشابه با هم قابل مقایسه باشند، استفاده از یک سطح اطمینان یکسان مطلوب است.

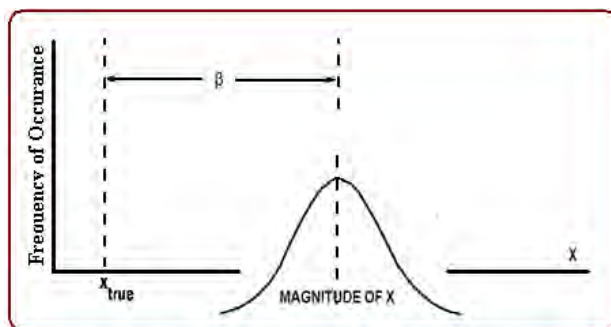
## ارزیابی کیفیت

مطابق تجربیات فراوانیکه در مطالعات حرارتیکوره‌های صنعتی 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 وظیفه‌گرماییکوره نیز 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 اطلاعاتی بیویژه گزارشات فنی و صنعتی، داده‌ها بدون اشاره به کیفیت نتایج ارائه می‌شوند. داده‌های عدم اطمینان، به طور معمول به صورت تکرارهایی از آزمایشات مشابه در نظر گرفته می‌شود. به ندرت برآورد عدم قطعیت (Uncertainty) بر اساس کالیبراسیون حرفه‌ای از امکانات و ابزارآلات (بررسی کامل از فرآیند تولید داده‌ها) و بررسی جامع از خطاهای ثابت قابل توجه ذاتی در آزمایش گزارش می‌شوند. بنابراین اتخاذ یک رویکرد منسجم در یکپارچه‌سازی عدم قطعیت و تجزیه و تحلیل کامل و حرفه‌ای مستندات عدم قطعیت برای هر آزمایش، در تمام مراحل آزمون با اهمیت است.

## روش ارزیابی عدم قطعیت

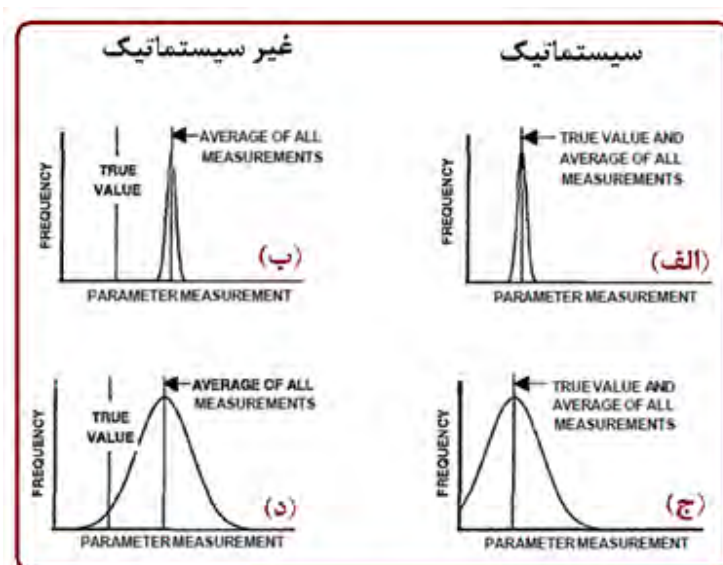
در اندازه‌گیری و نتایج تجربی استخراج شده، بدان دلیلکه ترکیب مفاهیم آماری و مهندسی به شیوه‌ای که بتواند به طور سیستماتیک در هر مرحله از تعیین عدم قطعیت و ارزیابی داده‌ها استفاده شود، ساختار بندیروش برآورد عدم قطعیت ضروری است. لذا با ارائه روش تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، کاربرد آن در مراحل مختلف یک برنامه تجربی مورد بحث قرار گرفته است. این روش عمدتاً بر اساس مرجع [۱] و سازگار با بیشتر دستورالعمل‌ها و استانداردهای بین‌المللی می‌باشد [۲ و ۳]. 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، متضمن تمایل و روند خطا به نزدیک صفر است. ارزش‌های واقعی مقادیر اندازه‌گیری استاندارد نظیر جرم، طول، زمان، ولت و غیره تنها در آزمایشگاه‌های استاندارد ملی قابل سنجش است و صرفاً در موارد نادریه 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 کمیت است و 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 در بازه‌ای با تغییرات مقدار تجربی اندازه‌گیری شده در معرض ۹۵ درصد احتمال وقوع قرار بگیرد.



شکل ۱: فراوانی دقت و خطا در اندازه‌گیری متغیر X. [۱]

تخمین عدم قطعیت به عنوان معرفی بلامنازع برای خطا بنا بر تعمیم در تعریف و طبیعت آن، خطا مشتمل بر دو جزء قابل تفکیک نظیر، خطای روش دار و نظاممند (Biased or Systematic Error) و خطای تصادفی (Precision or Random Error) می‌باشد. خطاهایی که در برگزیده پراکندگی داده‌ها باشند، خطای تصادفی و متقابلاً تحت عنوان خطای سیستماتیک یا نظاممند 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  $\beta$ ، معرف خطای سیستماتیک است. تأثیر کیفی ترکیبات مختلف از خطاهای تصادفی کوچک و بزرگ و خطای سیستماتیک در (شکل ۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: اندازه‌گیری خطا (خطای سیستماتیک، خطای تصادفی و دقت)

(الف) متضمن نمایش مقادیر اندازه‌گیری شده یک متغیر با تکرار 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 فرآیند منجر به ارزش مقدار مورد نظر شود. گام‌های مورد استفاده در فرآیندهای اندازه‌گیری مقادیر و همچنین محیطی که در آن مراحل انجام گرفته به انضمام عوامل تأثیرگذار در نتیجه، شرایطی است که محقق را در شناسایی و تعیین کمیت منابع خطایاری خواهد ساخت.

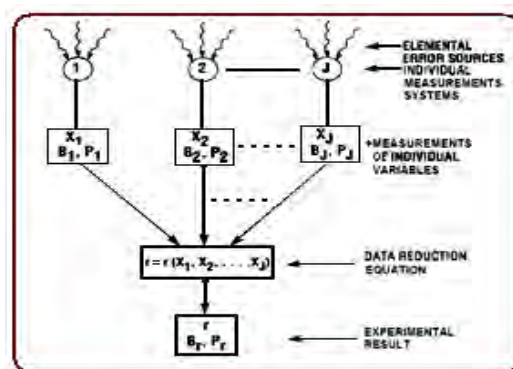
تقریباً در تمام آزمایشات، مقادیر اندازه‌گیری داده‌های مختلف با استفاده از معادله کاهش داده (Data Reduction Equation) با هم ترکیب می‌شوند و به متغیرهایی مورد نظر تبدیل می‌شوند. مثال مناسب، تعیین تجربی ضریب پسا بر بدنه یک دودکش بلند در کوره‌های حرارتی است. تعریف ضریب پسا به عنوان نمونه‌ای است که می‌تواند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

$$C_d = \frac{2F_A}{\rho V^2 A} \quad (1)$$

نمایشی کلی تر از یک معادله کاهش داده به صورت زیر است:

$$r = f(x_1, x_2, \dots, x_j) \quad (2)$$

کهننتیجه تجربی  $r$  از  $J$  متغیر اندازه گیری شده مشخص شده است. اگر  $B$  و  $P$  به عنوان برآورد مقادیر خطاهای سیستماتیک و تصادفی در نظر گرفته شوند، اثرات خطاهای متغیرهای اندازه گیری شده بر متغیر کل به صورت شماتیک در (شکل ۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: توزیع خطا در نتایج تجربی

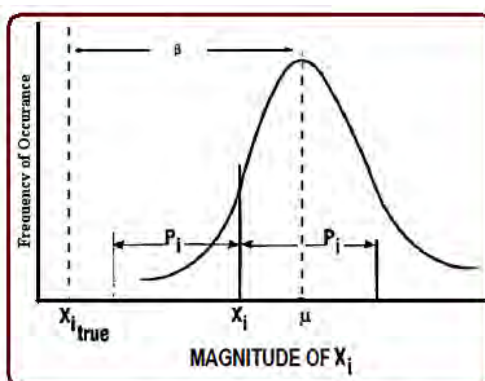
هریک از سیستم‌های اندازه گیری مورد استفاده برای اندازه گیری مقدار متغیر منحصراً بفرده توسط تعداد زیادی از منابع خطا تحت تأثیر قرار گرفته است. اثرات این خطاهای مؤلفه‌ای به عنوان خطای نظام مند (تخمین زده شده با ) و خطای تصادفی (تخمین زده شده با ) در مقادیر اندازه گیری متغیر آشکار شده است. این خطا در مقادیر، اندازه گیری شده و سپس از طریق انتشار، معادله کاهش داده، تولید خطای سیستماتیک و خطای تصادفی در جواب آزمایش ( $f$ ) می‌کند.

در فرایند تجزیه و تحلیل عدم قطعیت، عوامل مؤثر در تعیین مؤلفه‌های خطا ضروری است. به عنوان نمونه در بررسی‌های پدیدرو دینامیک می‌گازهای مختلف و جنبه‌های پدیدرو دینامیک می‌گازهای حاصل احتراق روپلوله‌های حامل خوراک در اطاق احتراق کوره‌های پالایشگاهی از مجموعه مؤلفه‌های مرتبط با اندازه گیری فشار در قسمت‌های مختلف نمی‌توان شرایط آزمون ناپایدار، سوراخ (Orifice)، لوله، سیال کاری، تقویت کننده 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 به صرفه نمی‌باشد و اندازه گیری دقت خطای تصادفی خروجی مجموعه‌ای از مؤلفه‌ها مؤثرتر می‌باشد. به این ترتیب، در سیستم اندازه گیری خطای تصادفی، فرض شده که این مؤلفه‌ها بر عدم قطعیت فشار اندازه گیری شده اثر می‌گذارند. اما همچنان استفاده از خطای تصادفیتک تکمؤلفه‌ها و لحاظ نمودن آنها در برآورد عدم قطعیت کل مناسب ترمی‌باشد.

از سوی دیگر محاسبه خطای سیستماتیک بدلیل کمتر بودن مراتب مؤلفه‌های مؤثر بر آن آسان تر است. در جایلازم نیست خطای سیستماتیک ناشی از برهمکنش اوریفیس‌های فشار را برای هر دو سوراخ فشار، جداگانه تخمین زد. با این حال، این تخمین در هر جای سیستم اندازه گیری قابل تعمیم نباشد. هر یک از اجزاء سیستم اندازه گیری باید در بزرگ‌ترین بازه ممکن کالیبره شود. چنین رویکردی در اغلب موارد، باعث حذف نیاز به محاسبه خطای سیستماتیک از اجزاء منحصراً به فرد سیستم‌های اندازه گیری است.

## 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  $\sigma$ ، محاسبه با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده در معادلات تکاهش داده‌است. در تخمین میزان خطاهای تصادفی در اندازه‌گیری متغیر  $\sigma$ ، محدوده خطای تصادفی تعریف می‌شود. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، بازه‌ی در محدود اندازه‌گیری از  $X_i$  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.



شکل ۴: محدوده خطای تصادفی با احتمال ۹۵٪ در اطراف متغیر

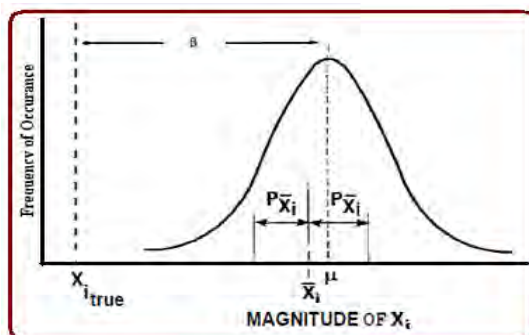
به‌منظور برآورد میزان خطاهای سیستماتیک در اندازه‌گیری متغیر  $\sigma$ ، محدوده خطای سیستماتیک تعریف شده است. محدوده خطای سیستماتیک با توجه به این موضوع تخمین زده شده که انجام‌دهنده آزمایش ۹۵ درصد مطمئن است که مقدار واقعی خطای سیستماتیک، در صورت شناخته شدن، کمتر از  $\sigma$  خواهد بود. محدوده عدم قطعیت: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

## برآورد محدوده خطای تصادفی

محدوده خطای تصادفی برای اندازه‌گیری متغیر توسط رابطه  $F_i = \sigma$  بدست می‌آید که در آن  $K$  فاکتور پوشش و برابر ۲ برای سطح اطمینان ۹۵ درصد است و  $\sigma$  انحراف استاندارد نمونه خوانده شده متغیر است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$s_i = \left( \sum_{k=1}^{N_i} \frac{[(X_i)_k - \bar{X}_i]^2}{N_i - 1} \right)^{0.5} \quad \sigma_i = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} (X_i)_k \quad (3)$$

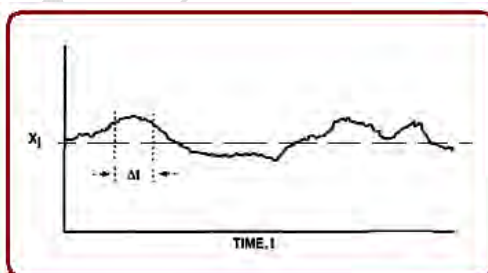
محدوده در شکل نشان داده شده است. استفاده از فاکتور پوشش معادل ۲ با فرض تعداد زیاد نمونه و توزیع گاوسی خطا است. هنگامی که میانگین مقدار به منظور تعیین نتیجه مورد استفاده قرار گیرد، محدوده خطای تصادفی مناسب که خطای تصادفی میانگین است، به صورت  $P_{\bar{X}_i} = N_i^{-1}$  تعریف می‌گردد.



شکل ۵: 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 مقادیر اکثر نقاط در نمونه چه باید کرد؟
  ۲. با علم به عدم تلقی منابع خطای تصادفی در صورت ناپایداری سیستم، تغییرات داده‌ای چگونه مورد ارزیابی قرار گیرند؟
- در ارتباط با دو عامل فوق، داده‌های خارج از محدوده، اولینرا باید ناشی از حوادث متأثر از انجام آزمایش‌ها و دیگریدر تعداد داده‌های گرفته شده در مرحله نخست داده برداری دانست. برای پیشگیری از حذف داده‌های ناخواسته تحت عنوان داده‌های خارج از محدوده بایستی آنها را از بابت پدیده‌های جریان قبل از حذف بررسی نمود.



شکل ۶: تغییرات زمانی پارامتر قابل اندازه‌گیری در شرایط پایا

در صورت بازشناسی و برآورد مطلوب خطای تصادفی، برای مجموعه‌ای از مرتبه داده خوانده شده، ملاحظه و انتخاب فاصله زمانی مناسب ضروری است. به عنوان نمونه، با در نظرگیری آزمایش‌ها طبیعت داشتن متغیرهای آزمون باتابعیت زمان در جستجوی بازه زمانی مطلوب باشیم،  $M$  مجموعه از داده‌های خوانده شده  $(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$  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 مشعل‌های صنعتی در وضعیتی رخ می‌دهد که



داده‌ها از آزمون با شرایط پایا صورت گرفته است. در اینجا اتفاقات واقعی در ها متغیر با زمان است. در این مورد، به‌طور معمول جواب آزمایش که با استفاده از معادله کاهش داده به‌دستی‌آید 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، معمولاً به‌دلیل این که بعضی از متغیرها ممکن است که دارای بازه زمانی چند ساعته یا چند روزه باشند، انجام آزمایش در تمام‌بازه زمانی‌خیر امکان‌پذیر 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 نسبتاً 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  $10^3$  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  $95\%$  از نمونه‌های آن با دقت  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  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  $b_T = 0.5^\circ\text{C}$  و متناسب با محدوده خطای سیستماتیک  $B_T = 2b_T$  و  $0.5^\circ\text{C}$  درجه سانتیگراد می‌باشد.

خطاهای کالیبراسیون، خطاهای داده‌برداری، خطای کاهش داده، خطای روش آزمون مجموعه خطاهای سیستماتیک را شامل می‌شوند که 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، مؤلفه قابل توجه وجود داشته باشد، محدوده‌های خطای سیستماتیک به تفکیک  $(B_{T1}), (B_{T2}), \dots, (B_{Tn})$  بدست می‌آید. سپس محدوده خطای سیستماتیک برای مقدار اندازه‌گیری شده  $X_j$  به‌صورت جذر مجموع مربعات ترکیبی از مؤلفه‌های محدودده‌ها به‌دستی‌آید. مؤلفه‌های محدودده‌های خطای نظام‌مند،  $(B_i)_k$  برای هر متغیر  $X_i$  با استفاده از بهترین اطلاعات در دسترس در آن زمان، تخمین زده می‌شوند.

$$B_T = \left[ \sum_{k=1}^M (B_{T_k})^2 \right]^{0.5} \quad (4)$$

روشی دیگر برای تعیین خطای سیستماتیک استفاده از اختلاف بین دو آفت است. این روش بر این اصل استوار است که در حالت آفست میانگین داده‌های یک مقدار ثابت و مشخص است، بنابراین اختلاف میانگین دو آفست باید صفر باشد. از طرفی به دلیل وجود خطای پیش‌فرض این اختلاف برای تمام داده‌ها صفر نمی‌شود. لذا با تعیین بیشترین مقدار اختلاف بین دو داده یا آفستی توانی بیشین خطای پیش‌فرض کلیه داده‌ها را تعیین و از آن به عنوان خطای پیش‌فرض استفاده کرد.

### برآورد در نتایج تجربی

خطا نتیجه واقعه‌ای است که طبق انتظار نبوده و طی یک عمل غیر مجاز یا غیرممکن حاصل گردیده است. روش دسترسی به تخمین خطاهای تصادفی و سیستماتیک در نتایج تجربی (R) متعاقب شناخت کلیات پیش‌بینی 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. محدوده  $\pm P$ ، بازه‌ای در اطراف جواب است که نتایج آزمایش در صورت تکرار با درصد اطمینان  $95\%$  محتوم

به وقوع است. محدوده خطای تصادفی شامل پراکندگی و عدم امکان طبیعتی تکرار 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. به منظور برآورد مقدار مؤلفه خطای سیستماتیک عدم قطعیت در نتیجه آزمایش، محدوده خطای سیستماتیک نتایج (B) تعریف می‌شود. محدوده این خطا نیز با درصد احتمال ۹۵٪ تخمین زده می‌شود. بازه عدم قطعیت ( $\pm U_r$ ) در اطراف جواب، عبارت از محدوده ایست که آزمایشگر با اطمینان ۹۵٪ مطمئن است که جواب صحیح در آن بازه رخ می‌دهد. عدم قطعیت با سطح اطمینان ۹۵٪ به صورت  $U_r = (B_r^2 + P_r^2)$  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 ( $\bar{r}$ )، مقدار میانگین آن ( ) بوده و به صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\bar{r} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M r_k \quad (5)$$

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

$$P_r = K \cdot S_r \cdot M^{-0.5} \quad (6)$$

که  $K$  ضریب پوشش (معمولاً معادل 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 و تکرار آزمایش فعال باشند.

گاهی با شرایطی مواجه می‌شویم که داده‌ها در بازه‌هایی از زمان اندازه‌گیری می‌شوند که نسبت به بازه تغییرات در شرایط آزمایش کوچک می‌باشند. محدوده خطای تصادفی مناسب با خواندن داده‌ها در این بازه زمانی کوچک قابل محاسبه نمی‌باشند. برای این قبیل از داده‌ها، اندازه‌گیری متغیر بایستی به صورت اندازه‌گیری واحد در نظر گرفته شود و محدوده خطای تصادفی بایستی بر پایه اطلاعات محاسبه شده در گذشته (داده‌های کالیبراسیون، 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.

$$P_r = \left[ \sum_{i=1}^I (\theta_i P_i)^2 \right]^{0.5}, \quad \theta_i = \frac{C_i}{\partial X_i} \quad (7)$$

در اینجا محدوده‌های خطای تصادفی برای مجموعه تعداد معتنا پدیدارها 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 به صورت  $r = f(X_1, X_2, \dots)$  ارائه شده باشد. محدوده خطای سیستماتیک آن که در ارتباط با محدوده‌های خطای سیستماتیک اندازه‌گیری شده از متغیرهای مجزای است به صورت زیر می‌باشد:

$$B_r^2 = \left( \sum_{i=1}^I \theta_i^2 B_i^2 \right) + 2\theta_m \theta_n \hat{B}_m \hat{B}_n \quad (8)$$

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 مجتمع‌های نفت و گاز کوره‌های فرایندی از زمره تجهیزات مهم و حیاتی واحدهای عملیاتی به شمار می‌روند. لوله‌های حامل خوراک این کوره‌ها بدلیل اینکه برای مدت زمان طولانی در معرض دمای بالا، تنش ناشی از سیال فرآیندی و محیط خورنده می‌باشند، عمر محدودی دارند و ارزیابی عمر باقیمانده آنها از جنبه اقتصادی و حفظ ایمنی تولید ضروری و مورد نیاز می‌باشد. نتیجه این ارزیابی‌ها تعویض زودهنگام لوله‌ها قبل از اتمام عمر مفید بر اساس طراحی و یا استمرار استفاده از آنها متعاقب به پایان رسیدن عمر طراحی می‌باشد. وقوع شکست در اجزاء کوره‌ها در حین سرویس محتوی خسارات فوق‌العاده‌است و حداکثر توجه برای جلوگیری از شکست این تجهیزات ضروری است. بعضی از فاکتورهای متالورژیکی و عملیاتی باعث می‌گردند عمر مفید بیشتر از عمر طراحی باشد و بالعکس. پارامترهاییکه باعث افزایش عمر مفید، بالاتر از عمر طراحی می‌گردند عبارتند از اعمال ضریب اطمینان بالا در عمر طراحی، دقت در پردازش و برون‌یابی داده‌ها، تقریبی‌تر شدن از حد تأثیر عوامل مخرب مانند اکسیداسیون در عمر طراحی. فاکتورهاییکه باعث می‌شوند عمر واقعی کمتر از عمر طراحی باشد عبارتند از تنش‌های ناخواسته و پسماند، عوامل محیطی و عملیاتی پیش‌بینی نشده در طراحی، کاربری خارج از محدوده طراحی است. لیکن آنچه مهم است تمهیدات نگهداری همراه با کنترل دقیق دما در شرایط عملیات است. روش ارزیابی عدم قطعیت، برای اجراء یا عدم انجام یک آزمایش باید با در نظر گرفتن نتیجه‌دهی 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.

مزیت تعیین مقدار عدم قطعیت برای یک آزمون، در کمک به طراحی آزمایش و پیداکردن کیفیت قابل قبول، به‌گونه‌ای است که محقق چه انتظاری از نتیجه آزمون 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 آزمایش‌های بعدی است. نتیجه آزمایش وابسته به فرایند انجام آن است. هر بخشی از مجموعه داده‌های سنسور 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 عنوان نقطه 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. عدم 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 پایان آزمایش مورد ارزیابی قرار گیرد. دو دلیل برای این پیشنهاد وجود دارد. مورد اول اینکه ارزیابی در شروع و پایان اغلب برآورد عدم قطعیت واقعی‌تر (معمولاً با مقدار کمتر) فرآیند را تولید می‌کند. مورد دوم اینکه سابقه کار ممکن است از ارزش بیشتری در

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

در جریان تبیین روش ارزیابی عدم قطعیت برای هر نتیجه تجربی معادله کاهش داده تشکیل می‌شود. متعاقباً متغیرهای مؤثر شناخته شده و منابع عدم قطعیت هر یک از آنها تعیین می‌گردد. پس از تعیین منابع عدم قطعیت اهمیت و میزان تأثیر هر یک از آنها تعیین می‌گردد. این عمل با وزن دهی 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 هر یک از متغیرها، محدوده خطاهای سیستماتیک و تصادفی تعیین می‌گردد. در اکثر آزمایشات، برآورد مؤلفه‌های محدودده‌های خطای تصادفی مقرون به صرفه نمی‌باشد و مناسب‌تر آن است که برآورد مقدار خطای تصادفی سیستم‌ها پاندازه‌گیری بدست 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. 10, 1993.
- [7]. Moffat, R.J., "Describing the Uncertainties in Experimental Results," *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 1, 1 1988.
- [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.

# SID



سرویس های  
ویژه



سرویس ترجمه  
تخصصی



کارگاه های  
آموزشی



بلاگ  
مرکز اطلاعات علمی

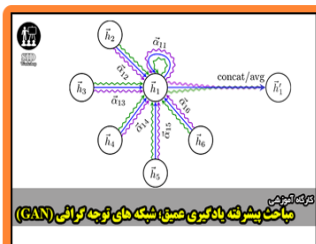


عضویت در  
خبرنامه



فیلم های  
آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛  
شبکه های توجه گرافی  
(Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین آموزش استفاده از  
وب آوساینس



کارگاه آنلاین مقاله روزمره انگلیسی