

« به نام خدا »

راهنمای علمی اندازه گیری

راهنمای عدم قطعیت اندازه گیری برای مبتدیان

هدف این راهنما، معرفی عدم قطعیت اندازه گیری هاست. تمامی اندازه گیری ها تابع عدم قطعی ها هستند. زمانی نتایج اندازه گیری کامل می شود که با توصیف عدم قطعی های آن همراه باشد. عدم قطعی های اندازه گیری ممکن است از ابزار اندازه گیری، موضوع مورد اندازه گیری، محیط، متصدی اندازه گیری یا از منابع دیگر ناشی شده باشد. چنین عدم قطعیت هایی از طریق تجزیه و تحلیل آماری مجموعه ای از اندازه گیری ها و بکارگیری انواع اطلاعات در زمینه اندازه گیری مورد سنجش قرار می گیرند.

در همین راستا، قوانین و مقرراتی درباره چگونگی محاسبه سنجش کلی روند اندازه گیری منتشر شده است. بکارگیری تجربیات مفید مثل کالیبراسیون قابل تعقیب، محاسبات دقیق، نگهداری سابقه (بایگانی) مناسب، رسیدگی های بموقع، عدم قطعیت اندازه گیری را کاهش می دهد.

زمانی صلاحیت پیشنهاد اندازه گیری مورد قضاوت شایسته قرار می گیرد که عدم قطعیت های یک اندازه گیری تماماً مورد ارزیابی قرار گرفته و جزء به جزء تشریح شده باشند.

پیشگفتار

آندسته از افرادی که در زمینه عدم قطعیت در اندازه گیری دانش کافی ندارند می توانند جهت فراگیری مطالبی در مورد موضوع فوق از این کتاب راهنما استفاده کنند. این کتاب برای افرادی از قبیل تکنسین ها، مدیران آزمایشگاههای کالیبراسیون و تست نمونه، تکنسین ها و مدیران کارخانجات، بازاریابان فنی، محققان و دانش پژوهان، دانشجویان، اساتید و علاقمندان به موضوع اندازه گیری مفید خواهد بود. کتاب راهنمای فوق به تمام تجزیه و تحلیل عدم قطعیت های اندازه گیری نمی پردازد، ولی با پرداختن به موضوعات اساسی خواننده را جهت درک بهتر مفاهیم پیشرفته و رسمی تر آماده می سازد. نشریات رسمی مثل، سرویس اعتباری بریتانیا (UKAS) چاپ سال ۲۰۰۳، تعریف عدم قطعیت و اطمینان در اندازه گیری، نشریه EA-4/02 همکاری های اروپا در اعتبارات (EA)، تعریف عدم قطعیت در اندازه گیری و کالیبراسیون.

بسیاری از مردم از اندازه گیری هراس دارند. در پیش پا افتاده ترین آزمایشگاهها تا بزرگترین انجمن های آکادمیک دنیا نسبت به موضوع اندازه گیری سوء تفاهم و اختلاف سلیقه وجود دارد. اگرچه اندازه گیری به نظر یک موضوع بسیار پیچیده می رسد ولی قابل حل نیز می باشد. به همین دلیل نیاز به راهنمایی با کلامی ساده برای خوانندگان غیرفنی احساس می شود. به همین منظور کتاب حاضر با ارائه مثال هایی از موضوعات روزمره سعی کرده است با بیانی ساده نه به کلیات بلکه به مفاهیم اساسی و عدم قطعیت ها و شک های موجود در اندازه گیری به طور کاملاً قابل درک بپردازد. تمامی مطالب با مثالهای مناسب عاری از هرگونه اشتباه است ولی خیلی کامل نبوده و به موارد استثنایی و خیلی بغرنج نیز نمی پردازد. (بخش ۱۵، « هشدارها » فقط به طور خلاصه به بعضی از مواردی که روش های بنیادی آن در کتاب اشاره شده به صورت فهرست وار آمده است). بخش های اولیه کتاب به بیان مفهوم و اهمیت عدم قطعیت اندازه گیری پرداخته شده است. بخشهای بعدی چگونگی سنجش و تخمین عدم قطعیت ها در محیط های واقعی اندازه گیری را توضیح می دهد. کتاب به طور مرحله به مرحله با محاسبه عدم قطعیت و اندازه گیری و مثال های آسان شروع می شود.

در پایان فهرست لغات، اختارها و فهرستی از نشریات مختلف برای مطالعه بیشتر آمده است. در پایان از John Hurll از UKAS و Maurice Cox از NPL بخاطر کمک های بی شائبه اش در امر تهیه کتاب و دیگر عزیزانی که با پیشنهادات و انتقادات خود را در این باره یاری رساندند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

Stephanie Bell

۱- اندازه گیری

۱-۱- اندازه گیری چیست؟

اندازه گیری ویژگی چیزی را بیان می کند. مثل میزان سنگینی، گرما یا بلندی یک جسم. اندازه گیری به آن ویژگی یک عدد می دهد. در اندازه گیری از ابزار مختلفی مثل خط کش، کرونومتر، ترازو و دماسنج استفاده می شود. نتیجه اندازه گیری معمولاً دو قسمت دارد: یک عدد و یک واحد اندازه گیری. مثل: "طول آن شی چقدر است؟ ۲ متر"

۱-۲- چه چیزهایی اندازه گیری به شمار نمی رود؟

بعضی فرایندها به نظر نوعی اندازه گیری می آیند ولی در واقع اندازه گیری محسوب نمی شوند. مثلاً مقایسه دو رشته ریسمان جهت تعیین ریسمان بلندتر، اندازه گیری نیست. شمارش هم اندازه گیری نیست. اکثر تست ها هم اندازه گیری نیستند: پاسخ تست معمولاً به "بله / خیر" یا "قبول / مردود" می انجامد. (با وجود این، ممکن است اندازه گیری ها قسمتی از فرآیندی باشد که به پاسخ یک تست منجر شود).

۲- عدم قطعیت در اندازه گیری

۱-۲- عدم قطعیت اندازه گیری چیست؟

عدم قطعیت یک اندازه گیری اطلاعاتی را در مورد کیفیت یک شی بیان می کند. عدم قطعیت اندازه شک و گمانی است که در نتیجه هر اندازه گیری پدید می آید. ممکن است تصور کنید ساعت، کرونومترهای مدرن کاملاً قابل اعتماد بوده و نتیجه درستی از اندازه گیری ارائه می دهند. ولی در بسیاری از اندازه گیری ها، حتی دقیق ترین آنها، جای شک و تردید وجود دارد. این موضوع در محاوره با عبارت "با حساسیت عدد کم و زیاد" بیان می شود. مثلاً این عصا دو متر طول دارد با حساسیت یک سانتی متر کم و زیاد.

۲-۲- اصطلاح

شک و تردید در هر اندازه گیری وجود دارد. ولی باید به سؤال های زیر پاسخ داد. سؤال هایی از قبیل: "میزان آن شک چقدر است؟" و یا اینکه آن شک تا چه حد فاحش است "بنابراین برای تعیین کمیت آن شک به دو عدد نیاز داریم. یکی برای پهنای حاشیه (Width of margin) یا تفاوت احتیاطی یا فاصله (interval) و دیگری سطح اطمینان (Confidence level) که میزان ارزش واقعی محدوده آن حاشیه یا تفاوت احتیاطی را نشان می دهد. مثال: چوب پرده ای به طول ۲۰ سانتی متر + ۱، با ۹۵٪ سطح اطمینان را به صورت زیر می نویسیم:

با سطح اطمینان ۹۵٪ و $20\text{ cm} + 1\text{ cm}$

عبارت بالا بیان می کند؛ ۹۵ درصد اطمینان داریم که چوب پرده بین ۱۹ تا ۲۱ سانتی متر طول داشته باشد راه دیگر برای بیان سطوح اطمینان وجود دارد که در بخش ۱۷ درباره آن بیشتر صحبت خواهیم کرد.

۲-۳- "خطا" در مقابل "شک"

نکته مهم قابل ذکر آن است که بین اصطلاحات "خطا" و "شک" نباید اشتباه شود. "خطا" تفاوت بین ارزش اندازه گیری شده و "ارزش واقعی" موضوع مورد اندازه گیری است. "شک" تعریف و تعیین خاصیت شک ناشی از نتیجه اندازه گیری است. با این حال سعی ما بر این است که خطاهای شناخته شده را تصحیح کنیم. مثلاً با استفاده از شناسنامه های کالیبراسیون، ولی منبع شک همان خطاهایی هستند که ارزششان مشخص نیست.

۲-۴- چرا عدم قطعیت اندازه گیری مهم است؟

برای بدست آوردن اندازه گیری با کیفیت بالا به عدم قطعیت اندازه گیری نیاز داریم. با وجود این، دلایل خاص دیگری برای در نظر داشتن عدم قطعیت اندازه گیری وجود دارد. اندازه گیری ها ممکن است قسمتی از یکی از موارد زیر باشد:

کالیبراسیون: زمانی که عدم قطعیت اندازه گیری باید در یک گواهینامه گزارش شود.

تست: زمانی که عدم قطعیت فقط برای تعیین "قبولی / مردودی" باشد.

تولرانس: زمانی که پیش از تصمیم گیری هنگام مواجه نشدن با تولرانس نیاز به عدم قطعیت وجود داشته باشد.

۳- گرفتن آمار پایه در یک رشته اعداد

۳-۱- تا سه نشه، ... - خطای اپراتور

این ضرب المثل بیان می کند که با نظارت دوباره و سه باره پیش از شروع فرآیند خطر اشتباه کردن کاهش می یابد. سه بار اندازه گیری ایده آل است. یک بار اندازه گیری به این معناست که یک اشتباه می تواند به طور کلی نادیده انگاشته شود. اگر دوبار اندازه گیری شود هر دو نتیجه با یکدیگر انطباق نخواهد داشت و نمی توانید تصمیم بگیرید کدامیک "خطا" است. ولی با سه بار اندازه گیری از سه پاسخ بدست آمده به پاسخی که شبیه به آن دو دیگری نباشد می توانید مشکوک شوید.



Laksar Co.

برای جلوگیری از اشتباهات فاحش یا " خطاهای اپراتور " عاقلانه تر آن است که هر اندازه گیری را سه بار تکرار کنید. اما عدم قطعیت اندازه گیری واقعاً از خطای اپراتور نیست. دلایل قانع کننده دیگری برای تکرار سه باره اندازه گیری وجود دارد.

۲-۳- محاسبات آماری پایه

با مطالعه بسیار انجام محاسبات آماری پایه می توان میزان اطلاعات بدست آمده از اندازه گیری ها را افزایش داد. مهمترین محاسبات آماری معدل یا میانگین ریاضی (arithmetic mean) و انحراف استاندارد (Standard deviation) را برای یک رشته اعداد پیدا می کند.

۳-۳- بدست آوردن بهترین سنجش - یافتن معدل کل اعداد

چنانچه اندازه گیری های تکرار شده پاسخ های متفاوتی ارائه دهد، اشتباه از جانب شما نبوده است و احتمالاً بواسطه واریاسیونها یا بی ثباتی های طبیعی بوده است. (مثلاً در اندازه گیری سرعت باد، به طور قطع یک ارزش ثابت و یکنواختی نخواهید داشت) یا شاید ابزار اندازه گیری کارش را کاملاً به طور پایدار انجام نداده است. مثلاً اگر نوار اندازه گیری کشیده شود نتایج متفاوتی هم می دهد.

اگر در اعداد تکرار شده تغییراتی دیده می شود بهتر است از اعداد بیشتری استفاده و از آنها یک میانگین گرفته شود. گرفتن میانگین، تخمینی از ارزش " واقعی " ارائه می دهد. یک میانگین یا معدل ریاضی را با نماد X نشان می دهند. شکل ۱ تصویری از یک رشته از ارزشها معدل هایشان را نشان می دهد. مثال محاسبه یک معدل ریاضی را نشان می دهد.

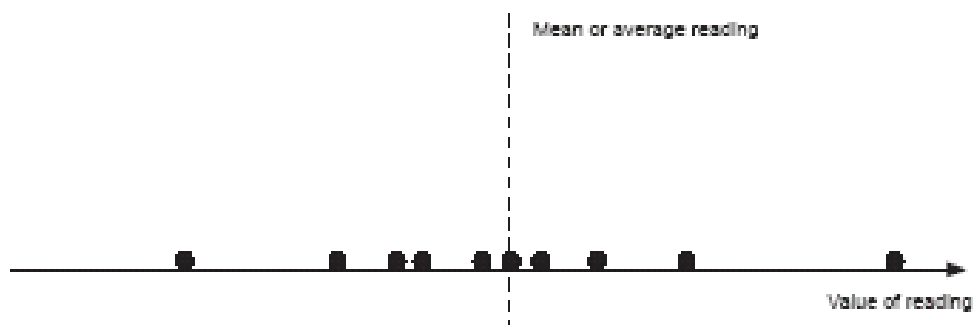


Figure 1. 'Blob plot' illustrating an example set of values and showing the mean

۳-۴- از چند عدد می توان میانگین گرفت ؟

هرچه تعداد اندازه گیری ها بیشتر باشد به همان نسبت ارزش واقعی بهتری بدست خواهد آمد. یافتن میانگین یک رشته نامحدود از ارزشها امری است ایده آل. با داشتن نتایج بیشتر بدست آوردن میانگین ایده آل آسانتر خواهد بود. چه تعداد عدد مناسبتر خواهد بود ؟ ده تا، به نظر انتخاب خوبی است و از نظر محاسبات ریاضی آسانتر عمل می کند. ۲۰ عدد هم از ۱۰ بهتر خواهد بود یا حتی ۵۰ عدد از ۲۰ هم مناسبتر خواهد بود.

مثال : میانگین و معدل ریاضی تعدادی از ارزش ها

Laksar Co.

تصور کنید یک مجموعه اعداد ۱۰ تایی در اختیار دارید. برای بدست آوردن معدل، آنها را با هم جمع و سپس بر تعداد اعداد (در این مثال ۱۰ عدد) تقسیم می کنیم.

۱۳ و ۱۷، ۱۵، ۲۰، ۱۹، ۱۷، ۱۶، ۱۸، ۱۹، ۱۶

نتیجه بدست آمده :

جمع آنها : ۱۷۰

۱۷۰

معدل : ۱۷ = -----

۱۰

۳-۴- گستردگی انحراف استاندارد (Spread ... standard deviation)

با گرفتن نتایج متفاوت از اندازه گیری های مکرر، میزان گستردگی آن رشته اعداد را بدست می آوریم. گستردگی اعداد اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت اندازه گیری ارائه می دهد. با علم به این میزان گستردگی، می توانیم تشخیص و نتیجه گیری در مورد کیفیت اندازه گیری ها را شروع کنیم.

گاهی اوقات دانستن محدوده بین بیشترین و کمترین اعداد کافی است. ولی در بعضی از مجموعه های کوچک ممکن است اطلاعات مفیدی ارائه ندهد.

روش مرسوم جهت تعیین کم و کیف گستردگی را انحراف استاندارد می گویند. انحراف استاندارد یک مجموعه اعداد، اختلاف اعداد به طور انفرادی با میانگین آن مجموعه را بیان می کند. به طور کلی دو سوم تمام اعداد بین مثبت و منفی (+) یک را انحراف استاندارد میانگین هستند. تقریباً ۹۵٪ عددها بین دو انحراف استاندارد واقع می شوند. این "قانون" بیشتر اوقات جواب می دهد ولی به هیچ وجه مطلق نیست.

ارزش "واقعی" (True Value) برای انحراف استاندارد را فقط می توان از یک مجموعه بسیار بزرگ (بی نهایت) اعداد پیدا کرد. از یک عدد محدود (Moderate number) ارزشها، فقط می توان یک سنجش از انحراف استاندارد بدست آورد. نماد (S) معمولاً برای نشان دادن (estimated standard deviation) بکار می رود.

۳-۵- محاسبه یک انحراف استاندارد تخمین زده شده

محاسبه انحراف استانداردها آنچنان ساده نمی باشد. ولی می توان به صورت زیر عمل کرد :

تصور کنید یک رشته اعداد n در اختیار داریم (از همان رشته اعداد ۱۰ تایی بالا استفاده می کنیم). با محاسبه میانگین شروع می کنیم :

میانگین ۱۰ عدد بالا یعنی ۱۶، ۱۹، ۱۸، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۱۵، ۱۷، ۱۳ ===== ۱۷ می شود.

سپس اختلاف هریک از اعداد را با میانگین بدست آمده را پیدا می کنیم.

مثلاً -۱، +۲، +۱، -۱، ۰، +۲، +۳، -۲، -۴، ۰

در مرحله بعد هریک را به توان ۲ می رسانیم یعنی ،

۱۶، ۰، ۴، ۹، ۴، ۰، ۱، ۱، ۴، ۱

بعد جمع همه اعداد بدست آمده را بر رشته اعداد ۱۰ تایی منهای ۱ تقسیم می کنیم :

Laksar Co.

$$\frac{16 + 0 + 4 + 9 + 4 + 0 + 1 + 1 + 4 + 1}{10 - 1} = \frac{40}{9} = 4/44$$

S یعنی انحراف استاندارد تخمین زده شده از طریق جذر عدد بدست آمده ، پیدا می شود.

به طور کلی فرآیند محاسبه انحراف استاندارد تخمین شده یک رشته اعداد n تایی با فرمول زیر انجام می گیرد :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

نکته : بهترین راه برای روش بالا این است که یک کلید عملگر **Function Key** در ماشین حساب تعیین نمائید تا انحراف استاندارد را تخمین کند. رشته اعداد را در حافظه ماشین حساب وارد کنید تا کلید مورد نظر، انحراف و اعداد را معین کند.

۳-۶- برای پیدا کردن انحراف استاندارد تخمین زده شده به چند رشته عدد نیاز است؟

تکرار می کنم، هرچه تعداد اعداد رشته اعداد بیشتر باشد عمل تخمین انحراف استاندارد بهتر انجام خواهد شد. در این مورد تخمین عدم قطعیت است که با افزایش رشته اعداد افزایش می یابد (نه تخمین میانگین، یا نتیجه نهائی) . در موقعیت های عادی ۱۰ عدد کافی است. برای تخمین دقیقتر، اعداد بیشتری مورد نیاز است. (جهت اطلاع بیشتر به بخش ۱۶ مراجعه کنید).

۴- خطاها و عدم قطعی ها از کجا ناشی می شوند؟

موارد بسیاری وجود دارند که یک اندازه گیری را دچار اشکال می کنند. این مشکلات ممکن است مرئی یا نامرئی باشند. زیرا اندازه گیری های واقعی هرگز تحت شرایط کاملی صورت نمی گیرد، در این صورت خطاها و عدم قطعیت ها از موارد ذیل ناشی می شوند.

- ❖ **ابزار اندازه گیری :** ابزار مورد نظر از خطاهائی مثل کج شدگی، تغییرات ناشی از طول عمر، از بین رفتن پوشش ، خش افتادگی، پارازیت ها (در وسایل الکتریکی) ناخوانایی روی ابزار و موارد دیگر بوجود می آیند.
- ❖ **جسم مورد اندازه گیری :** جسمی که ممکن است اصلاً ثابت نباشد. (مثل اندازه گیری یک قالب یخ)
- ❖ **فرآیند اندازه گیری :** اندازه گیری خود فرآیند مشکلی است. مثلاً، اندازه گیری وزن یک موجود زنده و خیلی ریز.

عدم قطعی های " وارد شده " : کالیبراسیون ابزار، خود، یک عدم قطعیت دارد که ناشی از همان اندازه گیری می باشد. (به خاطر داشته باشید عدم قطعیت بدست آمده ای که کالیبره نشده است از هر چیزی زیانبارتر است)



Visual alignment is an operator skill. A movement of the observer can make an object appear to move. 'Parallax errors' of this kind can occur when reading a scale with a pointer.

مهارت مسئول اندازه گیری : بعضی از اندازه گیری ها به مهارت و قضاوت مسئول اندازه گیری بستگی دارد. امکان دارد فردی بهتر و دقیقتر از فرد دیگری اندازه گیری کند، یا جزئیات را بهتر از دیگری با چشم مشاهده نماید. در استفاده از ابزاری مثل ساعت وقت نگه دار به زمان عکس العمل یک فرد بستگی دارد. (اما اشتباهات فاحش یک موضوع کاملاً جدا می باشد که به موضوع عدم قطعیت ربطی ندارد.)

موارد آزمایش : اندازه گیری هایی که انجام می دهید باید دقیقاً نشان دهنده آن چیزی باشد که سعی بر ارزیابی آن دارید. اگر می خواهید دمای جای بخصوصی را تعیین کنید نباید آن را با دماسنجی که روی دیوار نزدیک هواکش نصب شده اندازه بگیرید. اگر می خواهید نمونه هایی از تولید یک کارخانه انتخاب نمایید، نباید از ۱۰ محصول اولی که صبح روز اول هفته تولید شده انتخاب کنید.

محیط : دما، فشار هوا، رطوبت، سایر شرایط دیگر. محیطی بر روی ابزار اندازه گیری یا جسم مورد اندازه گیری شده تأثیر می گذارد.

آنجا که اندازه، میزان و تأثیر یک خطا شناخته شده باشد (مثلاً از یک شناسنامه کالیبراسیون) ، یک غلط گیر یا اصلاح کننده نیز برای اصلاح نتیجه اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرد. ولی معمولاً عدم قطعیت های ناشی از این منابع و یا منابع دیگر، " ورودی های " انفرادی هستند که به عدم قطعیت کلی اندازه گیری کمک می کند.

۵- انواع کلی عدم قطعیت در هر اندازه گیری (Random or systematic)

۵-۱- تصادفی یا نظام مند

اسبابی که باعث بیشتر شدن عدم قطعیت در اندازه گیری می شود ممکن است از دو نوع ذیل باشد :

Laksar Co.

❖ **تصادفی** : موقعی است که با تکرار اندازه گیری نتایج مختلف و تصادفی بدست می آید. در این صورت، هرچه تعداد اندازه گیری بیشتر باشد، نتیجه های بهتری بدست خواهد آمد.

❖ **نظام مند** : زمانی که تأثیرات مشابهی بر هریک از اندازه گیری تکرار شده اعمال می شود (ولی قادر به بیان آن نیستند). در این مورد، شما کاری بیشتر از تکرار اندازه گیری نخواهید داشت. روش های دیگری جهت ارزیابی عدم قطعیت ها از طریق تأثیرات نظام مند وجود دارد، مثل : اندازه گیری های متفاوت.

۲-۵- توزیع - شکل خطاها (Distribution)

گسترش و توزیع مجموعه ای از مقادیر، شکل های مختلفی بخود می گیرند که توزیع های احتمالی نیز نامیده می شوند.
(Probability distribution)

۱-۲-۵- توزیع معمولی

گاهی اوقات، در یک سری از رشته اعداد، احتمال نزدیکی مقادیر به میانگین ایجاد می شود. به این نوع ، توزیع معمولی یا (Gaussian) می گویند. این نوع توزیع را در بلندی قد یک گروه بزرگ از مردان می توان مشاهده نمود. اکثر مردان ده های متوسطی دارند. یعنی نه خیلی بلند قد هستند نه خیلی کوتاه قد.

شکل ۲ یک رشته ۱۰ تایی از مقادیر " تصادفی " در یک توزیع تقریباً معمولی نشان داده شده است. طرح ساده یک توزیع معمولی در شکل ۳ نشان داده شده است.

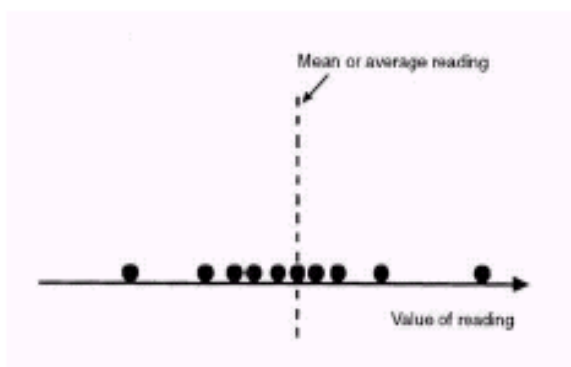


Figure 2. 'Blob plot' of a set of values lying in a normal distribution

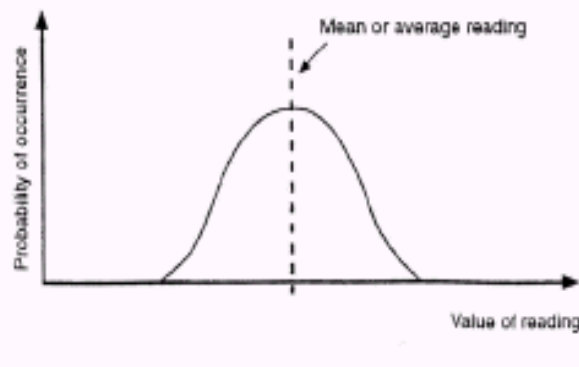


Figure 3. Sketch of a 'normal' distribution

۲-۲-۵- توزیع متحدالشکل یا مربعی

هنگامی که اندازه گیری ها کاملاً بین بزرگترین و کوچکترین مقادیر پخش شده باشد، توزیع متحدالشکل یا مربعی ایجاد می شود. به طور مثال، این توزیع را می توان در چگونگی افتادن قطرات باران بر روی یک سیم تلفن نازک و صاف آزمایش کرد.

شکل ۴ یک سری مقادیر " تصادفی " ۱۰ تایی در یک توزیع کاملاً مربعی نشان می دهد طرح ساده یک توزیع مربعی در شکل شماره ۵ نشان داده شده است.

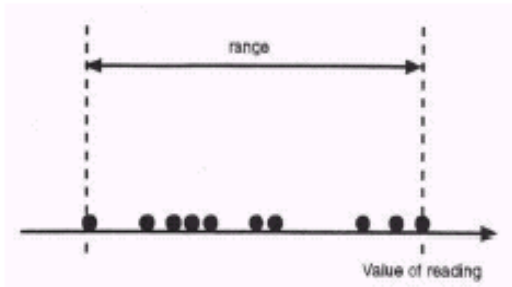


Figure 4. 'Blob plot' of a set of values lying in a rectangular distribution.

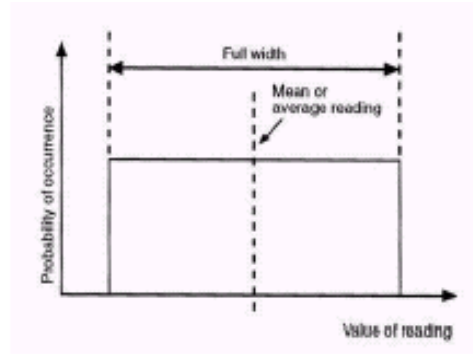


Figure 5. Sketch of a rectangular distribution.

۳-۲-۵ توزیع های دیگر

توزیع ها به ندرت اشکال دیگری، مثلاً سه گوش، M شکل یا موربی به خود می گیرند.

۳-۵- چه چیزهایی عدم قطعیت اندازه گیری محسوب نمی شوند؟

اشتباهات صورت گرفته شده از سوی مسئول اندازه گیری، عدم قطعیت اندازه گیری محسوب نمی شود. زیرا می توان از طریق دقت در کار و نظارت و کنترل از آن جلوگیری نمود.

تولرانس (Tolerance) ها جزء عدم قطعی ها نیستند. مشخصات یک شیء محدوده انتظاراتان را از یک محصول بیان می کند. شاید این مشخصات بسیار گسترده باشد مثل خواص " غیر فنی " یک محصول ، که می تواند ظاهر یک محصول باشد. (بخش ۱۰ را مطالعه کنید.)

درستی و نادرستی نیز عدم قطعیت نیستند. متأسفانه ، این کلمات در بسیاری از کتاب ها با هم اشتباه می شوند. " درستی " یک واژه چونی و کیفی است. (مثلاً یک اندازه گیری درست است یا نادرست). ولی عدم قطعیت یک واژه کمی و چونی است. زمانی که از مثبت و منفی بودن یک رقم صحبت می شود، از عدم قطعیت صحبت می شود نه درستی و نادرستی.

خطاها هم شبیه به عدم قطعیت ها نیستند (گرچه در گذشته از این واژه در error analysis استفاده می شده)، تجزیه و تحلیل آماری نیز جزء عدم قطعی ها نیستند. آمارها، تمام نتایجی را ترسیم می کند که به خودی خود چیزی در مورد عدم قطعیت ها بیان نمی کند. تجزیه و تحلیل عدم قطعیت فقط یکی از کاربردهای آمار می باشد.

۶- چگونگی محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری

جهت محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری، اول باید منابع عدم قطعیت در یک اندازه گیری را تعیین کرد. سپس باید میزان آن عدم قطعیت از هر منبع را ارزیابی نمود. در آخر با ترکیب هریک از عدم قطعی ها می توان یک شکل کلی بدست آورد. قوانین واضح و روشنی برای ارزیابی میزان سهم هریک از عدم قطعی ها و ترکیب آنها با هم وجود دارد.

۱-۶- دو روش برای تخمین عدم قطعی ها

Laksar Co.

دو روش جهت ارزیابی عدم قطعی ها صرفنظر از منابع عدم قطعی ها وجود دارد : ۱- تیپ A و تیپ B ، در اکثر اندازه گیری ها از هر دو تیپ ارزیابی استفاده می شود.

ارزیابی های تیپ A : سنجش عدم قطعی ها با استفاده از آمار (معمولاً از اعداد تکراری)
ارزیابی های تیپ B : سنجش عدم قطعی ها با استفاده از هر اطلاعاتی. این اطلاعات می تواند از تجربیات گذشته اندازه گیری باشد یا از یک مشخصات کالیبراسیون، یا خصوصیات تولید کنندگان، یا از محاسبات، یا اطلاعات منتشره، یا برگرفته شده از یک عقل سلیم باشد.

می توان گفت تیپ A : تصادفی و تیپ B یک ارزیابی نظام مند است ولی همیشه صحت ندارد. چطور می توان اطلاعات برگرفته شده از ارزیابی های تیپ A و تیپ B را توضیح داد.

۲-۶- ارزیابی هشت مرحله عدم قطعیت

۸ مرحله ارزیابی عدم قطعیت یک اندازه گیری به شرح ذیل می باشد :

۱ : به هر آنچه که برای پی بردن به اندازه گیری ها نیاز دارید بیاندیشید. مشاهده کنید چه چیزهایی برای بدست آوردن نتیجه نهائی از اندازه گیری ها و محاسبات واقعی نیاز است.

۲ : اندازه گیری های مورد نیاز را انجام دهید.

۳ : عدم قطعیت هر مقدار ورودی را که به نتیجه نهائی می انجامد ارزیابی کنید. تمامی عدم قطعی ها را در شرایط یکسان بیان کنید. (بخش ۷-۱)

۴ : تعیین کنید که آیا خطاهای مقادیر ورودی از سایرین مستقل هستند یا خیر ؟ اگر تصور می کنید که مستقل نیستند پس به محاسبات و اطلاعات اضافی نیاز خواهید داشت. (بخش ۷-۳)

۵ : نتیجه اندازه گیریتان را محاسبه نمائید. (که شامل هرگونه اصلاحات نیز می شود).

۶ : عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده را از تمامی وجوه پیدا کنید.

۷ : عدم قطعیت را برحسب فاکتور Coverage (بخش ۷-۴) ، با اندازه اختلاف عدم قطعیت بیان کرده و سطح اطمینان را نیز شرح دهید.

۸ : نتایج اندازه گیری و عدم قطعیت را ثبت کرده و چگونگی بدست آوردن آنها را بیان کنید. (بخش ۸)

۷- مواردی که باید قبل از محاسبه عدم قطعیت در نظر گرفته شود :

بیان ترکیب عدم قطعی ها پیش از وقوع ترکیب آنها، بنابراین، تمامی عدم قطعی ها باید در واحدهای مشابه و در یک سطح اطمینان مشابه ارائه شود.

۷-۱- عدم قطعیت استاندارد :

تمام عدم قطعی های درهم ترکیب شده باید در سطح اطمینان مشابه از طریق تبدیل کردن آنها به عدم قطعی های استاندارد بیان شوند. یک عدم قطعیت استاندارد، اختلاف (تفاوتی) است که اندازه آن را می توان همچون " مثبت و منفی یک انحراف استاندارد " تلقی نمود. عدم قطعیت استاندارد درباره عدم قطعیت یک میانگین (نه درباره گسترش مقادیر) صحبت می کند. انحراف استاندارد معمولاً با نماد " u " یا " y " نمایش داده می شود.

Laksar Co.

۷-۱-۱- محاسبه عدم قطعیت استاندارد برای یک ارزیابی تیپ A وقتی که یک رشته اعداد ترکیبی (برای سنجش تیپ A عدم قطعیت) ، میانگین ، X ، و انحراف استاندارد تخمین شده، S ، را میتوان برای آن رشته محاسبه نمود. عدم قطعیت استاندارد یعنی U ، از فرمول زیر بدست می آید.

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

n ، تعداد اندازه گیری ها در یک رشته می باشد (عدم قطعیت میانگین را انحراف استاندارد میانگین نیز می گویند و هم خطای استاندارد میانگین هم گفته می شود).

۷-۱-۲ محاسبه عدم قطعیت در ارزیابی تیپ B به هنگام کمبود اطلاعات (در بعضی از ارزیابی های تیپ B) فقط می توان محدوده های بالا و پائین عدم قطعیت را اندازه گیری کرد. سپس اجباراً می توان فرض را بر این داشت که ارزش (Value) احتمالاً در جایی بین توزیع مربعی یا متحدالشکل قرار می گیرد. عدم قطعیت استاندارد برای یک توزیع مربعی از فرمول زیر بدست می آید.

$$\frac{a}{\sqrt{3}}$$

a = نیم ردیف ، نصف حدود بالا، و پائین (semi-range)

معمولاً توزیع مربعی و متحدالشکل زیاد اتفاق می افتد، ولی اگر دلیل موجهی برای وقوع نوع دیگری از توزیع داشته باشید می توانید پایه و اساس محاسبه را برآن توزیع قرار دهید. به طور مثال، می توان بر این گمان بود که عدم قطعی هائی از گواهی کالیبراسیون برای ابزار اندازه گیری (imported) وارد می شود توزیع طبیعی دارد.

۷-۱-۳ تبدیل عدم قطعی ها از یک واحد اندازه گیری به واحد اندازه گیری دیگر (Contributions) ترکیبات عدم قطعیت باید پیش از ترکیب ، در یک واحد خاص بوده باشند، همان طور که نمی توان سیب را با گلابی مقایسه کرد.

مثلاً ، در اندازه گیری طول، عدم قطعیت با واژه طول بیان می شود. ممکن است یک منبع عدم قطعیت تنوع دمای اتاق باشد. اگرچه منبع (source) این عدم قطعیت دما است، ولی " اثر (effect) برحسب طول است و باید برحسب طول محاسبه شود. بر همگان آشکار است که مواد مختلف در اثر تغییرات دمای هوا 0.1 درصد اختلاف طول پیدا می کنند. در این مورد، عدم قطعیت دما، ۲ + درجه سانتی گراد 0.2 + عدم قطعیت طول در یک احاده ۱۰۰ سانتی متری (طول) را می دهد.

همین که عدم قطعیت های استاندارد در واحدهای ثابت بیان شدند، عدم قطعیت ترکیب شده با استفاده از یکی از روش های زیر بدست می آیند.

۷-۲ ترکیب عدم قطعیت های استاندارد

عدم قطعیت های استاندارد و انفرادی که از طریق ارزیابی های تیپ A و تیپ B محاسبه شده اند می توانند از طریق " جمع بندی (افزایش) چهارگانه (Summation in quadrature) ترکیب شوند. در نتیجه عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده که با نماد Uc یا Uc(y) نمایش داده می شود بدست می آید.

Laksar Co.

افزایش چهارگانه درجایی که نتیجه اندازه گیری از طریق جمع و تفریق بدست آمده باشد بسیار آسانتر می باشد.

۱-۲-۷- افزایش چهارگانه برای جمع و تفریق

ساده ترین مورد آنجاست که نتیجه، مجموع یک سری از مقادیر اندازه گیری شده باشد (چه جمع شده باشند چه تفریق شده باشند) مثلاً، احتیاج است که طول کامل پرچینی را که با پنل هایی با طول های متفاوت ساخته شده است را بدست آورید. اگر به عدم قطعیت استاندارد (برحسب متر) در طول هریک از پنل های پرچین نام های a و b و c و ... داده شود؛ آنگاه عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده (برحسب متر) برای کل پرچین از طریق به توان ۲ رساندن عدم قطعیت ها بدست می آید، از طریق فرمول زیر :

$$\text{Combined uncertainty} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots \text{etc.}}$$

عدم قطعیت ترکیب شده

۲-۲-۷- افزایش چهارگانه برای ضرب و تقسیم

موارد پیچیده تر را می توان محاسبه ساده تر کرد. مثلاً می خواهید ناحیه A از یک فرش مربع شکل را محاسبه کنید، با ضرب طول L در عرض W (i.e. $A = L \times W$) ، عدم قطعیت نسبی یا کسری در ناحیه ای از فرش را می توان از عدم قطعیت های کسری در طول و عرض بدست آورد. برای طول L با عدم قطعیت $U(L)$ ، عدم قطعیت نسبی $U(L)/L$. برای عرض W ، عدم قطعیت نسبی می شود $U(W)/W$. در پایان عدم قطعیت نسبی $U(A)/A$ از فرمول زیر بدست می آید :

$$\frac{u(A)}{A} = \sqrt{\left(\frac{u(L)}{L}\right)^2 + \left(\frac{u(W)}{W}\right)^2}$$

برای مواردی که نتیجه از راه ضرب سه فاکتور با هم بدست می آید، معادله بالا، دارای سه عبارت خواهد بود. این معادله در موردی که نتیجه آن خارج قسمتی از دو مقدار است صدق می کند (مثلاً یک عدد با عدد دیگر تقسیم می شود، مثلاً طول بر عرض تقسیم می شود). به عبارت دیگر، این مشکل از معادله تمامی مواردی که عملیات ضرب و تقسیم داشته باشد را دربر می گیرد.

۳-۲-۷- افزایش چهارگانه ای برای توابع پیچیده تر

جائی که مقداری در محاسبه نتیجه اندازه گیری نهائی به توان ۲ برسد (مثلاً Z^2) ، عدم قطعیت نسبی بواسطه جزء به توان رسیده به شکل زیر نشان داده می شود :

$$\frac{2u(Z)}{Z}$$

البته، بعضی از اندازه گیری ها از فرمولی استفاده می کنند که ترکیبی از عملیات، جمع و ضرب، تفریق و تقسیم و غیره در آن دیده می شود. مثلاً، برای اندازه گیری توان با مقاومت الکتریکی R و ولتاژ V فرمول زیر بدست می آید.

Laksar Co.

$$P = \frac{V^2}{R}$$

در این مورد، عدم قطعیت نسبی $U(P)/P$ با مقدار توان داده شده بدین صورت بدست می آید :

$$\frac{u(P)}{P} = \sqrt{\left(\frac{2u(V)}{V}\right)^2 + \left(\frac{u(R)}{R}\right)^2}$$

برای محاسبات چند مرحله ای، فرآیند ترکیب عدم قطعیت های استاندارد در حالت چهارگانه در چندین مرحله با استفاده از شکل نسبی برای جمع، ضرب و غیره در هر مرحله انجام می گیرد. ترکیب عدم قطعیت های استاندارد برای فرمول های پیچیده در جای دیگر کتاب بحث خواهد شد. (مثلاً در UKAS چاپ می شود)

۳-۷- به هم پیوستگی به قرینگی (Correlation)

معادلات ارائه شده در بخش ۲-۷ جهت محاسبه عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده فقط زمانی صحت دارد درست است که عدم قطعیت های استاندارد ورودی به هم پیوسته یا inter-related نباشد. این بدین معناست که همیشه باید این سؤال وجود داشته باشد که آیا تمام ترکیبات عدم قطعیت به یکدیگر وابسته اند یا خیر؟ آیا تأثیر عوامل خارجی مثل دما، در یک زمان تأثیری مشابهی بر جنبه های مختلف عدم قطعیت به طور مرئی یا نامرئی خواهد گذاشت؟ اغلب خطاهای انفرادی مستقل هستند. اگر مستقل نباشند محاسبات اضافه بر برنامه مورد نیاز خواهد بود. این موضوع در این بحث نمی گنجد، اما در مطالعات بعدی که در بخش ۱۶ لیست شده است مشاهده می شود.

۴-۷- فاکتور پوششی K (Coverage Factor K)

با مقیاس کردن اجزای عدم قطعیت به طور مداوم، برای بدست آوردن عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده، می خواهیم نتیجه را دوباره مقیاس نمائیم. شاید عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده را معادل "یک انحراف استاندارد" تلقی شود ولی ما می خواهیم عدم قطعیت کلی موجود در سطح اطمینان دیگری مثل ۹۵ درصدی در اختیار داشته باشیم. این مقیاس دوباره با استفاده از فاکتور پوششی K (Coverage Factor, K) انجام می گیرد. ضرب عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده U_c ، در یک فاکتور پوششی، نتیجه ای بدست می دهد که عدم قطعیت توسعه یافته نامیده می شود.

$$U = K U_c \quad (\text{expanded uncertainty})$$

یک مقدار خاص از فاکتور پوششی، یک سطح اطمینان خاصی برای عدم قطعیت توسعه یافته ارائه می دهد. معمولاً عدم قطعیت کلی از طریق استفاده از فاکتور پوششی $K = 2$ مقیاس می شود، تا سطح اطمینانی تقریباً ۹۵ درصد ارائه دهد. ($K = 2$ صحت دارد اگر عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده به طور عادی توزیع شده باشد).

فاکتورهای پوششی دیگر (برای توزیع نرمال) عبارتند از :

برای سطح اطمینان تقریباً ۶۸ درصدی $K = 1$

برای سطح اطمینان تقریباً ۹۹ درصدی $K = 2.58$

Laksar Co.

برای سطح اطمینان تقریباً ۹۹/۷ درصدی $K = ۳$

اشکال غیرعادی دیگر توزیع، فاکتورهای پوششی متفاوتی خواهند داشت. از طرف دیگر، هر عدم قطعیت توسعه یافته شده ای که با یک فاکتور پوششی مورد نظر ذکر شده باشد، می توان عدم قطعیت استاندارد با فرآیند معکوس بدست آورد. مثلاً با تقسیم فاکتور پوششی مناسب (این قضیه، اساس بدست آوردن عدم قطعیت ترکیب شده را که در بخش ۷-۱-۱ و ۷-۱-۲ نشان داده شده است، می باشد).

۸- توضیح پاسخ

توضیح پاسخ به نحوی که خواننده بتواند از اطلاعات استفاده کند بسیار مهم است. موارد اصلی برای توضیح عبارتند از:

- نتیجه اندازه گیری همراه با عدد عدم قطعیت، مثلاً: طول یک چوب ۲۰ سانتی متر + ۱ سانت
- عبارت فاکتور پوششی و سطح اطمینان، عبارت پیشنهادی عبارت است از: عدم قطعیت گزارش شده وابسته به یک عدم قطعیت استاندارد ضرب در فاکتور پوششی $K = ۲$ ، سطح اطمینان تقریباً ۹۵ درصدی را ارائه می دهد.

و

چگونگی سنجیدن عدم قطعیت. (به نشریه UJAS , M3003 مراجعه کنید).

۹- مثال محاسبه عدم قطعیت اساسی

در زیر به مثالی از یک تجزیه و تحلیل ساده عدم قطعیت پرداخته می شود که برای نشان دادن روشی بسیار ساده می باشد. ابتدا اندازه گیری و تجزیه تحلیل عدم قطعیت توضیح داده می شود. سپس، تجزیه تحلیل عدم قطعیت در جدول نشان داده می شود. (یا به صورت مدل صفحه گسترده Spread sheet یا به صورت Uncertainty budget).

۱-۱- اندازه گیری طول یک رشته

تصور کنید می خواهید اندازه طول یک رشته را به دقت بگیرید طبق مراحل گام به گام بخش ۶-۲ عمل می شود.



مرحله اول: ابتدا به هر آنچه که برای اندازه گیری نیاز دارید فکر کنید. تصمیم بگیرید برای بدست آوردن نتیجه نهایی چه محاسباتی باید انجام گیرد. برای اندازه گیری طول یک رشته به یک نوار اندازه گیری یا همان متر نیاز دارید. صرفنظر از طول واقعی که روی نوار متر مشاهده می کنید، باید به موارد ذیل توجه شود:

Laksar Co.

خطاهای احتمالی نوار اندازه گیری

آیا به اصلاح نیازی هست یا خیر؟ آیا اندازه گیری های موجود در نوار صحت دارند، و اینکه عدم قطعیت در

کالیبراسیون چیست؟

آیا نوار اندازه گیری دچار کشیدگی نشده است؟

آیا چروکیدگی آن را کوتاهتر نکرده است؟ تغییر اندازه آن چه میزان است؟

شفافیت در اندازه گیری چقدر است؟ تقسیم بندی ها تا چه حد کوچک کوچک هستند (میلی متر، ...؟)

خطای احتمالی بواسطه شی تحت اندازه گیری

آیا رشته مورد نظر صاف قرار گرفته یا خمیده است؟

آیا دمای محیط یا رطوبت هوا باعث تغییر آن شده است؟

آیا دو سر انتهایی آن درست معین شده است یا فرسوده و نامشخص است؟

خطاهای احتمالی بواسطه فرآیند اندازه گیری و شخص اپراتور

چطور ابتدای رشته را روی ابتدای نوار اندازه گیری قرار می دهید؟

آیا نوار اندازه گیری دقیقاً موازی رشته مورد نظر است؟

آیا اندازه گیری چندبار تکرار می شود؟

مرحله دوم: انجام اندازه گیری های مورد نیاز - شما اندازه گیری های طول رشته را پس از انجام ثبت می کنید. اندازه

- گیری را چندین مرتبه تکرار می کنید. تا ۱۰ مرتبه، فرض می کنیم، میانگین، ۵/۰۱۷ متر می باشد. و انحراف استاندارد

تخمین شده ۰/۰۰۲۱ (یعنی ۲/۱ میلی متر) است.

برای اندازه گیری دقیق باید موارد زیر ثبت شود.

زمان انجام اندازه گیری

چگونگی انجام اندازه گیری، افقی یا عمودی، شرح جزئیات قراردادن نوار اندازه گیری روی رشته

از چه نوع نوار اندازه گیری استفاده می شود.

شرایط محیطی آیا بر نتیجه اندازه گیری تأثیر دارد یا خیر؟

و هرچه که به این اندازه گیری مربوط می شود.

مرحله سوم: عدم قطعیت هر یک از مقادیر ورودی که به نتیجه نهائی منجر می شود ارزیابی کنید. تمامی عدم قطعیت

ها را با عبارات مشابه به هم بیان کنید (عدم قطعیت استاندارد، U). باید به تمامی منابع ممکن عدم قطعیت توجه داشت

و بزرگی هر یک را ارزیابی نمود. به عبارت دیگر می توان بدین صورت بیان کرد:

نوار اندازه گیری کالیبره شده است. به هیچ گونه اصلاحی نیاز نمی باشد. ولی عدم قطعیت کالیبراسیون ۰/۱ درصد

می باشد در فاکتور پوششی = ۲ = K (در توزیع نرمال). در این مورد، ۰/۱ درصد از ۵/۰۱۷ m حدود ۵ mm می

شود، تقسیم بر ۲ عدم قطعیت ۲ را (برای K = ۱) و U = ۲۰۵ mm را ارائه می دهد.

Laksar Co.

تقسیم بندی نوار اندازه گیری بر حسب میلی متر می باشد. نزدیکترین تقسیم بندی خطایی کمتر از 0.5 mm + دارد، که می توان برای آن عدم قطعیت با توزیع متحدالشکل در نظر گرفت. برای بدست آوردن عدم قطعیت استاندارد، U ، نصف طول D بر تقسیم نموده، تقریباً $U = 0.3 \text{ mm}$ بدست می آید.

نوار اندازه گیری صاف است ولی بیائید فرض کنیم دچار کمی خمیدگی و چروکیدگی شده باشد. بنابراین اندازه گیری فوق کمی طول رشته را کمتر محاسبه خواهد کرد. فرض می کنیم کمی طول حدود 0.2 درصد باشد که عدم قطعیت در این مورد حداکثر 0.2 درصد خواهد بود. این بدان معناست که ما باید نتیجه را با اضافه کردن 0.2 درصد (یعنی 10 mm) اصلاح کرد. عدم قطعیت فرض شده است که توزیع یکنواخت و متحدالشکل دارد. تقسیم نصف طول عدم قطعیت (10 mm) بر عدم قطعیت استاندارد $U = 5/8 \text{ mm}$ (نزدیک به 0.1 mm) بدست می آید. موارد ذکر شده در بالا همه ارزیابی های تیپ B بودند. در پایین ارزیابی تیپ A ذکر می شود.

انحراف استاندارد در مورد چگونگی قرارگیری نوار اندازه گیری و تکرار آن و نیز در مورد کمک به تعیین عدم قطعیت مقدار میانگین توضیح می دهد. انحراف استاندارد میانگین 10 عدد با استفاده از فرمول بخش $3-6$ بدین صورت بدست می آید.

در این مثال نیازی به محاسبه عدم قطعیت های دیگر نیست. در موارد واقعی دیگر شاید به محاسبه آن نیاز باشد. **مرحله چهارم** : تعیین کنید آیا خطاهای امداد ورودی به یکدیگر وابسته اند یا خیر ؟ (اگر فکر می کنید وابسته نیستند پس به محاسبات و اطلاعات اضافه بر برنامه ای نیاز است.) در اینجا بهتر است بگوییم همه با هم وابسته اند. **مرحله پنجم** : نتیجه اندازه گیری را محاسبه نمائید. (این کار شامل هرگونه اصلاح مواردی مثل کالیبراسیون نیز می شود)

$$5/0.17 \text{ m} + 0/0.10 \text{ m} = 5/0.27 \text{ m}$$

مرحله ششم : پیدا کردن عدم قطعیت ترکیب شده از تمامی وجوه منحصر به فرد تنها محاسبه مورد استفاده در پیدا کردن نتیجه، اضافه کردن اصلاح است. بنابراین افزایش چهارگانه (Summation in quadrature) در نهایت سادگی خود مورد استفاده قرار می گیرد. عدم قطعیت استاندارد به صورت زیر عمل می شود.

$$\begin{aligned} &= \text{عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده} \\ &= 6/4 \text{ Mm} \end{aligned}$$

مرحله هفتم : عدم قطعیت را بر حسب فاکتور پوششی (coverage factor) بیان کنید. البته همراه با میزان اختلاف عدم قطعیت (uncertainty interal) ، و سطح اطمینان را نیز بیان کنید.

برای یک فاکتور پوششی $K = 2$ ، عدم قطعیت استاندارد ترکیب شده را در عدد 2 ضرب می کنیم تا عدم قطعیت توسعه یافته $12/8 \text{ mm}$ بدست آید. ($0/0.128 \text{ m}$) . این عمل سطح اطمینان تقریباً 95 درصدی را ارائه می دهد.

مرحله هشتم : نتایج اندازه گیری و عدم قطعیت را ثبت کنید، و در مورد چگونگی بدست آوردن این دو توضیح دهید، طول رشته $5/0.27 \text{ m}$ ، $0/0.13$ + بود. عدم قطعیت توسعه یافته گزارش شده که به عدم قطعیت استاندارد بستگی دارد بر فاکتور پوششی $K = 2$ ضرب شده و حاصل آن یک سطح اطمینان تقریباً 95 درصدی می شود. طول گزارش شده میانگین

Laksar Co.

۱۰ بار اندازه گیری رشته ای است که به طور افقی خوابیده شده است، نتیجه بدست آمده برای اثر ارزیابی شده رشته ای است که هنگامی اندازه گیری کاملاً صاف نبوده است.

۹-۲- تجزیه و تحلیل عدم قطعیت - مدل صفحه گسترده (Spread sheet model)

در فرآیند محاسبه، بهتر است تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یا بودجه عدم قطعیت (uncertainty budget) در یک صفحه گسترده که در جدول شماره ۱ نشان داده شده است خلاصه شود.

Table 1. Spreadsheet model showing the 'uncertainty budget'

Source of uncertainty	Value \pm	Probability distribution	Divisor	Standard uncertainty
Calibration uncertainty	5.0 mm	Normal	2	2.5 mm
Resolution (size of divisions)	0.5 mm*	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.3 mm
String not lying perfectly straight	10.0 mm*	Rectangular	$\sqrt{3}$	5.8 mm
Standard uncertainty of mean of 10 repeated readings	0.7 mm	Normal	1	0.7 mm
Combined standard uncertainty		Assumed normal		6.4 mm
Expanded uncertainty		Assumed normal ($k=2$)		12.8 mm

*Here the (\pm) half-width divided by $\sqrt{3}$ is used.

۱۰- نکات دیگر (مثلاً طبق مشخصات)

هنگامی که نتایج اندازه گیری ترسیم شد، نباید از عدم قطعیت اندازه گیری غافل بود. این موضوع بسیار مهم است زمانی که اندازه گیری ها به منظور تست مشخصات مورد استفاده قرار می گیرد.

گاهی اوقات، یک نتیجه بدست آمده داخل یا خارج از محدودی مشخصات قرار می گیرد، ولی عدم قطعیت ممکن است در همان محدوده Overlap می شود. چهارنوع برآمد (outcome) در شکل ۷ نشان داده شده است.

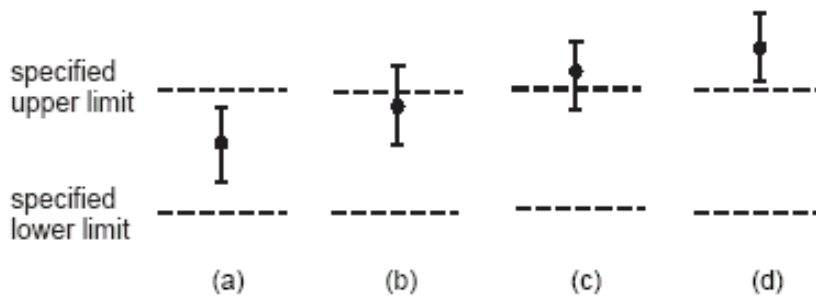


Figure 7. Four cases of how a measurement result and its uncertainty may lie relative to the limits of a stated specification. (Similarly, an uncertainty may overlap the lower limit of a specification.)

در مورد (a) (شکل ۷) هم نتیجه و هم عدم قطعیت هر دو در محدوده مشخص شده قرار می گیرد، اتفاق می افتد. این قضیه به عنوان (compliance) دسته بندی می شود.

در مورد (d) نه نتیجه و نه یکی از باند عدم قطعیت (band) در محدوده مشخص شده اتفاق نمی افتد، قرار نمی گیرد. این قضیه به عنوان (non-compliance) دسته بندی می شود.

موارد (b) و (c) کاملاً در محدوده قرار نمی گیرند. نتیجه قطعی از compliance وقوع نمی افتد. همیشه پیش از بیان compliance همراه با مشخصات، مشخصات را چک و نظارت کنید. گاهی، مشخصات شامل مواردی همچون ظاهر، اتصالات الکتریکی، قابلیت تغییر و تبدیل و غیره می شود که کاری به شی مورد اندازه گیری ندارد.

۱۱- کاهش عدم قطعیت در اندازه گیری

همیشه بخاطر داشته باشید که کاهش دادن عدم قطعیت به اندازه تعیین عدم قطعیت مهم است. چند روش مناسب برای کاهش عدم قطعیت در اندازه گیری وجود دارد. چند مورد پیشنهادی عبارتند از :

ابزار اندازه گیری کالیبره شود. (یا اینکه اصلاحات کالیبراسیون که روی مشخصات ثبت شده انجام دهید)

برای هر اشکالی که می دانید اصلاحاتی انجام دهید.

اندازه گیری ها طبق استانداردهای ملی باشد.

از بهترین ابزار اندازه گیری، تسهیلات کالیبراسیون با کمترین عدم قطعیت استفاده کنید.

با تکرار اندازه گیری، اندازه گیریتان را چک کنید. یا اجازه دهید شخص دیگری در زمان های مختلف اندازه گیری را تکرار کند. اندازه گیری مکرر با روش های مختلف هم راه خوبی برای جلوگیری از عدم قطعیت هاست.

محاسبات را چک کنید. اعدادی که از جایی به جای دیگر کپی شود، اشتباه رخ ندهد.

از $1 \text{ uncertainty budget}$ جهت تعیین برترین عدم قطعیت استفاده کرده و آنها را عنوان کنید.

در زنجیره پی در پی کالیبراسیون ها از افزایش عدم قطعیت ها در تمامی مراحل زنجیره آگاه باشید.

۱۲- تمرین هایی دیگر برای اندازه گیری

به طور کلی، تمرین های جذب و شناخته شده ای برای اندازه گیری وجود دارد.

از دستورات سازنده دستگاه جهت نگهداری و استفاده از ابزار اندازه گیری پیروی کنید.

از کارکنان با تجربه استفاده کنید، و آموزش کار با ابزار صورت گیرد.

برای اطمینان از صحت درستی کار نرم افزار را نظارت کنید.

اندازه گیری های انجام شده و محاسبات انجام شده را ثبت کنید. هرگونه اطلاعات مربوط به موضوع را یادداشت

کنید. اگر اندازه گیری های قبلی مشکوک به نظر می رسد یادداشت های موجود مفید فایده خواهد بود.

تمرین های اندازه گیری خوبی به طور جزئی در جزوات دیگر مثل IEC/ISO 17025 آمده است.

۱۳- استفاده از ماشین حساب

در زمان استفاده از ماشین حساب و کامپیوتر باید مراقب اشتباهاتی که ممکن است ایجاد شود باشیم.

۱-۱۳- کلیدهای ماشین حساب

کلید (\bar{x}) ، متوسط اعدادی که وارد حافظه ماشین حساب می شود محاسبه می کند. کلید سیگما (Σ) با کلید $(n-1)$ با انحراف استاندارد ارزیابی شده را براساس نمونه محدود شده ارائه می دهد. (در عمل، مجموعه رشته ها، نمونه کوچکی از " جمعیت نامحدود infinite population می باشد. $6n-1$ یا S ارزیابی انحراف استاندارد است. باید از آن، زمان محاسبه عدم قطعیت استاندارد برای ارزیابی تیپ A استفاده کرد.

ماشین حساب دارای کلید سیگما می باشد. نباید از سیگما برای ارزیابی عدم قطعیت استفاده کرد. En انحراف استاندارد نمونه را محاسبه می کند و در محاسبه جمعیت بزرگتر بکار نمی رود. برای جمعیت بزرگتر En به $En-1$ خیلی نزدیک می شود.

ولی در موقعیت های اندازه گیری واقعی، با اعداد moderate از رشته اعداد نباید از سیگما استفاده کرد.

۲-۱۳- خطاهای ماشین حساب



A calculator is useful for complicated arithmetic, but it can also be a source of error.

ماشین حسابها هم دچار اشتباه می شوند. گاهی اوقات نتایج غیرقابل انتظاری در مورد رشته اعداد طولانی بدست می آید. مثلاً، بعضی ماشین حسابها به طور اشتباه جواب می دهد.

$$0.0000002 \times 0.0000002 = 0$$

در صورتی که جواب صحیح ۴ می باشد. حتی بعضی از کامپیوترها هم دچار این مشکل می شوند.

Laksar Co.

برای شناسایی این مشکل باید نرم افزار صفحه گسترده کاملاً چک شود. برای جلوگیری از این مشکل می توان از اعداد تغییر شکل یافته (Transformed) در داخل ماشین حساب کار کرد. این را معمولاً Scalling یا Coding the data مقیاس یا کد کردن دیتا گفته می شود.

۱۳-۳- مقیاس کردن

مثال ۴ نشان می دهد چطور می توان با انجام scaling از خطاها و اشتباهات ماشین حساب جلوگیری کرد، یا اینکه محاسبات ریاضی را بدون استفاده از ماشین حساب آسانتر انجام داد.

مثال ۴ بدست آوردن میانگین و انحراف استاندارد تخمین زده شده اعداد ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۳ ، ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۶ و ۱،۰۰۰،۰۰۰،۱۲

با توجه به تمامی اعداد می توان میانگین اعداد ۳ و ۶ و ۱۲ (که ۷ می شود) را بدست آورد و از اینجا استنباط می شود که میانگین اعداد اصلی بالا می شود ۱،۰۰۰،۰۰۰،۰۷

گام به گام عمل می کنیم : از تمامی اعداد عدد (۱) را کم می کنیم. یعنی به اعداد زیر تبدیل می شوند.

۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۳ ، ۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۶ ، and ۰،۰۰۰،۰۰۰،۱۲

سپس سه عدد بالا را بر عدد ۱۰ (۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰) ضرب کرده و به سه عدد زیر تبدیل می شود.

۳ ، ۶ ، ۱۲

$$۳ + ۶ + ۱۲$$

معدل آنها را می گیریم : $\frac{۳ + ۶ + ۱۲}{۳} = ۷$ و بعد در عدد ۱۰ تقسیم می کنیم $۷ \times ۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰ = ۷۰۰،۰۰۰،۰۰۰$

سپس عدد (1) 0 مجدداً به آن اضافه می کنیم . $۷۰۰،۰۰۰،۰۰۰ + ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۷ = ۷۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۷$

برای محاسبه انحراف استاندارد نیز به همین نحو عمل می شود. دیتاهای تغییر یافته مثل مثال قبل : ۱۲ ، ۶ ، ۳ و میانگین تغییر یافته آنها می شود $۷ =$

انحراف استاندارد تخمین زده شده با ماشین حساب یا بدون آن با فرمول زیر بدست می آید.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

با تعیین اختلاف بین هریک از اعداد و میانگین بدست آمده مثلاً ۵ and -۱ -۴

و آنها را به توان ۲ می رسانیم ۲۵ ، ۱ ، ۱۶

$$۱۶ + ۱ + ۲۵$$

Laksar Co.

آنها را با هم جمع و بر طول رشته (تعداد اعداد) منهای یک تقسیم می کنیم $21 = \frac{\text{-----}}{21 - 1 = 2}$

سپس جذر آن را می گیریم: $21 = 4/6$

عدد بدست آمده $4/6$ به صورت میزان اصلی **Original scale** تغییر یافته تا انحراف استاندارد $0/000000046$ حاصل شود. (توجه داشته باشید این $1/000000046$ نیست، زیرا انحراف استاندارد یک رشته از اعداد **shift** شده غیر قابل تغییر هستند)

۱۳-۴-گرد کردن (Rounding)

ماشین حسابها و صفحات گسترده می توانند به بسیاری از اعداد اعشاری جواب دهند. چند تمرین عملی برای گرد کردن اعداد اعشاری پیشنهاد می شود:

از یک درجه معنی دار گرد کردن ماشین حساب استفاده کنید. عدم قطعیت در یک نتیجه اندازه گیری ممکن است چگونگی مکان های اعشاری که باید گزارش شود معین می کند. مثلاً اگر عدم قطعیت در نتیجه بدست آمده در اولین مکان اعشاری باشد.

نتیجه اندازه گیری احتمالاً باید در یک مکان اعشاری بیان شود. $20/1 \text{ cm} + 0/2 \text{ cm}$

محاسبات خود را با تقریباً چند عدد بیشتر از آن چیزی که نیاز دارید انجام دهید.

گرد کردن اعداد فقط در پایان محاسبات صورت می گیرد تا دچار خطا نشوید. مثلاً اگر عدد $2/346$ به صورت گرد شده $2/35$ در مرحله اول محاسبات در بیاید، ممکن است در مراحل پایانی به $2/4$ تغییر یابد. ولی اگر $2/346$ در طول محاسبات به شکل اولیه باقی بماند در مراحل پایان محاسبات به $2/3$ تغییر یافته و گرد شود.

اگر چه نتایج **result** در پایان به صورت صعودی یا نزولی گرد می شوند (بسته به آن که به کدام عدد نزدیکتر است) قانون گرد کردن عدم قطعیت ها بسیار متفاوت است. عدم قطعیت های نهائی نسبت به بزرگترین عدد بعدی گرد می شود نه قبلی.

۱۴- یادگیری بیشتر و کاربرد

اکنون شما پایه و اساس سنجش و ارزیابی عدم قطعیت را شناختید. با وجود این شما به راهنمایی های بیشتری جهت بکارگیری این مفهومات در عمل نیاز دارید.

از اطلاعات بیشتری که در متون لیست شده در بخش ۱۶ ذکر شده می توانید استفاده نمائید. راهنماییهای کاملتر به منظور تجزیه و تحلیل درست و کامل عدم قطعیت اندازه گیری در سند **M3003** آمده است اصطلاح عدم قطعیت و اطمینان در اندازه گیری توسط **UKAS** چاپ شده است. هدف این اسناد در اصل در آزمایشگاهها اعتبار دادن به کالیبراسیون ها و آزمایش های انجام گرفته شده است. این اسناد راهنمایی های کاملی به منظور اندازه گیری عدم قطعیت های اندازه گیری در نظر گرفته شده است. همچنین دارای اصطلاحات مربوط به عدم قطعیت و نمادهای مربوطه می باشد.

۱۵- نکات دیگر

تجزیه و تحلیل عدم قطعیت یک موضوع با مسیر تکاملی تدریجی دارد، به صورتی که تغییرات ظریفی در رویکرد آن طی سالها رخ می دهد. آنچه که مهم است آن است که قوانین ذکر شده در این کتاب راهنما کاملاً قطعی نبوده بسیاری از موارد وجود دارد که قوانین استثنا در آن بکار می رود. آنچه که در اینجا ارائه شده شرح کامل قضیه نیست. موارد استثنا نیز در این مجموعه نگنجیده شده است. قوانین اضافه عبارتند از :

استفاده از آمار در رشته های کوچک دیتا (کمتر از ۱۰)

اگر یک جزء عدم قطعیت از تمامی اجزای دیگر بسیار بزرگتر باشد.

اگر بعضی از ورودی های محاسبه قرینه و Correlate باشد.

اگر گسترش یا توزیع در شکل و فرم غیر معمول باشد.

اگر عدم قطعیت برای یک نتیجه منفرد نبوده باشد.

این مقوله ها را می توان در متون لیست شده در بخش ۱۶ مطالعه نمود.