

راهنمای عدم قطعیت اندازه‌گیری برای مبتدیان^۱

فصل اول

مفاهیم اولیه اندازه‌گیری

و

عدم قطعیت

۱- محمد شعبانی، کارشناس ارشد آمار، شرکت سیمان هرمزگان، ایمیل: hccshaabani@gmail.com

۱-۱- اندازه‌گیری چیست؟ : اندازه‌گیری راجع به خاصیت چیزی سخن می‌گوید. ممکن است

این ویژگی سنگینی یک جسم، گرما و یا طول آن باشد. اندازه‌گیری، عددی را به آن خاصیت نسبت می‌دهد. اندازه‌گیرها همیشه با ابزاری مانند خط‌کش، کرونومتر، ترازو، دماسنج و ... انجام می‌گیرند. به طور طبیعی، نتیجه یک اندازه‌گیری از دو قسمت یعنی عدد و واحد اندازه‌گیری تشکیل شده است.

۱-۲- چه چیزهایی یک اندازه‌گیری محسوب نمی‌شوند؟ : بعضی فرآیندها ممکن است یک

اندازه‌گیری به نظر آیند ولی در واقع چنین چیزی نیست. به عنوان نمونه، مقایسه دو رشته ریسمان جهت تعیین ریسمان بلندتر واقعاً یک اندازه‌گیری محسوب نمی‌شود. طبیعتاً شمارش هم اندازه‌گیری نیست. غالباً یک آزمون که به طور طبیعی منجر به جواب بله/خیر یا رد/قبول می‌شود اندازه‌گیری به شمار نمی‌آید. با وجود این ممکن است اندازه‌گیری‌ها قسمتی از فرآیندی باشد که به پاسخ یک تست منجر می‌شود.

۱-۳- عدم قطعیت اندازه‌گیری چیست ؟ : عدم قطعیت اندازه‌گیری اطلاعاتی راجع به کیفیت

کمیت مورد اندازه‌گیری بیان می‌کند. درحقیقت، عدم قطعیت شک و گمانی است که درباره نتیجه هر اندازه‌گیری پدید می‌آید. ممکن است تصور کنید ساعت، خط کش یا ترمومتری کاملاً قابل اعتماد بوده و نتیجه درستی از اندازه‌گیری ارائه می‌دهند ولی همیشه در بسیاری از اندازه‌گیرها حتی دقیق ترین آنها جای شک و تردید وجود دارد. در زبان محاوره‌ای این تردید به صورت عبارت کم و زیاد بیان می‌شود. مثلاً می‌گوییم این عصا تقریباً ۲ متر است با ۱ سانتی‌متر کم و زیاد .

۱-۴- بیان کردن عدم قطعیت اندازه‌گیری : چون تردید در هر اندازه‌گیری وجود دارد لذا

پاسخ به سوالات زیر ضروری به نظر می‌رسد :

♣ میزان شک و تردید در اندازه‌گیری چقدر است؟

♣ این شک تا چه اندازه نادرست و بی‌اعتبار است؟

بنابراین برای تعیین عدم قطعیت اندازه‌گیری به دو عدد یکی فاصله و دیگری سطح اطمینان (یعنی میزان اطمینانی که مقدار واقعی اندازه‌گیری در داخل فاصله قرار می‌گیرد) نیازمندیم. به عنوان مثال ممکن است بگوییم که طول چوبی در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۲۰ سانتی‌متر، ± 1 می‌باشد. این نتیجه را می‌توان به صورت مقابل نوشت: در سطح اطمینان ۹۵٪، $1\text{ cm} \pm 20\text{ cm}$. این عبارت بدین معنی است که با اطمینان ۹۵٪ طول چوب بین ۱۹ و ۲۱ سانتی‌متر خواهد بود.

۵-۱- خطا در مقابل عدم قطعیت: نکته مهم آن است که اصطلاحات خطا و عدم قطعیت نباید با هم اشتباه شوند. خطا اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار واقعی کمیت مورد اندازه‌گیری است. در صورتی که عدم قطعیت تعیین شک و تردید راجع به نتیجه اندازه‌گیری است. با این حال سعی‌مان بر این است که تا حد امکان در هر زمانی خطاهای شناخته شده را تصحیح کنیم. به عنوان نمونه این تصحیحات بر اساس گواهینامه‌های کالیبراسیون قابل انجام است. اما هر خطایی که معلوم نباشد منبع عدم قطعیت خواهد بود.

۶-۱- چرا عدم قطعیت اندازه‌گیری مهم است؟: به منظور درک بهتر نتایج اندازه‌گیری و بدست آوردن اندازه‌گیریهایی با کیفیت بالا، ممکن است علاقه مند به محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری باشیم. با وجود این دلایل خاص دیگری برای محاسبه و گزارش عدم قطعیت وجود دارد. اندازه‌گیری‌ها ممکن است قسمتی از یکی از موارد زیر باشند:

- **کالیبراسیون:** عدم قطعیت اندازه‌گیری باید در گواهینامه کالیبراسیون گزارش شود.
- **آزمون:** برای تعیین قبولی یا رد نتیجه آزمون می‌بایست عدم قطعیت اندازه‌گیری محاسبه و گزارش شود.
- **تلرانس:** ممکن است قبل از اینکه تصمیم گرفته شود که آیا تلرانس مورد نظر بدست آمده نیازمند به دانستن عدم قطعیت باشیم.

فصل دوم

مفاهیم آمار توصیفی

۲-۱- سه بار اندازه بگیر، فقط یک بار ببر ... خطای اپراتور: ضرب المثل "سه بار اندازه بگیر

و فقط یک بار ببر" در بین صنعتگران و استادکاران معروف است. این ضرب المثل بدین مفهوم است که قبل از هرگونه اقدامی و به منظور کاهش ریسک اشتباه در کار، دو یا سه بار اندازه‌گیری معقول به نظر می‌رسد. شکل ۲-۱ چنین موقعیتی را نشان می‌دهد.

شکل ۲-۱- ضرب المثل سه بار اندازه بگیر و فقط یک بار ببر



فقط یک بار اندازه‌گیری به این معنی است که یک اشتباه به طور کامل نادیده گرفته می‌شود. اگر دو بار اندازه‌گیری کنید و نتایج یکسان نباشند نمی‌فهمید که کدامیک از آنها خطا هستند. اما اگر سه بار اندازه‌گیری کنید و دو اندازه یکسان بوده و با اندازه‌گیری سوم اختلاف فاحشی داشته باشند آنگاه می‌توانید به سومین اندازه‌گیری مشکوک شوید. بنابراین به منظور حذف و جلوگیری از ایجاد خطاهای بزرگ و فاحش (خطای اپراتور) عاقلانه‌تر است که هر اندازه‌گیری سه بار تکرار شود. قابل ذکر است که عدم قطعیت اندازه‌گیری واقعاً از خطای اپراتور ناشی نمی‌شود. همچنین دلایل دیگری مبنی بر تکرار اندازه‌گیری به تعداد دفعات مکرر وجود دارد.

۲-۲- محاسبات آماری پایه: با در نظر گرفتن یک تعداد از مقادیر و انجام محاسبات آماری پایه

می‌توان اطلاعات بدست آمده از اندازه‌گیریها را افزایش داد. مهم ترین محاسبات آماری برای یک مجموعه از اعداد بدست آوردن میانگین و انحراف استاندارد است.

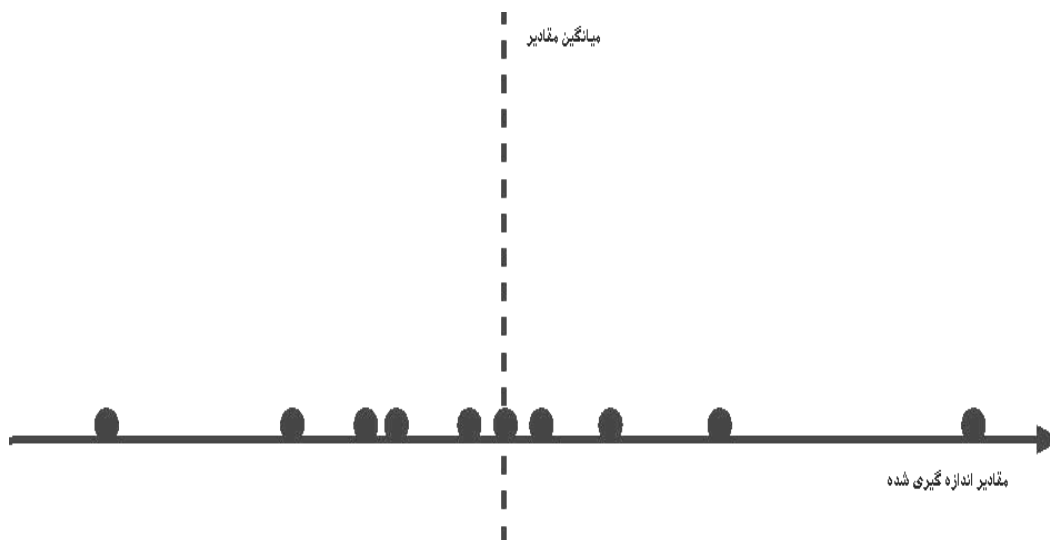
۱-۲-۲- بدست آوردن بهترین برآورد ، میانگین گرفتن از یک تعداد از مقادیر:

اگر اندازه‌گیریهای تکرار شده پاسخهای مختلفی داشته باشند مطمئناً اشتباهی از جانب شما رخ نداده است. این امر ممکن است به دلیل تغییرات طبیعی ایجاد شده باشد. مثلاً معمولاً در اندازه‌گیری سرعت باد در هوای آزاد، مقدار ثابت و پایداری بدست نمی‌آید. همچنین ممکن است ابزار اندازه‌گیری رفتار کاملاً پایداری از خود نشان ندهند. به عنوان نمونه ممکن است نوار اندازه‌گیری کشیده شود و نتایج متفاوتی بدست آید. اگر در مقادیر بدست آمده وقتی که تکرار می‌شوند تغییراتی دیده شود بهترین کار این است که مقادیر بیشتری بدست آورده و از آنها میانگین بگیریم. میانگین برآوردی از مقدار واقعی ارائه می‌دهد. میانگین متغیر X با اضافه کردن یک خط بالای آن یعنی نماد \bar{X} (بخوانید X خط) نمایش داده شده و برابر است با :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad , \quad \text{رابطه ۱-۲}$$

در جایی که : n , X_i و \sum به ترتیب تعداد مشاهدات، مقادیر اندازه‌گیری شده و نماد مجموع می‌باشند. شکل ۲-۲ نمودار نقطه‌ای (Dot Plot) یک مجموعه از مقادیر و مقدار میانگین آنها را (به صورت نقطه چین) نشان می‌دهد.

شکل ۲-۲- نمودار نقطه‌ای مقادیر اندازه‌گیری شده و میانگین آنها



۲-۲-۲- چه تعداد مقدار اندازه گیری شده برای محاسبه میانگین لازم است؟ : به

طور کلی هر چقدر تعداد اندازه‌گیری‌ها بیشتر باشد برآورد بهتری از مقدار واقعی بدست خواهد آمد. ایده‌آل آن است که از یک مجموعه نامحدود از مقادیر، میانگین گرفته شود. درحقیقت با استفاده از نتایج بیشتر به برآورد ایده‌آل میانگین نزدیک‌تر خواهیم شد اما از طرف دیگر تلاش بیشتری را می‌طلبد. حال سؤال این است که: چه تعداد عدد در محاسبه میانگین مناسب است؟ بهترین انتخاب که از نظر محاسبات ریاضی نیز آسان باشد، ۱۰ عدد خواهد بود. استفاده از ۲۰ عدد برآورد بهتری نسبت به ۱۰ عدد خواهد داشت. همچنین ۵۰ عدد برآورد بهتری نسبت به ۲۰ عدد دارد. به طور کلی، معمولاً اگر تعداد مقادیر بین ۴ و ۱۰ عدد باشد برآورد مناسبی برای میانگین خواهیم داشت. به عنوان مثال فرض کنید ۱۰ عدد: ۱۶، ۱۹، ۱۸، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۰، ۱۵، ۱۷، ۱۳ داریم. طبق فرمول ۱-۲ خواهیم داشت:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{16 + 19 + 18 + 16 + 17 + 19 + 20 + 15 + 17 + 13}{10} = \frac{170}{10} = 17$$

۲-۲-۳- پراکندگی ... انحراف استاندارد : وقتی اندازه‌گیری‌های تکرار شده نتایج

مختلفی را منجر شوند تعیین وسعت پراکندگی مقادیر، مورد نظر خواهد بود. پراکندگی مقادیر اطلاعاتی راجع به عدم قطعیت اندازه‌گیری به دست می‌دهد. با دانستن اینکه این پراکندگی تا چه اندازه بزرگ است می‌توان راجع به کیفیت اندازه‌گیری یا مجموعه اندازه‌گیریها قضاوت نمود. در بعضی مواقع دانستن دامنه تغییرات (Range) بین کوچکترین و بزرگترین مقادیر کافی به نظر می‌رسد. دامنه تغییرات (برد) یک مجموعه از مقادیر برابر است با: $Range = X_{\max} - X_{\min}$ در جایی که: X_{\min} و X_{\max} به ترتیب مقادیر ماکزیمم و مینیمم داده‌ها هستند. ممکن است که برد برای مجموعه کوچکی از مقادیر، اطلاعات سودمندی راجع به پراکندگی بین کوچکترین و بزرگترین داده‌ها در اختیار قرار ندهد. به عنوان مثال یک پراکندگی بزرگ می‌تواند ناشی از مقداری باشد که با سایر

مقادیر اختلاف خیلی زیادی دارد. در علم آمار چنین مقداری یک مشاهده پرت (Outlier) نامیده می‌شود. روش معمول برای تعیین پراکندگی یک مجموعه از مقادیر، انحراف استاندارد می‌باشد. انحراف استاندارد یک مجموعه اعداد بیانگر آن است که اختلاف تک تک مقادیر با میانگین مجموعه داده‌ها چه اندازه است. در حقیقت انحراف استاندارد (S) برابر است با :

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad , \quad \text{رابطه ۲-۲}$$

طبق رابطه ۲-۲، ابتدا میانگین مقادیر را بدست آورده سپس هر یک از مقادیر را از میانگین کم کرده و مجموع مربعات اختلافات را بدست می‌آوریم. در ادامه نتیجه را بر $n-1$ تقسیم نموده و در پایان جذر می‌گیریم. به عنوان یک قاعده کلی، تقریباً دو سوم مقادیر (۶۶/۶۷٪) در فاصله یک انحراف استاندارد از میانگین یعنی $(\bar{X} - S, \bar{X} + S)$ قرار می‌گیرند. همچنین تقریباً ۹۵٪ کلیه مقادیر در فاصله دو انحراف استاندارد از میانگین یعنی $(\bar{X} - 2S, \bar{X} + 2S)$ قرار خواهند گرفت. قابل ذکر است که مقدار واقعی انحراف استاندارد را می‌توان از یک مجموعه خیلی بزرگ از داده‌ها بدست آورد. همچنین بر اساس یک مجموعه متوسط از مقادیر تنها برآوردی از انحراف استاندارد بدست می‌آید. به عنوان مثال، اعداد ذکر شده در بخش ۲-۲-۲ را در نظر گرفته و انحراف استاندارد مقادیر را محاسبه می‌کنیم. طبق رابطه ۲-۲ خواهیم داشت:

$$S = \sqrt{\frac{(16-17)^2 + (19-17)^2 + (18-17)^2 + (16-17)^2 + (17-17)^2 + (19-17)^2 + (20-17)^2 + (15-17)^2 + (17-17)^2 + (13-17)^2}{10-1}}$$

$$\Rightarrow S=2.1$$

نکته محاسباتی: معمولاً با استفاده از کلیدهای تابعی در ماشین حساب، انحراف استاندارد برآورد شده به آسانی محاسبه می‌گردد. بدین منظور مطابق با دستورالعملهای ماشین حساب، اعداد را به حافظه وارد نموده و با استفاده از کلید S یا σ_{n-1} انحراف استاندارد برآورد شده را بدست می‌آوریم.

۴-۲-۲- برای برآورد انحراف استاندارد چه تعداد عدد مورد نیاز است ؟ : همانطور که

قبلاً گفته شد هر چه تعداد مقادیر بیشتر باشد برآورد بهتری برای انحراف استاندارد بدست می‌آید . در این حالت برآورد عدم قطعیت (نه برآورد میانگین یا نتیجه نهایی) با تعداد مقادیر بهبود می یابد. به طور معمول ۱۰ عدد مناسب به نظر می‌رسد. همچنین تعدیل کردن نتایج، روش مناسبی برای بدست آوردن برآورد کامل تر ارائه خواهد داد (برای جزئیات بیشتر به منابع بیشتری برای مطالعه مراجعه کنید).

فصل سوم

منابع خطا و عدم قطعیت

۳-۱- خطاها و عدم قطعیت ها از کجا ناشی می شوند؟ : موارد بسیاری می تواند منجر به

اشکال در یک اندازه گیری شود. این عیوب در اندازه گیری ممکن است قابل رویت یا غیرقابل دیدن باشند. از آنجایی که اندازه گیریهای واقعی هرگز تحت شرایط کاملی بدست نمی آیند لذا منابع ایجاد خطاها و عدم قطعیت های اندازه گیری از موارد زیر ناشی می شوند :

۳-۱-۱- منابع خطا و عدم قطعیت ، ابزار اندازه گیری : ابزار اندازه گیری ممکن است از

خطاهایی مانند اریبی (تمایل به یک طرف)، تغییرات ناشی از طول عمر، پوسیدگی، خوردگی، سایش یا انواع دیگر انحراف، ناخوانا بودن، اغتشاش و سر و صدا (در وسایل الکتریکی) و بسیاری از مشکلات دیگر دچار خرابی شوند.

۳-۱-۲- منابع خطا و عدم قطعیت، جسم مورد اندازه گیری : ممکن است جسم، پایدار و

ثابت نباشد. تصور کنید که می خواهید اندازه یک مکعب یخی را در هوای گرم اندازه گیری کنید .

۳-۱-۳- منابع خطا و عدم قطعیت، فرآیند اندازه گیری : ممکن است انجام خود

اندازه گیری با مشکلاتی همراه باشد. به عنوان نمونه مشکلات خاص مربوط به اندازه گیری وزن یک موجود زنده خیلی کوچک را در نظر بگیرید.

۳-۱-۴- منابع خطا و عدم قطعیت ، عدم قطعیت های ورودی : معمولاً عدم قطعیت

مربوط به کالیبراسیون ابزار اندازه گیری با عدم قطعیت اندازه گیریهای بدست آمده ترکیب خواهد شد. قابل ذکر است که عدم قطعیت ناشی از کالیبره نکردن ابزار بسیار مضر می باشد.

۳-۱-۵- منابع خطا و عدم قطعیت، مهارت اپراتور: بعضی از اندازه گیریها به مهارت و

قضاوت اپراتور بستگی دارد. ممکن است در کار حساس تنظیم کردن و اندازه گیری، دقت شخصی نسبت به دیگری بیشتر بوده یا در خواندن اندازه ها با چشم ، جزئیات را بهتر گزارش دهیم . مثلاً استفاده از ابزاری مانند کروномتر به زمان عکس العمل اپراتور بستگی دارد. قابل ذکر است که این اشتباهات بزرگ

و فاحش که از طرف اپراتور ناشی می شود (خطای اپراتور) جزء منابع ایجاد عدم قطعیت اندازه‌گیری محسوب نخواهد شد.

شکل ۱-۳ فردی را نشان می دهد که می‌خواهد انگشتان دو دستش را به هم نزدیک کند. در این حالت، همترازی چشمی دو انگشت دست خطای اپراتور تلقی می‌گردد. تکان خوردن فرد ممکن است منجر به خطای انطباق انگشتان گردد. این نوع خطاها ممکن است در موقع خواندن یک مقیاس با استفاده از یک نشانگر نیز رخ دهد.

شکل ۱-۳ - خطای انطباق انگشتان فرد در همترازی چشمی دو انگشت



۶-۱-۳- منابع خطا و عدم قطعیت، روش نمونه‌گیری: اندازه‌گیری‌هایی که انجام می‌دهیم می‌بایست نماینده‌ شایسته‌ای از فرآیند مورد ارزیابی باشد. به عنوان مثال اگر قصد اندازه‌گیری درجه حرارت محیط کار را داریم نباید از دماسنج نصب شده روی دیوار که در نزدیکی تهویه مطبوع قرار دارد استفاده کنیم. همچنین اگر برای اندازه‌گیری قصد انتخاب نمونه‌هایی از خط تولید را داریم نباید نمونه‌های انتخابی از ۱۰ محصولی که در صبح روز اول هفته تولید شده انتخاب گردند.

۷-۱-۳- منابع خطا و عدم قطعیت، محیط: درجه حرارت، فشار هوا، رطوبت و شرایط بسیار

دیگری می‌تواند بر ابزار اندازه‌گیری یا جسم مورد اندازه‌گیری تاثیر بگذارد.

۲-۳- تذکرات کلی: در مواردی که اندازه و اثر خطا معلوم باشد (مثلاً از گواهینامه کالیبراسیون) می بایست تصحیحی برابر و با علامت مخالف بر روی نتیجه اندازه گیری اعمال کرد. به عنوان نمونه اگر خطای دستگاه در گواهینامه کالیبراسیون ۰/۰۱ و نتیجه اندازه گیری ۲ باشد با اعمال تصحیح یاد شده مقدار اندازه گیری شده برابر با ۱/۹۹ خواهد شد. اما در حالت کلی، عدم قطعیت های ناشی از منابع یاد شده در بخش ۱-۳ و از سایر منابع دیگر هر یک به صورت انفرادی سهمی از عدم قطعیت کلی را به خود اختصاص خواهند داد.

فصل چهارم

تخمین عدم قطعیت اندازه گیری

۴-۱- انواع کلی عدم قطعیت در هر اندازه گیری : عواملی که سبب افزایش عدم قطعیت

اندازه‌گیری می‌شوند ممکن است از دو نوع زیر باشند :

۴-۱-۱- عدم قطعیت تصادفی : درجایی که تکرار اندازه‌گیریها نتایج تصادفی مختلفی را

منجر خواهد شد. معمولاً در این حالت می‌بایست تعداد اندازه‌گیریهای بیشتری انجام گیرد. ضمناً با میانگین گرفتن از نتایج انتظار داریم که برآورد بهتری بدست آید.

۴-۱-۲- عدم قطعیت سیستماتیک : در این حالت عوامل نفوذ یکسانی بر هر یک از

اندازه‌گیریهای تکراری تاثیر گذاشته اما ممکن است نتوانیم آن عوامل را بیان نماییم. در این موقعیت اندازه‌گیریهای تکراری هیچ نوع اطلاعات اضافی به ما نخواهند داد. بدین جهت روشهای دیگری مانند محاسبات و اندازه‌گیریهای مختلف، جهت برآورد عدم قطعیت ناشی از عوامل سیستماتیک مورد نیاز است.

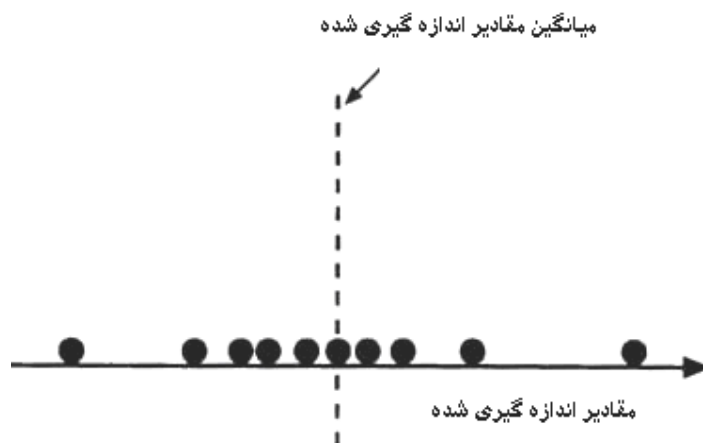
۴-۲- توزیع شکل خطاها : پراکندگی یک مجموعه از مقادیر را که ممکن است اشکال متفاوتی

داشته باشد توزیع احتمال گوییم. در این بخش توزیع‌های آماری نرمال و یکنواخت (مستطیلی) را ارائه خواهیم نمود.

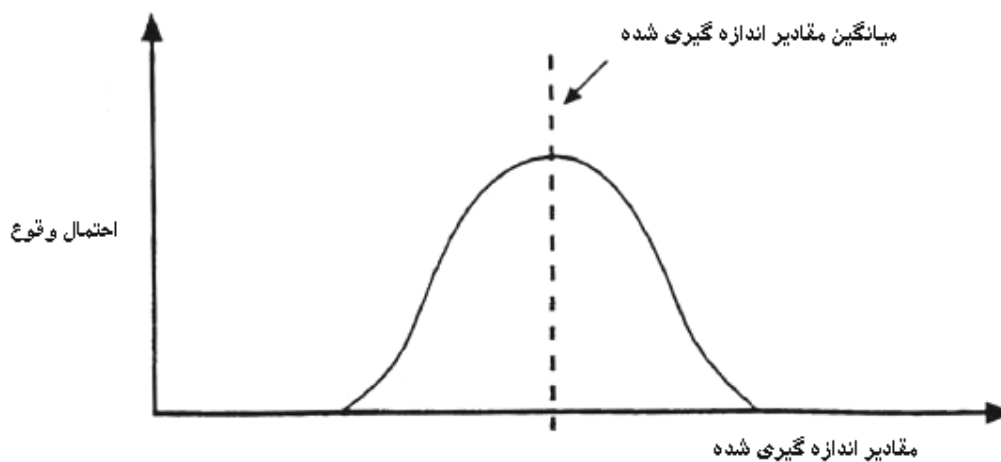
۴-۲-۱- توزیع نرمال : بعضی مواقع در یک مجموعه از داده‌ها، مقادیر تمایل بیشتری برای

قرار گرفتن نزدیک میانگین (مرکز توزیع احتمال) نسبت به دمهای توزیع دارند. این حالت نمونه‌ای از توزیع نرمال یا گوسی است. ممکن است چنین توزیعی در قد یک گروه بزرگ از مردان مشاهده گردد. قد بیشتر مردان حول میانگین متمرکز بوده و افراد خیلی بلند یا خیلی کوتاه کمتر خواهیم داشت. شکل ۴-۱ نمودار نقطه‌ای ۱۰ عدد تصادفی را که از توزیع تقریبی نرمال پیروی نموده نشان می‌دهد. همچنین شمایی از توزیع نرمال در شکل ۴-۲ نمایش داده شده است.

شکل ۱-۴- نمودار نقطه‌ای ۱۰ عدد تصادفی از توزیع نرمال



شکل ۲-۴- شمایی از توزیع نرمال



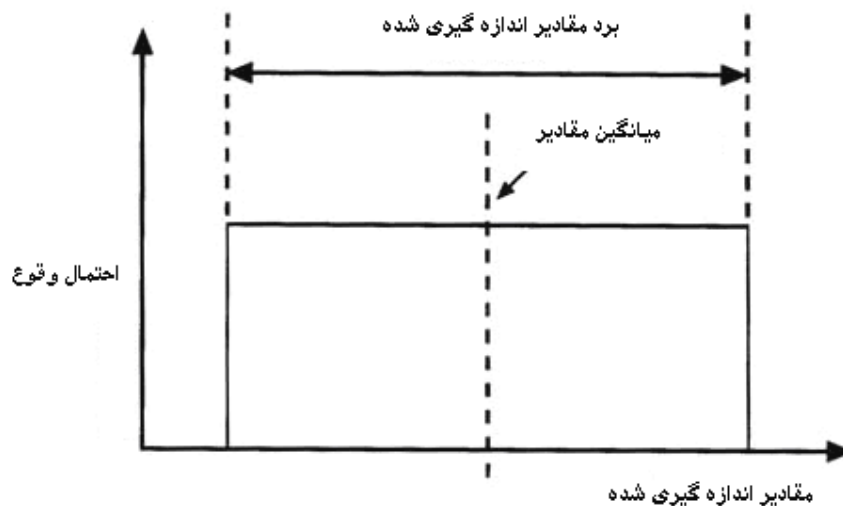
۲-۲-۴- توزیع یکنواخت (مستطیلی): وقتی مقادیر اندازه‌گیری شده به طور کاملاً یکسان

و هم شانس بین کوچکترین و بزرگترین مقدار داده‌ها پراکنده شده باشند، توزیع یکنواخت تولید خواهد شد. به عنوان مثال چگونگی سقوط قطرات باران بر روی سیم نازک مستقیم تلفن از توزیع یکنواخت پیروی می‌کند. شکل ۳-۴، نمودار نقطه‌ای ۱۰ عدد تصادفی را که از توزیع مستطیلی پیروی نموده نشان می‌دهد. همچنین شکل ۴-۴ شمایی از توزیع یکنواخت را نمایش می‌دهد.

شکل ۳-۴- نمودار نقطه‌ای ۱۰ عدد تصادفی از توزیع یکنواخت



شکل ۴-۴- شمایی از توزیع یکنواخت



۳-۲-۴- **توزیع های دیگر:** به ندرت ممکن است که توزیع هایی با اشکال دیگر مانند

توزیع های مثلثی، M شکل (دونمایی یا دو قله‌ای)، U شکل و چوله دار (توزیعی که یک دم آن بلندتر از دیگری است) بکار برده شوند. به همین دلیل از بحث راجع به آنها خودداری می‌کنیم.

۳-۴- **چه چیزی عدم قطعیت اندازه گیری محسوب نمی‌شود؟:** خطاهای ناشی از اپراتور

عدم قطعیت اندازه گیری محسوب نمی‌شود. این خطاها سهمی در عدم قطعیت ندارند. با دقت در کار

و نظارت مستمر می توان این خطاها را حذف نمود. همچنین تفرانسها عدم قطعیت نیستند. تفرانسها حدود قابل قبولی هستند که در یک فرآیند یا محصول انتخاب می شوند. مشخصات یک محصول عدم قطعیت نیست. یک مشخصه آنچه که شما از یک محصول انتظار دارید، بیان می کند. ممکن است این مشخصه همانند خواص غیرفنی یک محصول (نظیر ظاهر آن) بسیار گسترده باشد (بخش ۱-۶ را ببینید). صحت یا عدم صحت با عدم قطعیت یکی نیست. متأسفانه معمولاً این اصطلاحات با یکدیگر اشتباه گرفته می شوند. اگر بخواهیم درست سخن بگوییم، صحت یک اصطلاح کیفی است. مثلاً می گوییم اندازه گیری درست یا نادرست است اما عدم قطعیت کمی است. عبارتی به شکل: "عدد ±" ممکن است عدم قطعیت نامیده شود اما مطمئناً صحت نیست. خطاها نیز با عدم قطعیت یکسان نیستند هر چند که در گذشته معمول بوده که این اصطلاحات مثلاً در عباراتی مانند "آنالیز خطا" به جای یکدیگر استفاده می شدند. همچنین تجزیه و تحلیل آماری با آنالیز عدم قطعیت یکی نیست. آمار را برای استخراج هر گونه نتیجه ای بکار می بریم اما به تنهایی هیچ گونه اطلاعاتی راجع به عدم قطعیت ارائه نمی دهد. در حقیقت، تحلیل عدم قطعیت تنها یکی از کاربردهای آمار است.

۴-۴- چگونه عدم قطعیت اندازه گیری را محاسبه کنیم ؟ : به منظور محاسبه عدم قطعیت

اندازه گیری ، ابتدا می بایست منابع عدم قطعیت را تعیین کرد. سپس مقدار عدم قطعیت مربوط به هر یک از منابع یاد شده را محاسبه نمود. در نهایت این عدم قطعیت ها را با یکدیگر ترکیب نموده تا عدم قطعیت کلی بدست آید. قابل ذکر است که فرمولهای مشخصی برای ارزیابی سهم هر یک از عدم قطعیتها و ترکیب آنها با یکدیگر وجود دارد. بدون توجه به اینکه منابع عدم قطعیت از کجا ناشی شده اند دو روش کلی ارزیابی نوع A (عدم قطعیت نوع A) و ارزیابی نوع B (عدم قطعیت نوع B) برای برآورد کردن آنها وجود دارد. قابل ذکر است که در بیشتر موقعیتهای اندازه گیری از هر دو روش ارزیابی استفاده می گردد.

☞ **ارزیابی نوع A:** در این حالت معمولاً بر اساس اندازه گیریهای تکراری و با استفاده از

تحلیل آماری، عدم قطعیت مربوطه برآورد می شود.

☞ **ارزیابی نوع B:** این عدم قطعیت از هرگونه اطلاعات دیگری برآورد می شود. این

اطلاعات ممکن است از تجارب قبلی اندازه گیری، گواهینامه های کالیبراسیون، مشخصه های تولید کنندگان، محاسبات و اطلاعات منتشرشده بدست آید.

قابل ذکر است که معمولاً عدم قطعیت های نوع A و B را به ترتیب تصادفی و سیستماتیک معرفی می کنند ولی این موضوع لزوماً درست نیست.

۵-۴- هشت مرحله اساسی برای ارزیابی عدم قطعیت: مراحل اساسی برای ارزیابی عدم

قطعیت کلی عبارتند از:

✓ **مرحله اول:** تصمیم بگیرید که چه چیزهایی مورد نیاز است تا از اندازه گیریها کشف

شود. تصمیم بگیرید که برای بدست آوردن نتیجه نهایی چه محاسبات و اندازه گیریهای واقعی مورد نیاز است.

✓ **مرحله دوم:** اندازه گیریهای مورد نیاز را انجام دهید.

✓ **مرحله سوم:** هر یک از عدم قطعیت های مربوط به کمیت های ورودی مؤثر بر نتیجه

نهایی را برآورد کنید. همه عدم قطعیتها را در سطح اطمینان برابر و واحد یکسان بیان کنید (بخش ۶-۴ را ملاحظه کنید).

✓ **مرحله چهارم:** تصمیم بگیرید که آیا خطاهای مربوط به کمیت های ورودی از یکدیگر

مستقل اند یا نه؟ اگر استقلال خطاها برقرار نباشد اطلاعات و محاسبات بیشتری مورد نیاز است (موضوع همبستگی را در بخش ۹-۴ ملاحظه کنید). البته همیشه فرض می شود که خطاهای کمیت های ورودی از هم مستقلند.

✓ **مرحله پنجم:** نتیجه اندازه گیری را محاسبه کنید. این موضوع شامل هرگونه تصحیح

مثلاً بر اساس گواهینامه کالیبراسیون خواهد بود.

✓ **مرحله ششم :** براساس تک تک عدم قطعیت‌های ورودی، عدم قطعیت ترکیبی را محاسبه کنید (به بخش ۸-۴ رجوع کنید). قابل ذکر است که طبق مرحله سوم می‌بایست عدم قطعیت هر یک از کمیت‌های ورودی قبل از ترکیب شدن با یکدیگر واحد اندازه‌گیری و سطح اطمینان یکسانی داشته باشند.

✓ **مرحله هفتم :** عدم قطعیت بسط یافته را برحسب عباراتی از فاکتور همپوشانی K همراه با اندازه فاصله عدم قطعیت و ذکر سطح اطمینان بیان کنید (بخش ۱۰-۴ را ملاحظه کنید).

✓ **مرحله هشتم :** نتیجه اندازه‌گیری و عدم قطعیت را یادداشت نموده و چگونگی بدست آوردن آن دو را بیان کنید.

۴-۶- عدم قطعیت استاندارد : می‌بایست همه عدم قطعیت‌های شرکت داده شده با تبدیل به عدم قطعیت‌های استاندارد در سطح اطمینان یکسانی بیان شوند. عدم قطعیت استاندارد به صورت : (انحراف استاندارد) $\pm 1 \times$ بیان می‌شود. عدم قطعیت استاندارد درباره عدم قطعیت میانگین و نه عدم قطعیت پراکندگی مقادیر (انحراف استاندارد) صحبت می‌کند. معمولاً عدم قطعیت استاندارد با نماد u (مثلاً عدم قطعیت استاندارد y با $u(y)$) نمایش داده می‌شود.

۴-۶-۱- محاسبه عدم قطعیت استاندارد نوع A : ابتدا بر اساس یک مجموعه از اندازه‌های

تکراری، میانگین (\bar{X}) و انحراف استاندارد (S) مقادیر را محاسبه می‌کنیم. عدم قطعیت استاندارد نوع A ، همان عدم قطعیت میانگین مقادیر بوده و طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad , \quad \text{رابطه ۴-۱}$$

در جایی که n تعداد مقادیر اندازه‌گیری شده است. قابل ذکر است که عدم قطعیت استاندارد میانگین را انحراف استاندارد میانگین یا خطای استاندارد میانگین نیز می‌گوییم.

۲-۶-۴- محاسبه عدم قطعیت استاندارد نوع B : در بعضی مواقع به منظور برآورد

عدم قطعیت نوع B اطلاعات ناچیزی داریم. در این حالت ممکن است فقط قادر به برآورد حدود پایین و بالای عدم قطعیت باشیم. همچنین ممکن است مجبور باشیم که فرض کنیم مقادیر به طور یکسان و هم شانس در هر جای یک بازه رخ داده و توزیع یکنواخت مناسب به نظر می رسد. قابل ذکر است که عدم قطعیت استاندارد نوع B در توزیع یکنواخت برابر است با:

$$u_B = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad , \quad \text{رابطه ۲-۴}$$

در جایی که a نصف پهنای بین حدود پایین و بالا (نصف برد) است. به طور معمول از توزیع یکنواخت استفاده می کنیم مگر اینکه دلایل مناسبی برای انتخاب سایر توزیع ها داشته باشیم. در این حالت می بایست محاسبات بر اساس توزیع مربوطه پایه گذاری شود. به عنوان مثال معمولاً عدم قطعیت های ورودی بدست آمده از گواهی کالیبراسیون ابزار اندازه گیری از توزیع نرمال پیروی می کند.

۲-۴-۷- تبدیل عدم قطعیتها از یک واحد اندازه گیری به واحد دیگر : همانطوری که

نمی توان سیب و گلابی را با هم مقایسه کرد لذا قبل از ترکیب عدم قطعیتها، باید عدم قطعیت های شرکت داده شده واحد یکسانی داشته باشند. به عنوان مثال در اندازه گیری طول، عدم قطعیت اندازه گیری نیز در نهایت بر حسب واحد طول بیان خواهد شد. اگر یکی از منابع عدم قطعیت تغییرات درجه حرارت اتاق باشد هر چند که منبع این عدم قطعیت دما است ولی اثر آن بر حسب طول بوده و می بایست بر حسب واحدی از طول گزارش شود. با توجه به اینکه اثر ظاهری دما انبساط است لذا ممکن است جسم مورد اندازه گیری بر اثر هر واحد افزایش دما به اندازه 0.1% ، طولش افزایش یابد. در این حالت اگر عدم قطعیت درجه حرارت $2^\circ \pm$ بوده و طول جسم مورد اندازه گیری 100 سانتی متر باشد عدم قطعیتی برابر با $0.2\% \pm$ در طول جسم خواهیم داشت.

۲-۴-۸- ترکیب کردن عدم قطعیت های استاندارد : تک تک عدم قطعیت های استاندارد محاسبه

شده بر اساس ارزیابی های نوع A و B طبق فرمول جذر مجموع مربعات هریک از آنها، با یکدیگر

ترکیب خواهند شد. نتیجه حاصل را عدم قطعیت استاندارد ترکیبی می‌گوییم و با نماد u_c نمایش می‌دهیم.

تذکر: به زبان ریاضی، وقتی عدم قطعیت استاندارد کمیت‌های ورودی X_i بر اساس ارزیابی‌های نوع

A و B محاسبه شوند عدم قطعیت استاندارد ترکیبی کمیت خروجی: $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$

برابر است با: $u_{c(Y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_{X_i}^2}$ در جایی که: $c_i = \frac{\partial f}{\partial X_i}$ (مشتق جزئی f نسبت به

X_i) ضریب حساسیت می‌باشد.

۱-۸-۴- عدم قطعیت ترکیبی برای جمع و تفریق کمیت‌های ورودی: ساده‌ترین حالت

این است که نتیجه به صورت مجموع یا تفاضل مقادیر اندازه‌گیری شده در نظر گرفته شود. به عنوان

مثال فرض کنید که می‌خواهید طول کلی دیواری را که از صفحاتی با طولهای مختلف تشکیل شده

بدست آورید. اگر عدم قطعیت استاندارد طول هر یک از صفحات (برحسب متر) برابر با: a, b, c, \dots

باشد در آن صورت عدم قطعیت ترکیبی طول کل دیوار (برحسب متر) با جذر مجموع مربعات

عدم قطعیت استاندارد طول هر یک از صفحات برابر خواهد شد. یعنی خواهیم داشت:

$$u_c = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots} \quad , \quad \text{رابطه ۴-۳}$$

با استفاده از تذکر بخش ۱-۸-۴ و قراردادهای زیر، اثبات ریاضی رابطه ۴-۳ به سادگی انجام خواهد شد.

X_i : طول i امین صفحه، Y طول کل دیوار در جایی که: $Y = X_1 + X_2 + X_3 + \dots$ ، عدم

قطعیت استاندارد طول هر یک از صفحات: $u_{X_1} = a$ ، $u_{X_2} = b$ ، $u_{X_3} = c$ ، ...

بدیهی است که: $c_i = \frac{\partial Y}{\partial X_i} = 1$ لذا خواهیم داشت:

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_{X_i}^2} = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2 + \dots}$$

۲-۸-۴- عدم قطعیت ترکیبی برای حاصلضرب یا تقسیم کمیت‌های ورودی: در حالات

پیچیده‌تر سودمند است که از عدم قطعیت نسبی استفاده نموده تا محاسبات به سادگی انجام گیرد.

به عنوان نمونه فرض کنید که می خواهید عدم قطعیت مربوط به مساحت (A) یک فرش مستطیلی را بیابید. اگر L طول و W عرض فرش باشد خواهیم داشت: $A = L \times W$. در این حالت عدم قطعیت نسبی مساحت فرش ($\frac{u(A)}{A}$) بر اساس عدم قطعیت نسبی طول و عرض فرش ($\frac{u(L)}{L}$ ، $\frac{u(W)}{W}$)، طبق رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{u(A)}{A} = \sqrt{\left[\frac{u(L)}{L}\right]^2 + \left[\frac{u(W)}{W}\right]^2} \quad \text{رابطه ۴-۴}$$

قابل ذکر است که رابطه ۴-۴ قابل تعمیم می باشد. مثلاً اگر نتیجه ای از حاصلضرب سه عامل با یکدیگر بدست آید طرف راست رابطه ۴-۴ سه جمله از نوع یاد شده بالا خواهد داشت و به همین ترتیب الی آخر. همچنین این رابطه دقیقاً به طور یکسانی برای حالتی که نتیجه از تقسیم دو عامل (مثلاً طول فرش تقسیم بر عرض آن) بدست آید قابل استفاده است. به عبارت دیگر رابطه ۴-۴ تمام حالاتی را که عوامل در هم ضرب یا بر هم تقسیم شده پوشش می دهد. به عنوان نمونه اگر داشته

باشیم: $Y = \frac{p}{q \times r \times s}$ در آن صورت عدم قطعیت ترکیبی Y برابر است با:

$$\frac{u(Y)}{Y} = \sqrt{\left[\frac{u(p)}{p}\right]^2 + \left[\frac{u(q)}{q}\right]^2 + \left[\frac{u(r)}{r}\right]^2 + \left[\frac{u(s)}{s}\right]^2}$$

قابل ذکر است که به منظور اثبات رابطه ۴-۴ خواهیم داشت:

$$A = L \times W \Rightarrow \frac{\partial A}{\partial L} = W \quad \& \quad \frac{\partial A}{\partial W} = L \quad \text{، رابطه ۴-۵}$$

بنابراین طبق تذکر بخش ۴-۸ خواهیم داشت:

$$u_c(A) = \sqrt{\left[\frac{\partial A}{\partial L}\right]^2 \times [u(L)]^2 + \left[\frac{\partial A}{\partial W}\right]^2 \times [u(W)]^2}$$

همچنین طبق رابطه ۴-۵ داریم:

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

$$\Rightarrow u_c(A) = L \times W \times \sqrt{\left[\frac{u(L)}{L}\right]^2 + \left[\frac{u(W)}{W}\right]^2}, \quad A = L \times W$$

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

۳-۸-۴- عدم قطعیت ترکیبی برای توابع پیچیده تر: در مواقعی که در محاسبه نتیجه

نهایی، مؤلفه مربع یک کمیت (مثلاً Z^2) وجود دارد عدم قطعیت نسبی ناشی از آن برابر است با: $\frac{2u(Z)}{Z}$. اگر مؤلفه جذر یک کمیت (مثلاً \sqrt{Z}) قسمتی از محاسبه یک نتیجه باشد آنگاه عدم

قطعیت نسبی مربوط به آن برابر است با: $\frac{u(Z)}{2Z}$. البته بعضی از اندازه‌گیرها با استفاده از

فرمولهایی که ترکیبی از چهار عمل اصلی اند، ناشی می‌شوند. به عنوان مثال ممکن است که مقاومت

الکتریکی (R) و ولتاژ (V) را اندازه گرفته و سپس توان حاصله را با استفاده از رابطه:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad \text{محاسبه کنید. در این حالت عدم قطعیت نسبی مربوط به توان الکتریکی برابر است با:}$$

$$\frac{u(P)}{P} = \sqrt{\left(\frac{2u(V)}{V}\right)^2 + \left(\frac{u(R)}{R}\right)^2}, \quad \text{رابطه ۴-۶}$$

قابل ذکر است که طبق تذکر بخش ۴-۸، اثبات رابطه ۴-۶ به راحتی امکان پذیر است. به طور کلی

برای انجام محاسبات چند مرحله‌ای می‌بایست فرآیند ترکیب عدم قطعیت‌های استاندارد نیز با استفاده

از شکل مربوطه برای جمع، ضرب و ... در هر مرحله، در مراحل متعددی انجام گیرد. همچنین

ترکیب عدم قطعیت‌های استاندارد در حالت فرمولهای پیچیده، به طور کامل در منبع [۹] توضیح داده

شده است.

۹-۴- همبستگی: معادلات داده شده بخش ۴-۸ برای محاسبه عدم قطعیت استاندارد ترکیبی

تنها وقتی درست هستند که عدم قطعیت‌های استاندارد ورودی به هم وابسته نباشند. این موضوع بدین

مفهوم است که آیا همه منابع عدم قطعیت از هم مستقلند؟ آیا خطای بزرگ در یک کمیت ورودی

منجر به خطای بزرگی در کمیت دیگر خواهد شد؟ آیا عوامل محیطی مانند درجه حرارت اثر یکسانی روی جنبه های مختلف عدم قطعیت داشته و قابل رویت بوده یا غیر قابل دیدن می باشند؟ معمولاً فرض می شود که تک تک خطاها از هم مستقل می باشند اما اگر چنین نباشد محاسبات بیشتری مورد نیاز خواهد بود. جزئیات مربوطه در کتاب راهنمای حاضر ارائه نشده اما برای کسب اطلاعات بیشتر می توانید به منابع بیشتری برای مطالعه مراجعه کنید.

۱۰-۴- فاکتور همپوشانی K: برای محاسبه عدم قطعیت ترکیبی، هریک از مؤلفه های عدم

قطعیت استاندارد ورودی در یک مقیاس مشترک (واحد یکسان، سطح اطمینان برابر) بیان شدند. اما ممکن است که بخواهیم نتیجه را دوباره مقیاس بندی کنیم. ممکن است تصور کنیم که عدم قطعیت ترکیبی معادل با (انحراف استاندارد) $\times 1 \pm$ بوده اما می خواهیم عدم قطعیت کلی را در سطح اطمینان دیگری (مثلاً سطح اطمینان ۰.۹۵) بیان نماییم. این مقیاس سازی مجدد با استفاده از فاکتور همپوشانی K انجام خواهد شد. قابل ذکر است که با ضرب کردن عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در فاکتور همپوشانی، عدم قطعیت استاندارد بسط یافته که با نماد U نشان داده شده و از فرمول: رابطه ۴-۷، $U = Ku_c$ بدست می آید، نتیجه خواهد شد. به ازای مقدار خاصی از فاکتور همپوشانی، سطح اطمینان ویژه ای برای عدم قطعیت بسط یافته بدست خواهد آمد. معمولاً با استفاده از فاکتور همپوشانی K=۲، عدم قطعیت کلی مقیاس سازی شده تا سطح اطمینان تقریبی ۰.۹۵ بدست آید. اگر عدم قطعیت استاندارد ترکیبی از توزیع نرمال پیروی کند مقدار فاکتور همپوشانی ۲ درست خواهد بود. معمولاً فرض توزیع نرمال منصفانه بوده اما دلایل آن در منابع بیشتری برای مطالعه بیان شده است. مقادیر دیگر فاکتور همپوشانی در توزیع نرمال عبارتند از:

K=۱ ، در سطح اطمینان تقریبی ۰.۶۸ ،

K=۲ ، در سطح اطمینان ۰.۹۹ ،

K=۳ ، در سطح اطمینان ۰.۹۹۷ ،

به ازای سطوح اطمینان دیگر که البته کمتر معمول بوده، مقادیر فاکتور همپوشانی مختلفی بدست می‌آید. طبق رابطه ۴-۷، در صورت معلوم بودن عدم قطعیت بسط یافته (با فاکتور همپوشانی مشخص) و تقسیم آن بر فاکتور همپوشانی مناسب می‌توان عدم قطعیت استاندارد را بدست آورد. این موضوع اساس یافتن عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در بخش‌های ۴-۶-۱ و ۴-۶-۲ می‌باشد. این مطلب بدین معنی است که براساس عدم قطعیت بسط یافته ارائه شده در گواهینامه کالیبراسیون می‌توان عدم قطعیت استاندارد را بدست آورد.

۱۱-۴- چگونه جواب را بیان کنیم؟ : بیان کردن جواب برای استفاده خواننده از اطلاعات، مهم

می‌باشد. موارد عمده ای که می‌توان ذکر کرد عبارتند از :

- نتیجه اندازه‌گیری همراه با عدم قطعیت مربوطه بیان گردد. مثلاً طبق بخش ۴-۱،

طول چوب برابر است با : در سطح اطمینان ۹۵٪ ، $20 \text{ cm} \pm 1 \text{ cm}$.

- فاکتور همپوشانی و سطح اطمینان ارائه گردد. عبارت پیشنهادی این است که بگوییم :

"عدم قطعیت گزارش شده بر اساس حاصلضرب عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در ضریب همپوشانی $K=2$ که معادل سطح اطمینان تقریبی ۹۵٪ می‌باشد، محاسبه شده است."

- چگونه عدم قطعیت برآورد شده است. معمول است که تخمین عدم قطعیت بر اساس

الزامات UKAS انجام گیرد [۹].

فصل پنجم

مثالهای کاربردی

۱-۵- مثال اول : تحلیل ساده‌ای از عدم قطعیت اندازه‌گیری طول قسمتی از یک ریسمان ارائه می‌شود. ابتدا اندازه‌گیری و تحلیل عدم قطعیت توضیح داده شده و سپس نتایج عدم قطعیت در جدولی ارائه خواهد شد. فرض کنید که می‌خواهید برآورد دقیقی از طول یک ریسمان بدست آورید (شکل ۱-۵ را ملاحظه کنید).

شکل ۱-۵- اندازه‌گیری طول ریسمان با استفاده از نوار اندازه‌گیری



هشت مرحله اساسی مطرح شده در بخش ۴-۵ عبارتند از :

مرحله اول : برای اندازه‌گیری طول از نوار اندازه‌گیری (یا متر) استفاده می‌کنیم. صرفنظر از

طول واقعی خوانده شده نوار اندازه‌گیری، باید موارد زیر را مد نظر قرار دهیم:

✓ **خطاهای نوار اندازه‌گیری:** شامل:

▲ آیا به تصحیح نتایج نیازی هست یا اینکه کالیبراسیون نشان داده شده حکایت

از درستی مقادیر خوانده شده دارد؟، عدم قطعیت کالیبراسیون اندازه‌گیری چقدر

است؟

▲ آیا نوار اندازه‌گیری کشیده نشده است؟

▲ آیا خمیدگی نوار منجر به کوتاهی نوار نشده است؟، وقتی نوار کالیبره می‌شود

اندازه آن چقدر تغییر می‌کند؟

✎ تفکیک پذیری نوار اندازه‌گیری یعنی کوچکترین تقسیمات روی آن (مثلاً میلی متر) چقدر است؟

✓ **خطاهای ممکن ناشی از اندازه‌گیری ریسمان :** شامل:

✎ آیا رشته، مستقیم قرار گرفته یا اینکه بیش از اندازه کشیده شده و دچار خمیدگی شده است؟

✎ آیا رطوبت، درجه حرارت و یا هر چیز دیگری بر طول واقعی ریسمان تاثیر گذاشته است؟

✎ آیا دو سر ریسمان به خوبی مشخص بوده یا اینکه فرسوده شده است؟

✓ **خطاهای ممکن ناشی از فرآیند اندازه‌گیری و اپراتور :** شامل :

✎ آیا ابتدای نوار و ریسمان برهم منطبق گردیده و به خوبی در یک خط راست قرار گرفته است؟

✎ آیا نوار و ریسمان به طور صحیحی موازی یکدیگر قرار گرفته اند؟

✎ آیا اندازه‌گیری تکرار پذیر است؟

مرحله دوم : ریسمان را اندازه گرفته و نتیجه را ثبت کنید. به منظور کامل بودن اندازه‌گیریها،

اندازه‌گیری را ۱۰ بار تکرار کرده و در هر دفعه نوار را صاف و همتراز کنید. فرض کنید که میانگین و

انحراف استاندارد ۱۰ بار تکرار به ترتیب ۵/۰۱۷ و ۰/۰۰۲۱ متر باشند.

به منظور اندازه‌گیری دقیق ممکن است موارد زیر را مد نظر قرار دهید:

☞ زمان اندازه‌گیری

☞ چگونگی انجام اندازه‌گیری، شامل اندازه‌گیری به طور افقی یا عمودی و شرح

جزئیات قراردادن نوار روی ریسمان (در یک خط راست).

☞ از چه نوع نوار اندازه‌گیری استفاده کرده اید؟

☞ آیا شرایط محیطی بر نتیجه اندازه‌گیری مؤثر است؟

☞ و هر چیز دیگری که به اندازه گیری ارتباط دارد.

مرحله سوم: همه منابع احتمالی عدم قطعیت را تعیین کرده و اندازه هر یک را تخمین بزنید. در این

حالت می توان گفت که:

- نوار اندازه گیری کالیبره شده و هیچ گونه تصحیحی نیاز نمی باشد اما عدم قطعیت کالیبراسیون با فاکتور همپوشانی ۲ برای توزیع نرمال، ۰/۱٪ مقدار خوانده شده می باشد یعنی: $5 \text{ mm} \sim 0.17 \text{ m} / 0.1 \times 0.1 \text{ \%}$. با تقسیم کردن نتیجه بر عدد ۲ عدم قطعیت استاندارد ($K=1$) برابر خواهد شد با: $u_1 = 2/5 \text{ mm}$.

- تقسیمات روی نوار بر حسب میلی متر است. خواندن نزدیکترین تقسیم بندی، خطایی کمتر یا مساوی $0.5 \text{ mm} \pm$ دارد. با در نظر گرفتن توزیع یکنواخت (قابل ذکر است که مقادیر خوانده شده واقعی به طور متفاوتی در هر جای فاصله 1 mm قرار می گیرند)، عدم قطعیت استاندارد مربوطه برابر است با:

$$u_2 = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \cong 0.3 \text{ mm}$$

- نوار اندازه گیری به صورت صاف و در یک خط راست قرار می گیرد. اما فرض کنید که کمی خمیدگی در آن اجتناب ناپذیر است. بنابراین اندازه گیری ریسمان احتمالاً کمی کمتر از مقدار واقعی برآورد خواهد شد. فرض کنیم که این مقدار ۰/۲٪ کمتر از برآورد واقعی ریسمان بوده و عدم قطعیت ناشی از آن حداکثر ۰/۲٪ می باشد. این موضوع بدان معنی است که با اضافه کردن ۰/۲٪ به طول ریسمان اندازه گیری شده (یعنی ۱۰ میلی متر) تصحیح مورد نظر اعمال خواهد شد. به دلیل فقدان اطلاعات بهتر، فرض می شود که عدم قطعیت از توزیع یکنواخت پیروی می کند. بنابراین عدم قطعیت استاندارد مربوطه برابر است با:

$$u_3 = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} \cong 5.8 \text{ mm} \quad \text{تا نزدیکترین } 0.1 \text{ میلی متر،}$$

- انحراف استاندارد، راجع به تکرارپذیری قرار گرفتن اندازه نوار و اینکه عدم قطعیت میانگین چقدر بوده اطلاعاتی به ما خواهد داد. با توجه به انحراف استاندارد برآورد شده ۱۰ مقدار تکراری طول ریسمان (۲/۱mm)، عدم قطعیت استاندارد نوع A برابر است با:

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{2.1}{\sqrt{10}} \cong 0.7 \text{ mm} \quad , \quad \text{تا یک نقطه اعشار}$$

مرحله چهارم: فرض کنید که خطاهای کمیتهای ورودی مستقل از یکدیگر هستند.

مرحله پنجم: نتیجه حاصل شده از میانگین مقادیر خوانده شده، همراه با تصحیح اعمال شده به

$$\text{دلیل خمیدگی ناچیز ریسمان برابر است با: } 5/0.27 \text{ m} = 5/0.10 \text{ m} + 5/0.17 \text{ m}$$

مرحله ششم: تنها محاسبه بکار رفته در یافتن نتیجه، اضافه کردن تصحیح بوده لذا با استفاده از

ساده ترین شکل فرمول (با بکار بردن رابطه ۳-۴)، عدم قطعیت های استاندارد u_1, u_2, u_3, u_A به صورت

زیر ترکیب خواهند شد:

$$u_C = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_A^2} = \sqrt{2.5^2 + 0.3^2 + 5.8^2 + 0.7^2}$$

$$u_C = 6.4 \text{ mm} \quad , \quad \text{تا یک نقطه اعشار}$$

مرحله هفتم: با در نظر گرفتن فاکتور همپوشانی $K=2$ و حاصل ضرب عدم قطعیت ترکیبی در آن،

عدم قطعیت بسط یافته در سطح اطمینان تقریبی ۹۵٪ برابر است با:

$$U_E = 12.8 \text{ mm} \cong 0.13 \text{ mm}$$

مرحله هشتم: حال نتیجه اندازه گیری تصحیح شده طول ریسمان (مرحله پنجم) همراه با عدم

قطعیت بسط یافته (مرحله هفتم) به صورت زیر گزارش می شوند:

$$\text{در سطح اطمینان تقریبی ۹۵٪} \quad (5.04, 5.014) \quad 5.027 \text{ m} \pm 0.013 \text{ m}$$

نتیجه بدست آمده بدین مفهوم است که اگر ۱۰۰ بار عمل اندازه گیری طول ریسمان انجام گیرد (در

هر دفعه باید ۱۰ بار اندازه گیری تکرار شود) انتظار داریم که ۹۵ دفعه میانگین طول ریسمان در بازه

(۵/۰۱۴، ۵/۰۴) قرار گرفته و تنها ۵ دفعه خارج از فاصله مذکور واقع شود. قابل ذکر است که عدم قطعیت بسط یافته گزارش شده بر اساس حاصلضرب عدم قطعیت استاندارد در فاکتور همپوشانی ۲ که منجر به سطح اطمینان تقریبی ۹۵٪ می‌شود، محاسبه گردیده است.

به منظور درک بهتر فرآیند محاسبات انجام شده در مراحل اول تا هشتم ذکر شده در بخش ۱-۵، آنالیز عدم قطعیت در جدول ۱-۵ خلاصه شده است.

جدول ۱-۵ - محاسبات مربوط به آنالیز عدم قطعیت طول ریسمان بر اساس مراحل هشت‌گانه

منابع عدم قطعیت	مقدار(±)	توزیع احتمال	مقسوم علیه	عدم قطعیت استاندارد
عدم قطعیت کالیبراسیون	۵/۰ mm	نرمال	۲	۲/۵ mm
تفکیک پذیری (اندازه تقسیمات)	۰/۵ mm	یکنواخت	$\sqrt{3}$	۰/۳ mm
صاف قرار نگرفتن کامل ریسمان	۱۰/۰ mm	یکنواخت	$\sqrt{3}$	۵/۸ mm
عدم قطعیت میانگین ۱۰ مقدار تکراری	۰/۷ mm	نرمال	۱	۰/۷ mm
عدم قطعیت ترکیبی		نرمال فرضی		۶/۴ mm
عدم قطعیت بسط یافته		نرمال فرضی $K=2$		۱۲/۸ mm

۲-۵- مثال دوم: به منظور کالیبراسیون یک ترازوی دیجیتال دقیق با تفکیک پذیری $20 \mu gr$ از یک وزنه فولادی به مقدار اسمی $1 kg$ به عنوان استاندارد اندازه‌گیری استفاده می‌شود. در گزارش کالیبراسیون وزنه فولادی مقدار آن $1000.03 gr$ با عدم قطعیت $240 \mu gr$ و ضریب همپوشانی ۳ (سطح اطمینان ۹۹/۷ درصد) گزارش شده است. اگر تنها عوامل ایجاد عدم قطعیت در این فرآیند کالیبراسیون، تفکیک پذیری ترازو و عدم قطعیت وزنه باشد عدم قطعیت کل را محاسبه کنید.

$$U_{1B} = \frac{a}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3}} = 5.8 \mu gr \quad \& \quad U_{2B} = \frac{U_E}{K} = \frac{240}{3} = 80 \mu gr$$

$$\Rightarrow u_c = \sqrt{U_{1B}^2 + U_{2B}^2} = \sqrt{5.8^2 + 80^2} \Rightarrow u_c = 80.2 \mu\text{gr}$$

$$\Rightarrow U_E = Ku_c = 2 \times 80.2 = 160 \mu\text{gr}$$

بنابراین در ارتباط با جرم وزنه فولادی می نویسیم:

$$1.000/0.3 \pm 1/6 \times 10^{-5} \text{ gr} \quad , \quad 99.7\%$$

۳-۵- مثال سوم: مطلوبست تعیین فرمول عدم قطعیت ترکیبی مقاومت الکتریکی یک مدار. طبق

قانون اهم داریم: $R = \frac{V}{I}$ بنابراین خواهیم داشت:

$$c_1 = \frac{\partial R}{\partial V} = \frac{1}{I} \quad \& \quad c_2 = \frac{\partial R}{\partial I} = -\frac{V}{I^2} \quad , \quad u_{c(R)} = \sqrt{c_1^2 u_V^2 + c_2^2 u_I^2}$$

$$\Rightarrow u_{c(R)} = \sqrt{\frac{u_V^2}{I^2} + \frac{u_I^2 \times V^2}{I^4}} \Rightarrow u_{c(R)} = \frac{V}{I} \times \sqrt{\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2}$$

$$\Rightarrow \frac{u_{c(R)}}{R} = \sqrt{\left(\frac{u_V}{V}\right)^2 + \left(\frac{u_I}{I}\right)^2}$$

۴-۵- مثال چهارم: اگر یک مدار الکتریکی دارای سه شاخه موازی بوده و عدم قطعیت استاندارد

هر یک از شاخه‌ها ۱٪، ۲٪ و ۲٪ باشد عدم قطعیت کل را محاسبه کنید.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow \frac{\partial I}{\partial I_1} = \frac{\partial I}{\partial I_2} = \frac{\partial I}{\partial I_3} = 1$$

$$\Rightarrow c_1 = c_2 = c_3 = 1$$

$$\Rightarrow u_{c(I)} = \sqrt{u_{I_1}^2 + u_{I_2}^2 + u_{I_3}^2} = \sqrt{0.01^2 + 0.02^2 + 0.02^2} = 0.03$$

با در نظر گرفتن الزامات UKAS (سطح اطمینان ۹۵٪) داریم:

$$U_E = 2U_c = 2 \times 0.03 = \pm 0.06$$

۵-۵- مثال پنجم: میکرومتری با عدم قطعیت $\pm 0.1 \text{ mm}$ برای محاسبه حجم یک مکعب بکار

می‌رود. با ۳ بار اندازه‌گیری، هر بعد مکعب 10 mm بدست می‌آید. عدم قطعیت اندازه‌گیری را محاسبه

نمایید.

اگر $y = p \times q \times r$ یا $y = \frac{p}{q \times r}$ در آن صورت طبق فرمول‌های : $u_{C(y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_{x_i}^2}$ ،

$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$ و با انجام محاسبات جبری خواهیم داشت:

$$u_{C(y)} = y \sqrt{\left[\frac{u_p}{p}\right]^2 + \left[\frac{u_q}{q}\right]^2 + \left[\frac{u_r}{r}\right]^2}$$

با توجه به فرمول بالا خواهیم داشت:

$$V = a^3 = a \times a \times a$$

$$\Rightarrow u_{C(V)} = V \sqrt{\left[\frac{u_a}{a}\right]^2 + \left[\frac{u_a}{a}\right]^2 + \left[\frac{u_a}{a}\right]^2}$$

$$\Rightarrow u_{C(V)} = a^3 \sqrt{3 \left[\frac{u_a}{a}\right]^2} = a^3 \times \left[\frac{u_a}{a}\right] \times \sqrt{3} = a^2 \times u_a \times \sqrt{3} = 10^2 \times 0.01 \times \sqrt{3}$$

$$\Rightarrow u_{C(V)} = \sqrt{3}$$

۶-۵- مثال ششم : یک کولیس در مقابل بلوک سنجه (Gage Block) در دمای محیط با

تغییرات $\Delta t = \pm 5^\circ \text{F}$ کالیبره می‌شود. تفکیک پذیری کولیس 0.0005 inch می‌باشد. همچنین

اختلاف دمای کولیس و بلوک سنجه $\Delta t^* = 1^\circ \text{F}$ است. سایر اطلاعات عبارتند از:

طول بلوک سنجه: $l = 6 \text{ inch}$ ، ضریب انبساط حرارتی کولیس: $\alpha = 0.9 \times 10^{-6} / ^\circ \text{F}$ ، عدم قطعیت

بلوک سنجه $16 \mu\text{inch}$ ، اختلاف ضریب انبساط حرارتی کولیس و بلوک سنجه برابر با :

$$S = 120 \mu\text{inch} : (n=12) \text{ تایی} \quad \Delta \alpha = 6/5 \times 10^{-6} / ^\circ \text{F}$$

در آن صورت عدم قطعیت بسط یافته (عدم قطعیت کالیبراسیون کولیس) را محاسبه نمایید.

با توجه به اطلاعات مسئله، عدم قطعیت مؤلفه تفکیک پذیری کولیس برابر است با :

$$u_{1B} = \frac{0.0005}{2\sqrt{3}} = 1.45 \times 10^{-4} \text{ inch}$$

همچنین با توجه به عدم قطعیت بلوک سنج (عدم قطعیت کالیبراسیون بلوک سنج) داریم:

$$u_{2B} = \frac{16 \times 10^{-6}}{2} = 8 \times 10^{-6} \text{ inch}$$

از طرف دیگر با توجه به حجم نمونه و انحراف معیار داده شده، عدم قطعیت مربوط به تکرارپذیری

$$u_A = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{120 \times 10^{-6}}{\sqrt{12}} = 3.47 \times 10^{-5} \text{ inch} \text{ : برابر است با}$$

از سوی دیگر، عدم قطعیت مؤلفه طول بلوک سنج ناشی از تغییرات دمای محیط برابر است با:

$$u_{3B} = \frac{l \times \Delta t \times \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{6 \times 5 \times 0.9 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 15.59 \times 10^{-6} \text{ inch}$$

و در نهایت عدم قطعیت مربوط به اختلاف دمای کولیس (وسیله اندازه گیری) و بلوک سنج

(دستگاه مرجع) برابر است با:

$$u_{4B} = \frac{l \times \Delta t^* \times \Delta \alpha}{\sqrt{3}} = \frac{6 \times 1 \times 6.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 22.52 \times 10^{-6} \text{ inch}$$

با توجه به یکسان بودن واحد اندازه گیری مؤلفه های مؤثر، عدم قطعیت ترکیبی برابر است با:

$$u_c = \sqrt{u_{1B}^2 + u_{2B}^2 + u_{3B}^2 + u_{4B}^2 + u_A^2} \Rightarrow u_c = 0.000152 \text{ inch}$$

بنابراین عدم قطعیت بسط یافته کالیبراسیون کولیس در سطح اطمینان ۹۵٪ برابر است با:

$$U_E = 2 \times u_c = 0.0003 \text{ inch}$$

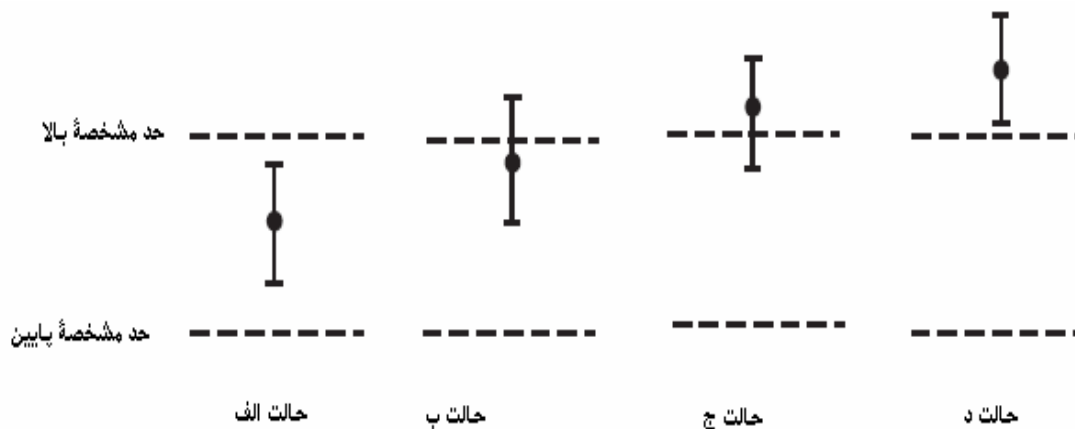
فصل ششم

اظهارات و نقطه نظرات کلی

۱-۶- نکات دیگر (به عنوان مثال برآورده شدن حدود مشخصه) : وقتی که بر اساس مقادیر

اندازه‌گیری شده نتایج استخراج گردید، عدم قطعیت اندازه‌گیری نباید فراموش شود. این موضوع به ویژه در حالتی که اندازه‌گیریها برای آزمون اینکه یک مشخصه دیده شده یا نه، حائز اهمیت می باشد. در بعضی از مواقع ممکن است که نتیجه‌ای به طور آشکار در داخل یا خارج از حدود مشخصه قرار گرفته ولی عدم قطعیت با حدود مشخصه فصل مشترک داشته و روی هم منطبق شوند. شکل ۱-۶ چهار حالت از نتیجه اندازه گیری و مقایسه عدم قطعیت مربوطه را نسبت به حد مشخصه بالا نشان می‌دهد. به طور مشابه ممکن است عدم قطعیت با حد مشخصه پایین اشتراک داشته و روی هم منطبق شوند.

شکل ۱-۶- چهار حالت از نتیجه اندازه‌گیری و مقایسه عدم قطعیت مربوطه با حد مشخصه بالا



در حالت الف نتیجه اندازه‌گیری و عدم قطعیت در داخل حدود مشخصه قرار گرفته و به عنوان موفقیت (برآورده شدن حدود مشخصه) دسته‌بندی می‌شود. در حالت د، هم نتیجه اندازه‌گیری و هم عدم قطعیت خارج از حدود مشخصه واقع شده و به عنوان عدم موفقیت (برآورده نشدن حدود مشخصه) تلقی می‌گردد. در حالات ب و ج، نتیجه اندازه‌گیری و عدم قطعیت به طور کامل نه در داخل حدود مشخصه قرار گرفته و نه خارج از حدود واقع شده‌اند. در این موقعیت هیچ گونه نتیجه محکمی راجع به موفقیت نمی‌توان گفت. همیشه قبل از اظهار نظر راجع به برآورده شدن حدود مشخصه، این حدود

را بررسی نمایید. در بعضی مواقع یک مشخصه ویژگیهای متفاوتی نظیر ظاهر، اتصالات الکتریکی، قابلیت تعویض و ... را پوشش داده که به کمیت مورد اندازه‌گیری ارتباطی ندارد.

۲-۶- چگونه عدم قطعیت اندازه‌گیری را کاهش دهیم؟ همیشه به خاطر داشته باشید که

معمولاً کاهش عدم قطعیت به اندازه‌تعیین کردن آن حائز اهمیت می‌باشد. روشهای مناسبی وجود دارد که منجر به کاهش عدم قطعیت در اندازه‌گیریهای انجام شده خواهند شد. بعضی از این پیشنهادات عبارتند از:

☞ ابزار اندازه‌گیری را کالیبره نموده و تصحیحات کالیبراسیون داده شده در گواهینامه را اعمال نمائید.

☞ به منظور خنثی نمودن هر نوع خطای شناخته‌شده تصحیحات لازم را اعمال نمائید.

☞ اندازه‌گیریها را براساس قابلیت ردیابی به استانداردهای ملی انجام دهید. این امر با

استفاده از کالیبراسیونهای قابل ردیابی به استانداردهای ملی یا براساس یک سری

پیوسته از اندازه‌گیریها امکان‌پذیر خواهد بود. اگر اندازه‌گیریها بر اساس یک آزمایشگاه

اعتباردهی اندازه‌گیریها (مانند UKAS در انگلیس) از کیفیت بالایی برخوردار باشد

می‌توان سطح اطمینان ویژه‌ای را در قابلیت ردیابی اندازه‌گیریها بکار گرفت.

☞ بهترین ابزار اندازه‌گیری را انتخاب نموده و از تسهیلات و ابزار کالیبراسیون با

کوچکترین عدم قطعیت استفاده نمایید.

☞ بر اساس اندازه‌گیریهای تکرار شده، بدست آوردن نتایج دیگری از یک زمان به زمان

دیگر و یا هر نوع روش دیگری برای اندازه‌گیریها را مورد بررسی قرار دهید.

☞ محاسبات را چک کرده و مواظب باشید که در حین نسخه‌برداری اعداد از یک مکان

به مکان دیگر دچار اشتباه نشوید.

☞ از یک جدول (همانند جدول ۱-۵) برای تعیین بدترین عدم قطعیتها استفاده نمایید.

آگاه باشید که در یک سری متوالی از کالیبراسیونها، عدم قطعیت در هر مرحله از این سری افزایش می یابد.

۳-۶- بعضی دیگر از روشهای صحیح اندازه گیری: به طور کلی روشهای مناسب قابل

تشخیصی در اندازه گیریها بکار ببرید. به عنوان مثال:

✓ از دستورالعملهای سازنده دستگاه جهت نگهداری و استفاده از ابزار اندازه گیری پیروی نمائید.

✓ از کارکنان با تجربه استفاده نموده و آموزشهای لازم برای اندازه گیری فراهم گردد.

✓ به منظور اطمینان از عملکرد درست نرم افزار، اعتبار آن را تایید و بررسی نمائید.

✓ در محاسبات از روش رند کردن صحیحی استفاده نمائید.

✓ اندازه گیریها و محاسبات را به خوبی نگهداری نمائید. در هر زمانی که اندازه گیری انجام

می شود مقادیر خوانده شده را ثبت کنید. از هر گونه اطلاعات اضافی که ممکن است

مناسب بوده یادداشت برداشته و آنها را نگهداری نمائید.

برای کسب اطلاعات بیشتر در زمینه جزئیات مربوط به روشهای صحیح اندازه گیری به استاندارد

بین المللی ایزو ۱۷۰۲۵ "شرایط لازم برای صلاحیت آزمایشگاههای کالیبراسیون و آزمون" [۱۰]

مراجعه نمایید.

۴-۶- استفاده از ماشین حساب : وقتی عدم قطعیتها با ماشین حساب یا کامپیوتر محاسبه

می گردد نیازمند آن هستیم تا بدانیم در هنگام استفاده از آنها چگونه از اشتباهات دوری نمائیم.

۱-۴-۶- کلیدهای ماشین حساب : کلید \bar{x} میانگین اعدادی که به حافظه ماشین حساب وارد

شده را نمایش می دهد. همچنین کلید σ_{n-1} یا S انحراف استاندارد برآورد شده جامعه را براساس یک

نمونه محدود نشان می دهد. در عمل هر مجموعه از مقادیر، نمونه کوچکی از یک جامعه نامحدود

قلمداد می شوند. به منظور محاسبه عدم قطعیت استاندارد نوع A می توان از σ_{n-1} یا S به عنوان برآورد

انحراف استاندارد استفاده نمود. ممکن است که ماشین حساب کلید σ_{n-1} نیز داشته باشد. برای برآورد

عدم قطعیت نباید σ_n را بکار برد. σ_n انحراف استاندارد خود نمونه را نتیجه داده و برآوردی از جامعه بزرگتری که سعی بر مشخص کردن آن داریم، ارائه نمی‌دهد. برای یک تعداد خیلی زیاد از مقادیر ($n \rightarrow \infty$) σ_n به σ_{n-1} خیلی نزدیک می‌شود. قابل ذکر است که در موقعیتهای واقعی اندازه‌گیری که با تعداد متوسطی از مقادیر سر و کار داریم نباید از σ_n استفاده نمود.

۲-۴-۶- ماشین حساب و خطاهای نرم افزار: ماشین‌حسابها اشتباه کرده و در بعضی موارد

نتایج غیرقابل انتظاری را در هنگام کار کردن با اعداد خیلی بزرگ نشان می‌دهند. به عنوان مثال بعضی از ماشین‌حسابها نتیجه حاصل ضرب: $0.0000002 \times 0.0000002 = 0$ را دقیقاً صفر گزارش کرده در حالی که جواب صحیح آن: 0.00000000000004 می‌باشد. حتی ممکن است کامپیوترها نیز چنین خطای رند کردنی را مرتکب شوند. به منظور شناسایی این مشکل می‌بایست بعضی از محاسبات را به طور دستی انجام داده تا مطمئن شویم که هر دو محاسبه نتیجه یکسانی دارند. یک روش مناسب برای اجتناب از خطای رند کردن اعداد آن است که در محاسبات از اعداد تبدیل یافته (مقیاس بندی یا کد گذاری کردن اعداد) استفاده نمائیم. به منظور کاربرد کدگذاری یا مقیاس‌بندی اعداد در جهت اجتناب از خطاهای ماشین‌حساب و انجام آسانتر محاسبات دستی، فرض کنید که می‌خواهیم میانگین و انحراف استاندارد برآورد شده اعداد 0.0000003 ، 0.0000006 و 0.00000012 را بدست آوریم. به منظور محاسبه میانگین مراحل زیر را قدم به قدم انجام می‌دهیم:

• **الف** - ابتدا عدد یک را از کلیه اعداد داده شده کم می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$0.0000003, 0.0000006, 0.00000012$$

• **ب** - سپس اعداد حاصله را در 10^8 ضرب می‌کنیم. لذا داریم: $3, 6$ و 12

• **ج** - در نهایت میانگین اعداد در مرحله ب را بدست می‌آوریم یعنی: $\bar{x} = 7$.

به منظور محاسبه میانگین واقعی اعداد داده شده، مراحل یاد شده را در جهت عکس انجام می‌دهیم.

ابتدا میانگین اعداد تبدیل یافته را بر 10^8 تقسیم نموده و به نتیجه بدست آمده عدد یک را اضافه

$$\text{می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت: } 1 + (7 \div 10^8) = 0.0000007$$

برای محاسبه انحراف استاندارد برآورد شده اعداد با استفاده از روش کدگذاری، به طریقه مشابهی عمل می کنیم. بر اساس اعداد تبدیل یافته ۳، ۶ و ۱۲ و میانگین آنها ($\bar{x} = 7$) همچنین بکارگیری فرمول انحراف استاندارد خواهیم داشت:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(-4)^2 + (-1)^2 + 5^2}{2}} = 4.6$$

تا یک نقطه اعشار ،

با اعمال عکس تبدیل های انجام شده و برگشت به مقیاس داده های اصلی انحراف استاندارد برآورد شده برابر است با: $1/0.00000046 = 1 + (10^6 \div 4/6)$.

۳-۴-۶- گرد کردن اعداد: ماشین حسابها و نرم افزارهای صفحه گسترده (مانند Excel)

جوابها را تا چند نقطه اعشاری گزارش می دهند. بعضی از پیشنهادات برای گرد کردن اعداد عبارتند از:

✓ در محاسبات خود درجه معنی داری از گرد کردن را بکار ببرید. ممکن است در هنگام

محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری تعداد نقطه اعشار مورد نیاز را تعیین کنید. در این

حالت معقول است که نتیجه اندازه گیری با همان تعداد نقطه اعشار بیان شوند. مثلاً

اگر عدم قطعیت تا یک نقطه اعشار گرد گردد آنگاه احتمالاً باید نتیجه اندازه گیری را

تا یک نقطه اعشار بیان نمائید. به عنوان نمونه: $20.1 \text{ cm} + 0.2 \text{ cm}$

✓ محاسبات خود را حداقل چند رقم معنی دار بیشتر از آن چیزی که در نهایت نیاز دارید

انجام دهید. اینکه چند رقم معنی دار برای انجام ضرب، تقسیم یا محاسبات پیچیده تر

مورد نیاز است، مد نظر قرار دهید.

✓ به منظور اجتناب از خطاهای گرد کردن اعداد، رند کردن مقادیر را در انتهای محاسبات

انجام دهید. به عنوان مثال اگر عدد ۲/۳۴۶ در مرحله اول محاسبات به صورت ۲/۳۵

گرد گردد ممکن است که بعداً به صورت ۲/۴ رند شود. اما اگر در کلیه محاسبات از

عدد ۲/۳۴۶ استفاده کنیم در مرحله پایانی به طور صحیحی به عدد ۲/۳ گرد خواهد شد.

✓ اگر چه نتیجه نهایی وابسته به اینکه نزدیکترین رقم چیست ممکن است به بالا یا پایین رند شود لذا قانون گرد کردن عدم قطعیتها متفاوت خواهد بود. قابل ذکر است که عدم قطعیت نهایی به بزرگترین عدد بعدی گرد(رند به بالا) خواهد شد.

۵-۶- یادگیری بیشتر و ارائه آن در عمل: هم اکنون مفاهیم پایه‌ای برآورد عدم قطعیت را

شناخته‌اید. با وجود این قبل از ارائه این اطلاعات، در عمل به راهنماییهای بیشتری نیاز دارید. برای کسب معلومات بالاتر به منابع بیشتری برای مطالعه مراجعه نمایید. به منظور تحلیل کامل و صحیح عدم قطعیت اندازه گیری، راهنماییهایی با جزئیات بیشتر در منابع [۵] و [۹] ارائه شده است. هدف اصلی منابع یادشده در آزمایشگاهها، جستجوی صلاحیت و اعتباردهی کالیبراسیون یا آزمون می‌باشد. این منابع فهرست کاملی از روشهای برآورد عدم قطعیت همراه با مثالهای متنوعی از انواع اندازه‌گیریهای مختلف را تشریح می‌کنند. همچنین تعاریف فنی اصطلاحات مربوط به عدم قطعیت و فهرستی از نمادهای رایج مورد استفاده در این منابع مطرح شده است.

۶-۶- برخی هشدارها: تحلیل عدم قطعیت مسیر تکاملی تدریجی داشته و تغییرات ظریف و

دقیقی در رویکرد آن طی سالها رخ داده است. آنچه مهم می‌باشد این است که قوانین مطرح شده در این کتاب راهنما مطلق نبوده و در بسیاری از موارد خاص تفاوتهای ناچیزی در آن بکار رفته است. هر چند که موقعیت و مجال بحث‌های پیچیده‌تری درباره چگونگی انجام محاسبات عدم قطعیت‌های خاص وجود دارد اما مطالب بیان شده در این کتاب راهنما روشهای صحیحی را معرفی می‌نماید. آنچه که در این راهنما بیان شده کل داستان نبوده است. همچنین حالات خاص در آن گنجانده نشده است. بعضی از موارد خاص که در این کتاب راهنما بیان نشده ولی در "منابع بیشتری برای مطالعه" مطرح گردیده است عبارتند از:

☞ استفاده از روشهای آماری برای مجموعه داده های خیلی کوچک (کمتر از ۱۰ عدد).

☞ اگر یک مؤلفه عدم قطعیت ، خیلی بزرگتر از بقیه مؤلفه های مورد بحث باشد .

☞ اگر بعضی از کمیتهای ورودی همبسته (وابسته به یگدیگر) باشند .

☞ اگر پراکندگی یا شکل توزیع غیر معمول باشد .

☞ اگر عدم قطعیت ، یک کمیت تک مقداری نبوده بلکه با برازش یک منحنی یا یک خط راست به داده ها قابل محاسبه باشد .

۷- منابع بیشتری برای مطالعه :

- [1]- BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. International Organization for Standardization, Geneva. ISBN 92-67-10188-9, First Edition 1993, corrected and reprinted 1995. (BSI Equivalent: BSI PD 6461: 1995, *Vocabulary of Metrology, Part 3. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*. British Standards Institution, London.)
- [2]- BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, IUPAP, OIML. *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology* Second Edition 1993. International Organization for Standardization, Geneva.
- [3]- Chatfield, C. (1983) *Statistics for Technology*. Third Edition. (New York: Chapman and Hall.)
- [4]- Dietrich, C.F. (1991), *Uncertainty, calibration and probability*. Second Edition. (Bristol: Adam Hilger.)
- [5]- EA-4/02 *Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration*, 1999, European co-operation for Accreditation.
- [6]- International Standard ISO 3534-1 *Statistics - vocabulary and symbols - Part I: Probability and General Statistical Terms*, First Edition 1993, International Organization for Standardization, Geneva.
- [7]- PD 6461 : Part 1 : 1995 *Vocabulary of Metrology, Part 1. Basic and general terms (international)*, British Standards Institution, London.
- [8]- EURACHEM/CITAC Guide: *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*, Second Edition 2000.
- [9]- UKAS publication M 3003 *The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement* Edition 1, December 1997.
- [10]- International Standard ISO/IEC 17025 *General Requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, First Edition 1999, International Organization for Standardization, Geneva.

ضمناً در زمان چاپ کتاب وب سایتهای اینترنتی زیر اطلاعات سودمندی راجع به تخمین عدم قطعیت اندازه گیری در اختیار گذاشته بودند :

<http://physics.nist.gov/cuu/Uncertainty/index.html>

http://www.ukas.com/new_docs/technical-uncertain.htm

ضمیمه الف – مجموعه اصطلاحات علمی و فنی

در واژه‌نامه زیر تعداد کمی از الفاظ و عبارات مهم توضیح داده شده اند. قابل ذکر است که در این فرهنگ لغت تعاریف دقیق و جامعی ارائه نشده است. به عنوان نمونه می توان تعاریف کامل اصطلاحات را در "واژه نامه بین المللی اصطلاحات کلی و پایه علم اوزان و مقیاسها" جستجو نمود [۲]. همچنین مجموعه تعاریف سودمندی را می توان در "بیان عدم قطعیت و اطمینان در اندازه‌گیری" (انتشارات UKAS M ۳۰۰۳) یافت [۹].

✓ **صحت:** نزدیکی و برابری بین نتیجه اندازه گیری و مقدار واقعی را صحت می‌گوییم. قابل ذکر است که صحت صرفاً یک کمیت کیفی است. به عبارت دیگر صحت وسیله اندازه‌گیری اختلاف بین مقدار واقعی از متوسط مقدار خوانده شده بوده و اریبی (Bias) یا تمایل نیز نامیده می‌شود. هر قدر اریبی کوچکتر باشد دستگاه دارای صحت بیشتری است.

✓ **اریبی ابزار اندازه گیری:** خطای سیستماتیکی است که دلالت بر ابزار اندازه‌گیری دارد.

✓ **کالیبراسیون:** مقایسه ابزار اندازه‌گیری با یک استاندارد یا مرجع به منظور یافتن خطاهای ناشی از ابزار را کالیبراسیون می‌گوییم. در بعضی از حالات، کالیبراسیون ارتباط بین ورودی و خروجی یک ابزار اندازه‌گیری را تعیین می‌کند. به عنوان مثال کالیبراسیون مقاومت ترمومتر، خروجی آن (برحسب اهم) را به درجه حرارت ورودی (برحسب درجه سانتی‌گراد یا درجه کلون) مرتبط می‌سازد.

✓ **سطح اطمینان:** عددی است که بیانگر درجه اطمینان در یک نتیجه می‌باشد.

✓ **تصحیح کالیبراسیون:** عددی است که به مقدار خوانده شده یک ابزار اندازه‌گیری به منظور تصحیح کردن خطا و انحراف (اریبی) اضافه شده و یا به طور مشابهی ضرب یا تقسیم می‌شود.

✓ **همبستگی:** وابستگی و ارتباط بین داده‌ها یا کمیت‌های اندازه‌گیری شده را همبستگی می‌گوییم.

- ✓ **فاکتور همپوشانی :** عددی است که در عدم قطعیت ترکیبی ضرب شده تا عدم قطعیت بسط یافته را در سطح اطمینان مشخصی نتیجه دهد.
- ✓ **خطا :** انحراف مثبت یا منفی از مقدار واقعی را خطا گوئیم.
- ✓ **انحراف استاندارد برآورد شده :** برآورد انحراف استاندارد جامعه بر اساس یک نمونه محدود را انحراف استاندارد برآورد شده می گوئیم.
- ✓ **عدم قطعیت بسط یافته :** حاصل ضرب عدم قطعیت استاندارد یا ترکیبی در فاکتور همپوشانی که سطح اطمینان ویژه‌ای را منجر شود، عدم قطعیت بسط یافته می گوئیم.
- ✓ **فاصله اطمینان :** فاصله‌ای که با یک سطح اطمینان مشخص مقدار واقعی کمیت اندازه‌گیری شده را شامل می شود، فاصله اطمینان می گوئیم.
- ✓ **اندازه ده :** کمیت خاصی را که مورد اندازه‌گیری قرار گرفته، اندازه‌ده می گوئیم.
- ✓ **توزیع نرمال :** توزیع مقادیر براساس الگوی مشخصی از پراکندگی (موسوم به منحنی گوسی) که در آن بیشتر مقادیر اندازه‌گیری شده در نزدیکی میانگین قرار گرفته و مقادیر کمی در دمهای توزیع واقع می شوند، نرمال نامیده می‌شود.
- ✓ **خطای اپراتور :** اشتباهات فاحش و بزرگی که به وسیله اپراتور در هنگام کار با ابزار اندازه‌گیری و ثبت داده ها انجام گرفته و به مهارت و دقت او وابسته است خطای اپراتور می گوئیم.
- ✓ **دقت :** عبارتی که به معنی ظرافت تفکیک‌پذیری بوده اما به طور نامناسبی به جای صحت یا عدم قطعیت بکار می‌رود، دقت نامیده می‌شود. می‌بایست حتی‌الامکان از بکارگیری دقت خودداری گردد. از طرف دیگر می توان گفت که میزان تکرارپذیری یک سیستم را دقت گوئیم. قابل ذکر است که مقادیر خوانده شده از یک سیستم تکرار پذیر به هم نزدیک بوده، به عبارت دیگر پراکندگی نتایج کم خواهد بود.

- ✓ **خطای تصادفی:** خطایی است که اثرات مشاهده شده آن به طور تصادفی تغییر می‌کند.
- ✓ **برد:** اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار در یک مجموعه داده‌ها را برد می‌گوییم.
- ✓ **مقدار خوانده شده:** مقداری است که در زمان اندازه‌گیری مشاهده و ثبت می‌شود.
- ✓ **توزیع یکنواخت (مستطیلی):** توزیع مقادیر با شانس یکسان رخ دادن در هر جای یک بازه مفروض را توزیع یکنواخت می‌گوییم.
- ✓ **تکرار پذیری یک ابزار یا نتایج اندازه‌گیری:** نزدیکی و برابری اندازه‌گیری‌های تکراری یک ویژگی یکسان تحت شرایط یکنواخت را تکرارپذیری می‌گوییم.
- ✓ **تکثیر پذیری یک ابزار یا نتایج اندازه‌گیری:** نزدیکی و برابری اندازه‌گیری‌های یک ویژگی یکسان که تحت شرایط متغیر (اپراتور، روش یا زمان مختلف) انجام می‌شود را تکثیرپذیری یا قابلیت تولید (ساخت) مجدد می‌گوییم.
- ✓ **تفکیک پذیری:** تفکیک‌پذیری یک وسیله اندازه‌گیری کوچکترین اختلافی است که به طور معنی‌داری قابل تشخیص می‌باشد. به عنوان مثال تفکیک‌پذیری یک خط کش معمولی 1mm است.
- ✓ **نتیجه یک اندازه‌گیری:** مقدار بدست آمده از یک اندازه‌گیری که قبل یا بعد از تصحیح یا با میانگین گرفتن حاصل شده را نتیجه اندازه‌گیری می‌گوییم.
- ✓ **میزان حساسیت:** تغییر در نتیجه یک ابزار اندازه‌گیری که توسط تغییر متناظر در محرک تقسیم می‌شود را میزان حساسیت می‌گوییم. به عبارت دیگر حساسیت، کوچکترین ورودی است که به یک سیگنال خروجی قابل تشخیص منجر شود.
- ✓ **انحراف استاندارد:** شاخصی است که پراکندگی یک مجموعه از نتایج را اندازه‌گیری کرده و بیانگر آن است که داده‌ها چه قدر از میانگین فاصله دارند. از آنجایی که محاسبه این شاخص

برای یک مجموعه نامحدود از نتایج غیر ممکن است لذا به جای آن از انحراف استاندارد برآورد شده استفاده می‌کنیم.

✓ **عدم قطعیت استاندارد :** عدم قطعیت اندازه‌گیری بیان شده به صورت یک فاصله که معادل با : (انحراف استاندارد) $\times 1 \pm$ بوده را عدم قطعیت استاندارد می‌گوییم.

✓ **خطای سیستماتیک :** انحراف و اریبی (تمایل) مثبت یا منفی از مقدار واقعی را خطای سیستماتیک می‌گوییم.

✓ **مقدار واقعی :** مقداری است که براساس یک اندازه‌گیری کامل، دقیق و بی‌عیب بدست آمده باشد.

✓ **ارزیابی عدم قطعیت نوع A :** ارزیابی عدم قطعیت بر اساس روشهای آماری.

✓ **ارزیابی عدم قطعیت نوع B :** ارزیابی عدم قطعیت بر اساس روشهای غیرآماری.

✓ **عدم قطعیت اندازه‌گیری :** شک و تردید راجع به نتیجه یک اندازه‌گیری.

ضمیمه ب : تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری و کاربرد آن در صنعت سیمان

چکیده : هدف از این تحقیق، برآورد عدم قطعیت کالیبراسیون و آزمون‌ها (فیزیکی یا شیمیایی) بر اساس روش‌های آماری و غیرآماری می‌باشد. عدم قطعیت اندازه‌گیری آزمون زمان گیرش اولیه سیمان، همچنین عدم قطعیت تهیه محلول‌های استاندارد (کالیبراسیون) در اندازه‌گیری آلکالیها برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی : عدم قطعیت استاندارد، عدم قطعیت ترکیبی، عدم قطعیت بسط یافته، تفرانس، توزیع نرمال، توزیع یکنواخت، توزیع U شکل، توزیع مثلثی، دقت، خطا، صحت، تفکیک پذیری، ضریب اطمینان، فاکتور همپوشانی، اندازه ده.

۱- مقدمه : در اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی یک ماده همواره اعداد یکسان بدست نمی‌آید و اندازه‌گیری کاملاً تکرارپذیر نیست زیرا در معرض مقادیر متفاوتی از عدم قطعیت قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که منابع مختلفی شامل ابزارهای اندازه‌گیری، شرایط محیط، اپراتور و کمیت مورد اندازه‌گیری بر عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها تاثیر خواهند گذاشت.

۲- مفاهیم اولیه : در این قسمت به تعریف مفاهیم خطا، صحت، دقت، تفرانس، تفکیک‌پذیری، ضریب اطمینان، عدم قطعیت و فاکتور همپوشانی می‌پردازیم.

• **خطا (Error) :** خطای وسیله اندازه‌گیری به صورت تفاوت بین مقدار واقعی از مقدار

اندازه‌گیری شده یک کمیت تعریف می‌شود.

• **صحت (Accuracy) :** صحت وسیله اندازه‌گیری اختلاف بین مقدار واقعی از متوسط

مقدار خوانده شده بوده و اریبی (Bias) یا تمایل نیز نامیده می‌شود. هر قدر اریبی کوچکتر باشد دستگاه دارای صحت بیشتری است.

• **دقت (Precision) :** میزان تکرارپذیری سیستم را دقت گوئیم. مقادیر خوانده شده از یک

سیستم تکرار پذیر به هم نزدیک‌اند به عبارت دیگر پراکندگی نتایج کم است.

- **تولرانس (Tolerance):** تولرانس یک وسیله اندازه‌گیری محدوده مجازی است که می‌توانیم برای خطا داشته باشیم. تولرانسها معمولاً توسط سازندگان دستگاهها، استانداردها یا قطعات مشخص می‌شوند. در حقیقت تولرانس مشخص کننده محدوده های اندازه‌گیری است که در آن یک قطعه ساخته شده است. دستگاهها و استانداردهای با کیفیت بالا معمولاً با تولرانسهای کمتر نسبت به موارد با کیفیت پایین ساخته می‌شوند.

- **تفکیک پذیری (Resolution):** تفکیک‌پذیری یک وسیله اندازه‌گیری به صورت کمترین اختلاف بین اعداد یک نشان دهنده که بتواند به طور معنی‌دار از هم تشخیص داده شود، تعریف می‌گردد. به عنوان مثال تفکیک‌پذیری یک خط کش معمولی 1mm است.

- **ضریب اطمینان (Confidence Coefficient):** گوییم فاصله (L,U) یک فاصله اطمینان با ضریب اطمینان $(1-\alpha)$ برای پارامتر مجهول θ است اگر داشته باشیم:

$$P(L < \theta < U) = 1 - \alpha$$

در حقیقت ضریب اطمینان (سطح اطمینان) میزان اطمینانی است که پارامتر مجهول به یک فاصله تعلق دارد.

- **عدم قطعیت (Uncertainty):** عدم قطعیت به صورت حدود خطا در اندازه‌گیری با در نظر گرفتن کلیه منابع خطا تعریف می‌شود. قابل ذکر است که تعاریف دیگر عدم قطعیت عبارتند از:

الف – عدم قطعیت اندازه‌گیری، پارامتری مربوط به نتیجه اندازه‌گیری است که پراکندگی مقادیری را که به طور منطقی به یک اندازه ده (Measurand) (کمیت خاصی که مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد) می‌توان نسبت داد، مشخص می‌کند. این پارامتر می‌تواند یک انحراف استاندارد (Standard Deviation) یا مضاربی از آن باشد.

ب- عدم قطعیت بیانگر گستره مقادیری است که با سطح اطمینان مشخص تخمین زده می‌شود که اندازه‌ده در آن فاصله قرار دارد.

• **فاکتور همپوشانی (Coverage Factor):** عددی است که در سطح اطمینان مشخص در عدم قطعیت ترکیبی ضرب می‌گردد تا عدم قطعیت بسط یافته بدست آید.

۳- کاربرد توزیع های آماری در تخمین عدم قطعیت: بر اساس مفهوم خطا، عدم قطعیت را می‌توان به صورت گستره‌ای در اطراف صفر که خطا در آن قرار دارد، تعریف کرد. از آنجایی که پراکندگی یک مجموعه از مقادیر را که می‌تواند اشکال مختلفی داشته باشد، توزیع احتمال می‌گوییم لذا عدم قطعیت همان توزیع احتمال پراکندگی خطا می‌باشد. قابل ذکر است که توزیع‌های آماری نرمال، یکنواخت (مستطیلی)، U شکل و مثلثی به طور مناسبی برای خطاها استفاده می‌گردند.

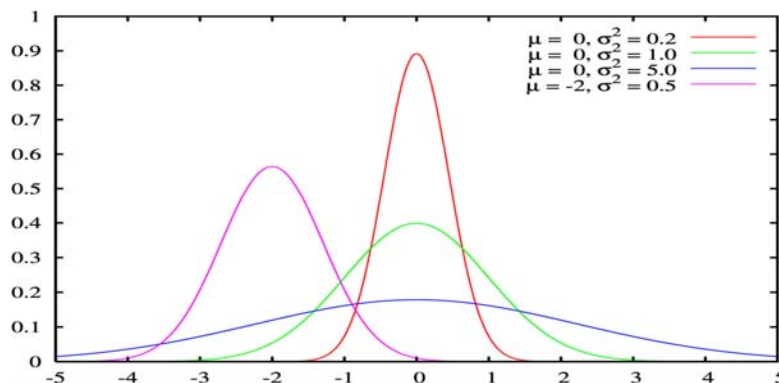
۳-۱- توزیع نرمال (Normal Distribution): اگر X دارای توزیع نرمال با میانگین μ و

واریانس σ^2 باشد آنگاه تابع چگالی آن برابر است با :

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\}, \quad -\infty < x < +\infty$$

و می‌نویسیم : $X \sim N(\mu, \sigma^2)$. شکل ۳-۱ نمودار تابع چگالی نرمال را به ازای مقادیر مختلف میانگین و واریانس نمایش می‌دهد.

شکل ۳-۱- نمودار تابع چگالی نرمال به ازای مقادیر مختلف μ و σ^2



به تجربه ثابت شده که بسیاری از متغیرهای طبیعی از این توزیع پیروی کرده ، همچنین اغلب برای مدل کردن متغیرهایی که با رفتار آنها آشنایی نداریم (مانند خطاهای اندازه گیری) از این توزیع استفاده می کنیم . قابل ذکر است که اگر $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ آنگاه روابط احتمالی زیر برقرارند :

$$P(\mu - \sigma < X < \mu + \sigma) = 0.68$$

$$P(\mu - 2\sigma < X < \mu + 2\sigma) = 0.95$$

$$P(\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma) = 0.997$$

رابطه ۱-۳

۲-۳- توزیع یکنواخت (Uniform Distribution): اگر X دارای توزیع یکنواخت روی

فاصله (a, b) باشد آنگاه دارای تابع چگالی زیر خواهد بود:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & , a < x < b \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

توزیع یکنواخت زمانی کاربرد دارد که اندازه‌ها به طور یکسان بین کمترین و بیشترین مقدار پراکنده شده‌اند. در حقیقت توزیع مقادیر با شانس یکسان در هر جای یک بازه تعریف شده رخ می‌دهد. بنابراین در مواقعی که صرفاً حدود پایینی و بالایی یک خطا یا تیرانس مربوط به ابزار اندازه‌گیری در گواهی کالیبراسیون قابل تشخیص باشد آنگاه برای محاسبه عدم قطعیت مربوطه باید توزیع یکنواخت را بکار ببریم. به عنوان مثال، از این توزیع برای تخمین عدم قطعیت مؤلفه‌های زیر استفاده می‌شود:

✓ مؤلفه تأثیر نیروی ارشمیدس (یک میلیونیم جرم وزنه) در کالیبراسیون وزنه‌ها.

✓ مؤلفه قابلیت خطی بودن در کالیبراسیون تجهیزات (ترازوها، دماسنج‌ها، فشارسنج‌ها و ...)

که در کالیبراسیون کاربرد دارد.

✓ مؤلفه تفکیک پذیری تجهیزات اندازه‌گیری (ترازوها، ظروف حجمی، فلیم فتومتر و ...) که هم

در کالیبراسیون و هم در آزمون مؤثر است.

✓ مؤلفه دما در کالیبراسیون و آزمون ظروف حجمی.

۳-۳- توزیع U شکل : برای داده‌هایی که احتمال وجود نتیجه در دو انتهای فاصله مشخص شده

بیشتر بوده، از توزیع U استفاده می‌کنیم. به عنوان نمونه ترموستاتی را در نظر بگیرید که دمای اتاق را کنترل نموده و به روی درجه حرارت خاصی تنظیم شده است.

۳-۴- توزیع مثلثی: برای داده‌هایی که احتمال وجود نتیجه در مرکز بیشتر از دامنه نوسان باشد

از توزیع مثلثی استفاده می‌کنیم. به عنوان مثال مؤلفه حجم برای ظروف حجمی که به صورت $U \pm ncc$ معرفی شود از توزیع مثلثی پیروی می‌کند.

۴- تخمین عدم قطعیت: جهت تخمین عدم قطعیت ابتدا باید عوامل مهم موثر بر نتیجه

اندازه‌گیری و کالیبراسیون را شناسایی کرده و سپس مقدار عددی هر یک را بر حسب واحد اندازه‌گیری بدست آوریم. مؤلفه‌های تأثیرگذار روی نتیجه اندازه‌گیری یا به عبارتی عوامل ایجاد کننده عدم قطعیت به دو روش زیر اندازه‌گیری می‌شوند:

۴-۱- مؤلفه‌هایی که به کمک روشهای آماری محاسبه می‌شوند. به این دسته از مؤلفه‌های

عدم قطعیت، گروه A (عدم قطعیت استاندارد نوع A) می‌گویند. معمولاً این عدم قطعیت به منظور محاسبه مقداری برای تکرارپذیری یا تصادفی بودن یک فرآیند اندازه‌گیری در یک موقعیت خاص بکار می‌رود. اگر حجم نمونه (n) بزرگ باشد ($n > 25$ یا $n > 30$) از توزیع نرمال و در غیر این صورت (حجم نمونه کوچک) از توزیع آماری تی استیودنت (Student's T) استفاده می‌کنیم. در توزیع نرمال و براساس رابطه ۳-۱، عدم قطعیت نوع A برابر است با :

$$u_A = \pm 1 \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{در سطح اطمینان } 68\%$$

$$u_A = \pm 2 \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{در سطح اطمینان } 95\%$$

$$u_A = \pm 3 \frac{S}{\sqrt{n}} \quad \text{در سطح اطمینان } 99.7\%$$

قابل ذکر است که \bar{X} و S به ترتیب میانگین و انحراف استاندارد مقادیر اندازه‌دهنده X_1, X_2, \dots, X_n بوده و داریم:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}, \quad S = \sqrt{S^2}$$

در توزیع تی عدم قطعیت نوع A برابر است با: $u_A = \pm t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) \times \frac{S}{\sqrt{n}}$ در جایی که مقادیر

$t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1)$ (مقادیر $\frac{\alpha}{2}$ درصد توزیع تی با $n-1$ درجه آزادی) از جدول توزیع تی بدست می‌آید. قابل

ذکر است که عدم قطعیت کمیت‌های مرتبط با این مؤلفه به دو صورت قابل محاسبه هستند:

۱-۱-۴ - عدم قطعیت کمیت تک مقداری: منظور از کمیت تک مقداری مقدار جرم یک

وزنه، مقدار اهم یک مقاومت، مقدار طول یک بلوک و ... می‌باشد. در این گونه موارد میانگین (\bar{X}) چند بار تکرار آزمایش را به عنوان مقدار اسمی کمیت مورد نظر بدست آورده و سپس انحراف استاندارد مقادیر (S) محاسبه و در نهایت طبق فرمولهای بخش ۱-۴ عدم قطعیت استاندارد نوع A بر اساس توزیع های نرمال یا تی محاسبه می‌گردد.

۲-۱-۴ - عدم قطعیت کمیتی با تعداد مقادیر بیشتر: می‌خواهیم عدم قطعیت کمیت Y

را که تحت تاثیر متغیر X قرار می‌گیرد بدست آوریم. در این حالت با استفاده از روش رگرسیون، رابطه‌ای برای متغیرها تعیین و این ارتباط را با منحنی خاصی مشخص می‌کنیم. در چنین مواردی باید ارتباط بین متغیرها را از قبل مشخص کرده و سپس با اعمال محاسبات ریاضی، عدم قطعیت مورد نظر را اندازه‌گیری نماییم. با توجه به اینکه در کالیبراسیون یک وسیله اندازه‌گیری، منحنی عملکرد اندازه‌گیری مقایسه‌ای همیشه یک خط راست در نظر گرفته می‌شود لذا براساس یک نمونه تصادفی n تایی خواهیم داشت: $Y_i = a + b x_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n$ در جایی که ε_i ها خطاها هستند. براساس روش

رگرسیون (حداقل مربعات) خطی ساده، مدل برازش شده عبارت است از: $\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{b} x_i$ درجایی که:

$$\hat{a} = \bar{Y} - \hat{b} \bar{x}, \quad \hat{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i Y_i - n \bar{x} \bar{Y}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2}$$

از طرف دیگر می‌توان نوشت که:

$$VAR(\hat{Y}_i) = VAR(\hat{a} + \hat{b} x_i) = VAR(\hat{a}) + x_i^2 VAR(\hat{b}) + 2 COV(\hat{a}, \hat{b} x_i)$$

بنابراین عدم قطعیت کمیت مورد نظر (\hat{Y}) برابر است با:

$$u_Y^2 = S_{\hat{Y}}^2 = S_{\hat{a}}^2 + x_i^2 S_{\hat{b}}^2 + 2 x_i COV(\hat{a}, \hat{b})$$

درجایی که: $S_{\hat{a}}$ عدم قطعیت ضریب \hat{a} و $S_{\hat{b}}$ عدم قطعیت ضریب \hat{b} و $COV(\hat{a}, \hat{b})$ کوواریانس

بین \hat{a}, \hat{b} می‌باشد. اگر قرار دهیم:

$$S_{YY} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2 \quad \text{و} \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2, \quad S^2 = MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{a} - \hat{b} x_i)^2}{n - 2}$$

در آن صورت خواهیم داشت:

$$S_{\hat{a}}^2 = S^2 \left[\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{S_{xx}} \right], \quad S_{\hat{b}}^2 = \frac{S^2}{S_{xx}}$$

$$COV(\hat{a}, \hat{b}) = -\frac{\bar{x} \times S^2}{S_{xx}}, \quad S^2 = \frac{S_{YY} - \hat{b}^2 S_{xx}}{n - 2}$$

قابل ذکر است که اگر کلیه عدم قطعیت‌های نقاط کالیبراسیون با هم یکسان و نقاط به صورت یکسان در

منحنی پراکنده شده باشند آنگاه عدم قطعیت برابر است با: $u_Y^2 = \frac{r+1}{n} S^2$ که در آن r درجه

منحنی کالیبراسیون (برای مدل خطی، $r=1$) بوده و خواهیم داشت: $u_Y^2 = \frac{2}{n} S^2$.

۲-۴- مؤلفه‌هایی که به روش غیر آماری تعیین می‌شوند. عوامل سیستماتیک عدم قطعیت

نظیر آن دسته از خطاهایی که در زمان انجام اندازه‌گیری ثابت می‌مانند از طریق ارزیابی نوع B

(عدم قطعیت استاندارد نوع B) تحلیل می‌شوند. این اطلاعات معمولاً از تجارب قبلی اندازه‌گیری،

گواهی کالیبراسیون، مشخصه های تولید کنندگان و مطالب انتشار یافته بدست می آیند. جهت محاسبه عدم قطعیت نوع B حالات زیر را در نظر می گیریم :

* در مواقعی که اطلاعات ناچیز بوده و تنها حدود پایین و بالای خطا مشخص می باشد و با

در نظر گرفتن توزیع یکنواخت داریم : $u_B = \pm \frac{a}{2\sqrt{3}}$ ، در جایی که a گستره (برد) تغییرات

می باشد. در حالتی که حدود تolerانس معلوم باشد خواهیم داشت:

$$u_B = \pm \frac{\text{Tolerance Limit}}{\sqrt{3}}$$

* بر اساس عدم قطعیت بدست آمده از گواهی کالیبراسیون (عدم قطعیت بسط یافته یا U_E) که

در آن سطح اطمینان (عددی که نشان دهنده درجه اطمینان در یک نتیجه است) یا فاکتور

همپوشانی (K) گزارش شده و با فرض توزیع نرمال، عدم قطعیت استاندارد برابر است

$$u_B = \frac{U_E}{K} \quad \text{با}$$

* در حالتی که توزیع U شکل مناسب باشد، عدم قطعیت نوع B برابر است با : $u_B = \pm \frac{a}{\sqrt{2}}$

* در حالتی که توزیع مثلثی مناسب باشد، عدم قطعیت نوع B برابر است با : $u_B = \pm \frac{a}{\sqrt{6}}$

قابل ذکر است که هر گاه دلیل کافی برای انتخاب نوع توزیع نداشته باشیم از توزیع یکنواخت استفاده می کنیم .

۳-۴- محاسبه عدم قطعیت ترکیبی: وقتی عدم قطعیت استاندارد کمیتهای ورودی X_i از

دو نوع ارزیابی A و B حاصل شده باشد عدم قطعیت استاندارد ترکیبی (مركب) کمیت خروجی

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} : \text{ داریم که جایی در } u_{C(Y)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 u_{X_i}^2} \text{ : Y=f(X}_1, X_2, \dots, X_n) \text{ برابر است با}$$

ضریب حساسیت می باشد.

۴-۴ - محاسبه عدم قطعیت بسط یافته : عدم قطعیت گسترده یا بسط یافته، حاصلضرب فاکتور

همپوشانی در عدم قطعیت استاندارد ترکیبی می باشد یعنی خواهیم داشت: $U_E = K u_{C(Y)}$. قابل

ذکر است که سطح اطمینان یا فاکتور همپوشانی (K) در توزیع نرمال به ازای ضرایب اطمینان ۶۸٪،

۹۵٪ و ۹۹/۷٪ (طبق رابطه ۳-۱) به ترتیب برابرند با: $K=1$, $K=2$ و $K=3$. با توجه به اینکه طبق

الزامات آزمایشگاه تایید صلاحیت انگلیس در زمینه اعتبارسنجی اندازه گیری ها و قابلیت ردیابی

کالیبراسیون معروف به UKAS (United Kingdom Accredited Service) مقدار فاکتور

همپوشانی ۲ توصیه شده لذا خواهیم داشت:

$$U_E = 2 u_{C(Y)}$$

۵- گزارش دهی نتایج : پس از محاسبه عدم قطعیت بسط یافته در سطح اطمینان ۹۵٪ ($K=2$)

مطابق با الزامات UKAS، مقدار اندازه ده (Y) و عدم قطعیت بسط یافته (U_E) به صورت :

$$Y \pm U_E \text{ ، در سطح اطمینان } 95\%$$

گزارش می شود و دلالت بر آن دارد که:

"عدم قطعیت بسط یافته بر اساس حاصلضرب عدم قطعیت استاندارد ترکیبی در ضریب همپوشانی

$K=2$ که معادل سطح اطمینان تقریبی ۹۵٪ بوده، محاسبه شده است. ضمناً ارزیابی عدم قطعیت بر

اساس الزامات UKAS انجام شده است."

۶- مثالهای کاربردی در صنعت سیمان : به منظور درک بهتر محاسبات مربوط به تخمین عدم

قطعیت و کاربرد آن در صنعت سیمان، عدم قطعیت اندازه گیری زمان گیرش اولیه سیمان و عدم

قطعیت اندازه گیری آلکالیها (K_2O , Na_2O) را برآورد می کنیم.

۱-۶- تخمین عدم قطعیت اندازه گیری زمان گیرش اولیه سیمان: طبق دستورالعمل

تخمین عدم قطعیت زمان گیرش سیمان در سیستم مدیریت یکپارچه IMS همچنین دستورالعمل تعیین زمانهای گیرش اولیه و نهایی در شماره استاندارد ۳۹۲ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مولفه های موثر بر زمان گیرش عبارتند از :

۱-۱-۶- مؤلفه توزین نمونه سیمان: با توجه به نمونه ۳۵۰ گرمی سیمان

($mc = 350 \text{ g}$) و طبق گواهینامه کالیبراسیون ترازوی مربوطه و درونیایی خطی، عدم قطعیت

ترازو برابر است با : $U_w = 21 \text{ mg}$ بنابراین عدم قطعیت مولفه برابر است با :

$$u_{mc} = \frac{U_w}{2} = 10.5 \text{ mg}$$

۲-۱-۶- مؤلفه آب اختلاط : طبق گواهینامه کالیبراسیون استوانه مدرج، عدم قطعیت

استوانه برابر است با : $U_b = 3 \times 10^{-6} \text{ L}$ بنابراین عدم قطعیت مولفه آب اختلاط برابر است

با : $u_{vw} = \frac{U_b}{2} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ L}$ ، همچنین داریم : $vw = 84 \times 10^{-3} \text{ L}$.

۳-۱-۶- مؤلفه وزن میله (متعلقات) ۳۰۰ گرمی دستگاه ویکات : عدم قطعیت مندرج

در گواهینامه کالیبراسیون ترازوی مورد استفاده برابر است با : $U_f = 0.05 \text{ g}$. بنابراین عدم قطعیت

مولفه برابر است با : $u_{mf} = \frac{U_f}{2} = 0.025 \text{ g}$. همچنین داریم : $mf = 300 \text{ g}$.

۴-۱-۶- مؤلفه مربوط به تغییرات مجاز کرانه‌ای آب اختلاط : با توجه به اینکه

تولرانس آب اختلاط ۵ میلی لیتر ($L = 5 \times 10^{-3} \text{ lit}$) بوده و بر اساس توزیع مستطیلی عدم قطعیت

مولفه مربوطه برابر است با : $u_{wc} = \frac{L}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-3} \text{ lit}$. همچنین می توان نوشت :

$$wc = 84 \times 10^{-3} \text{ lit}$$

۵-۱-۶- عدم قطعیت مرکب و بسط یافته : با توجه به عدم قطعیت مؤلفه های محاسبه

شده در بخش ۱-۶ و زمان گیرش اولیه $t = 45 \text{ min}$ ، عدم قطعیت ترکیبی طبق فرمول زیر محاسبه شده و خواهیم داشت:

$$\frac{u_c}{t} = \sqrt{\left(\frac{u_{mc}}{mc}\right)^2 + \left(\frac{u_{vw}}{vw}\right)^2 + \left(\frac{u_{mf}}{mf}\right)^2 + \left(\frac{u_{wc}}{wc}\right)^2}$$
$$\Rightarrow u_c = 2.052927 \text{ min}$$

همچنین عدم قطعیت بسط یافته زمان گیرش اولیه سیمان با استفاده از دستگاه ویکات در سطح اطمینان ۹۵ درصد ($K=2$) برابر است با :

$$U_E = 2u_c = 4.106 \text{ min}$$

۲-۶- تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آلکالیا (K_2O , Na_2O) : طبق دستورالعمل

تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آلکالیا با دستگاه فتومتر شعله در IMS همچنین دستورالعمل تجزیه شیمیایی سیمانها ، اندازه گیری اکسید سدیم و اکسید پتاسیم در شماره استاندارد ۱۶۹۵ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران کالیبراسیون دستگاه وابسته به تهیه محلولهای استاندارد بوده لذا تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آلکالیا با فلیم فتومتر به دو بخش تخمین عدم قطعیت تهیه نمونه های استاندارد (کالیبراسیون) و عدم قطعیت آزمون تقسیم می گردد. در این بخش قصد داریم تا عدم قطعیت کالیبراسیون را برآورد نماییم. مؤلفه های مؤثر بر تهیه محلولهای استاندارد شامل موارد ذیل می باشند :

۱-۲-۶- عدم قطعیت نمونه های استاندارد : طبق غلظت واقعی نمونه های استاندارد

برای K_2O و Na_2O (X) و مقدار خوانده شده از دستگاه (Readout) یعنی نور ساطع شده (Y) و بر اساس یک نمونه تصادفی ۶ تایی جدول داده های زیر بدست خواهد آمد:

جدول ۱ - غلظت واقعی نمونه های استاندارد و مقادیر خوانده شده دستگاه

K ₂ O	X	۰	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
	Y	۰	۱۶	۳۷	۶۳	۸۳	۱۰۰
Na ₂ O	X	۰	۱۰	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰
	Y	۰	۱۹	۴۰	۶۴	۸۵	۱۰۰

طبق داده های جدول ۱ و برازش مدل رگرسیون خطی ساده: $\hat{Y}_i = \hat{a} + \hat{b} X_i$ در جایی که:

$i = 1, 2, \dots, 6$ همچنین بر اساس خروجی های ۱، ۲ و فرمول زیر:

$$u_{1B} = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{SS_{resid}}{n-2}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{a} - \hat{b}x_i)^2}{n-2}}$$

خروجی ۱

Regression output for K ₂ O				
Factor	Coef	Std Error	t stat	p Value
Constant	6.957	4.054	1.716	0.161
B	0.989	0.072	13.681	0.000
RSquared	0.979		StdError	6.298
Adj R Sq	0.974		SS reg	7424.177
F Value	187.177		SSresid	158.656

خروجی ۲

Regression output for Na ₂ O				
Factor	Coef	Std Error	t stat	p Value
Constant	8.943	4.712	1.898	0.131
A	0.978	0.084	11.635	0.000
RSquared	0.971		StdError	7.321
Adj R Sq	0.964		SS reg	7256.923
F Value	135.384		SSresid	214.410

مقادیر عدم قطعیت مولفهٔ مربوطه برای K_2O و Na_2O عبارتند از :

$$u_{1B}(K_2O) = 6.29$$

$$u_{1B}(Na_2O) = 7.321$$

قابل ذکر است که : $c = 1000 \text{ ppm}$.

۲-۲-۶- مؤلفه مربوط به دمای مؤثر بر ظروف حجمی (u_{2B}) : با توجه به مقادیر حجم

بالن شیشه مورد استفاده ($V_0=200 \text{ ml}$)، ضریب انبساطی حجمی شیشه ($\beta = 2.1 \times 10^{-4} \text{ ml}^{-1}$)

و تغییرات دمای محیط آزمایشگاه ($\Delta t = \pm 1^\circ \text{ C}$) عدم قطعیت مولفهٔ مربوطه برابر است با :

$$u_{2B} = \frac{V_0 \times \beta \times \Delta t}{\sqrt{3}} = 0.024 \quad \text{قابل ذکر است که: } t = 20^\circ \text{ C}$$

۲-۲-۶- تفکیک پذیری دستگاه فلیم فتومتر (u_{3B}) : بر اساس توزیع یکنواخت

و تفکیک پذیری دستگاه فلیم فتومتر برابر با 0.1 ، عدم قطعیت مؤلفه تفکیک پذیری برابر است با :

$$u_{3B} = \frac{0.1}{2\sqrt{3}} = 0.029 \quad \text{در جایی که قرار می دهیم: } c = 0.005$$

۲-۲-۶- مؤلفهٔ توزین نمونه‌های استاندارد (u_{4B}) : طبق

گواهینامهٔ کالیبراسیون ترازو و با توجه به نمونه مورد استفاده $m=2000 \text{ mg}$ خواهیم داشت :

لذا عدم قطعیت مولفه توزین مربوطه برابر است با : $U_t=0.14 \text{ mg}$

$$u_{4B} = \frac{U_t}{2} = 0.07 \text{ mg}$$

۲-۲-۵- مؤلفهٔ مربوط به حجم بالن (u_{5B}) : عدم قطعیت مولفهٔ مورد نظر برابر است

با : $u_{5B} = \frac{U_b}{2} = 1.5 \times 10^{-6} \text{ lit}$ در جایی که : $U_b = 3 \times 10^{-6} \text{ lit}$ عدم قطعیت مندرج در گواهینامهٔ

کالیبراسیون بالن مورد استفاده می باشد. همچنین داریم : $v = 0.2 \text{ lit}$.

۲-۲-۶- عدم قطعیت مرکب و گسترده : با توجه به محاسبات عدم قطعیت و فرمولهای

زیر ، عدم قطعیت مرکب تهیهٔ محلول های استاندارد برابر است با :

$$u_c(K_2O) = \sqrt{\left(\frac{u_{1B}(K_2O)}{c}\right)^2 + \left(\frac{u_{2B}}{t}\right)^2 + \left(\frac{u_{3B}}{c}\right)^2 + \left(\frac{u_{4B}}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_{5B}}{v}\right)^2}$$

$$\Rightarrow u_c(K_2O) = 0.0584$$

$$u_c(Na_2O) = \sqrt{\left(\frac{u_{1B}(Na_2O)}{c}\right)^2 + \left(\frac{u_{2B}}{t}\right)^2 + \left(\frac{u_{3B}}{c}\right)^2 + \left(\frac{u_{4B}}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_{5B}}{v}\right)^2}$$

$$\Rightarrow u_c(Na_2O) = 0.0585$$

بنابراین عدم قطعیت گسترده تهیه نمونه های استاندارد در سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر است با :

$$U_E(K_2O) = 2u_c(K_2O) = 0.1168$$

$$U_E(Na_2O) = 2u_c(Na_2O) = 0.117$$

با توجه به یکسان بودن مقادیر عدم قطعیت گسترده تهیه نمونه های استاندارد برای K_2O و Na_2O ، در سطح اطمینان ۹۵٪ خواهیم داشت : $U_E = 0.12$. قابل ذکر است که عدم قطعیت محاسبه شده به عنوان مؤلفه عدم قطعیت کالیبراسیون (مرجع) مورد استفاده قرار می گیرد .

۷- نتیجه گیری : در این تحقیق ضمن معرفی روشهای آماری و غیر آماری در تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آزمون و کالیبراسیون، چگونگی انجام محاسبات با استفاده از مثالهای کاربردی در صنعت سیمان توضیح داده شد.

ضمیمه ج - مفاهیم مقدماتی کالیبراسیون

مقدمه: امروزه حضور در بازارهای رقابتی فشرده در جهان صنعتگران را بر آن داشته تا بیش از گذشته به کیفیت محصولات خود توجه نمایند. کشورهای در حال توسعه نیز که تمایل به رشد صنعتی دارند از این قاعده مستثنی نیستند. عوامل متعددی بر کیفیت یک محصول تاثیر می گذارند که در اینجا می توان از دانش فنی، مواد اولیه، نیروی انسانی، تکنولوژی، ماشین آلات و... نام برد. یکی دیگر از این عوامل مؤثر، ابزارهای اندازه گیری هستند که وظیفه محک زدن کیفیت محصول را با توجه به استانداردها بر عهده دارند. برای حصول اطمینان از کیفیت یک محصول باید ابزارها از صحت و دقت عملکرد لازم برخوردار باشند. به همین منظور مفهوم کالیبره کردن ابزارهای اندازه گیری مطرح می گردد. شناخت اهمیت کالیبراسیون برای تجهیزات اندازه گیری مستقر در کارخانجات و صنایع یکی از مسائل مهمی بود که با آغاز استقرار استانداردهای سری ۹۰۰۰ در کارخانجات ایران مورد توجه قرار گرفت. در این میان در بعضی از مراکز موجود به علت عدم آگاهی مشاوران یا مسئولین مربوطه حتی الزامات اولیه کالیبراسیون اعم از دانش فنی، تجهیزات مناسب، قابلیت ردیابی و... رعایت نمی شود. همچنین از گواهینامه های کالیبراسیون صادره علی رغم هزینه هایی که در بردارد اطلاعات لازم جهت استفاده در سیستم اخذ نمی شود. بنابراین به نظر می رسد که درک صحیح و کامل از مفهوم کالیبراسیون و اجرای درست آن در بهینه سازی سیستم اندازه گیری و نیز در جلوگیری از هزینه های اضافی کمک شایانی می کند.

۱- تعریف کالیبراسیون: تعاریف متعددی برای کالیبراسیون ارائه شده است. در استاندارد ملی ایران

در بخش "واژه ها و اصطلاحات پایه و عمومی اندازه شناسی" کالیبراسیون چنین تعریف شده است:

✓ مقایسه ابزار دقیق با یک مرجع استاندارد آزمایشگاهی در شرایط استاندارد جهت

اطمینان از دقت و سلامت آن و تعیین میزان خطای این وسیله نسبت به آن استاندارد

و تنظیم آن در مقایسه با استاندارد.

تعاریف دیگر عبارتند از :

✓ کالیبراسیون مقایسه دو سیستم یا وسیله اندازه گیری (یکی با عدم قطعیت معلوم و دیگری با عدم قطعیت نامعلوم) به منظور محاسبه عدم قطعیت وسیله ای است که نامعلوم می باشد.

✓ مجموعه ای از عملیات که تحت شرایط مشخصی برقرار می شود و رابطه بین مقادیر نشان داده شده توسط وسیله اندازه گیری و مقادیر متناظر آن کمیت توسط استاندارد مرجع را مشخص می نماید (تعریف کالیبره کردن در ایزو ۱۰۰۱۲).

قابل ذکر است که معمولاً کالیبراسیون اولیه دستگاه آزمون و اندازه گیری در مرحله ساخت و تولید آن انجام گرفته که می تواند شامل مراحل درجه بندی دستگاه، تنظیم مدارات الکتریکی موجود روی وسیله (مانند تنظیم نشان دهنده های دیجیتالی)، تخمین عدم قطعیت و پایداری دستگاه باشد. پس از این مراحل، وسیله اندازه گیری با توجه به طول عمر آن مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین کالیبراسیون مجدد جهت اطمینان از عملکرد صحیح دستگاه ها و کنترل کیفیت اجزای آنها مورد نیاز است. بنابراین با کالیبراسیون مجدد می توان عوامل و اجزایی از دستگاه را که کیفیت خود را از دست داده شناسایی کرد.

۲- علت کالیبراسیون: کالیبراسیون اولیه وسیله اندازه گیری چگونگی کارایی مورد ادعای سازنده را به مشتری نشان می دهد. پارامترهایی که توسط دستگاه اندازه گیری می شود به استاندارد های اندازه گیری قابل ردیابی ارجاع داده شده که اگر چنین نباشد اطمینانی به آنها نمی توان داشت. ضمناً کالیبراسیون مجدد به دلیل کنترل و نگهداری فرآیند های اندازه گیری که با وسیله اندازه گیری انجام می شود، لازم است. معمولاً عدم قطعیت نسبت به زمان و با استفاده های مکرر آن افزایش می یابد. شناسایی رشد تدریجی عدم قطعیت و افزایش آن به راحتی توسط کاربران امکان پذیر نیست. آنچه که در اندازه گیری بسیار ضروری بوده قابلیت ردیابی است. برقراری قابلیت ردیابی که با کالیبراسیون امکان پذیر شده در کنترل سیستم اندازه گیری و تجارت بین المللی ضروری می باشد. قابلیت ردیابی

عبارت است از : " قابلیت ارتباط مقدار یک استاندارد یا نتیجه یک اندازه‌گیری با مرجع های ملی و بین المللی از طریق زنجیره پیوسته مقایسه‌ها که همگی عدم قطعیتی معین داشته و به صورت ملی یا بین المللی تعیین می شوند." از ملزومات هر تحقیقاتی، طراحی فعالیت های تولیدی، آزمونهای نهایی، کالیبراسیون تولیدات و تجهیزات قبل از تحویل می‌باشد. همچنین کالیبراسیون قابل ردیابی، حصول اطمینان از عدم قطعیت اندازه‌گیری در یک بخش از فرآیند را که بر بخش‌های دیگر فرآیند تأثیرگذار بوده امکان‌پذیر می‌سازد. اعتبار اندازه‌گیری های مربوط به تحقیقات به درستی برآورد پدیده‌های تحت مطالعه و عدم قطعیت های بدست آمده بستگی دارد. کالیبراسیون وسیله‌هایی که در تحقیقات مورد استفاده قرار می گیرند، عدم قطعیت و کنترل رشد عدم قطعیت را مشخص می نماید و به محقق کمک می‌کند که به نتایج حاصل از تحقیقات خود اطمینان داشته باشد که این نتایج ناشی از تغییرات واقعی پدیده ها بوده و ناشی از عدم درستی در تخمین عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری نمی‌باشد.

۳- زمان کالیبراسیون: تعیین زمان کالیبراسیون یکی از تصمیمات مهم و قابل توجه بوده که البته به نظر برخی منجر به اتلاف وقت و پول می‌گردد. عدم قطعیت‌های اندازه‌گیری سبب اتخاذ تصمیمات نادرستی می شود که این تصمیمات ، ناشی از نتایج اندازه گیری فریبنده می‌باشد. هدف، انجام کالیبراسیون مجدد در فواصل زمانی بهینه است به طوری که بین هزینه کالیبراسیون و هزینه های ناشی از عدم کالیبراسیون تعادل ایجاد شود. در حال حاضر برای تعیین فواصل کالیبراسیون مجدد، بیشتر به درصد درستی مورد انتظار وسیله های اندازه‌گیری توجه می شود که این درصد را می توان از مشخصات آن به دست آورد. بزرگی این درصد نشانگر کم بودن شانس بروز اندازه‌گیری نادرست به وسیله دستگاه اندازه‌گیری است. برخی از کاربران این درصد را به منظور اطمینان بیشتر از کنترل کیفیت اندازه گیری، ۹۵٪ و یا بالاتر انتخاب می کنند که آن هم بستگی به سیاست و خط مشی کلی کیفیت در شرکت مربوطه دارد. بنابراین انتخاب این درصد قراردادی بوده و راحت‌ترین انتخاب قابل

قبول ۸۵٪ تا ۹۰٪ است. فرایند تعیین زمان کالیبراسیون از محاسبات مشکل ریاضی و آماری است و نیازمند داده های درست و کافی در حین کالیبراسیون است.

۴- مکان کالیبراسیون : کالیبراسیون در آزمایشگاه های مرجع انجام می پذیرد. همچنین

کالیبراسیون می تواند در مکانی که وسیله اندازه گیری مورد استفاده قرار می گیرد نیز انجام شود. این عمل از مزایای زیر برخوردار است:

- ☞ تنش های ناشی از جابجایی وسیله به حداقل می رسد.
- ☞ کالیبراسیون ساده تر و ارزان تر تمام می شود زیرا کالیبراسیون فقط در نقاط مورد نظر کاربران انجام می شود.
- ☞ کاربران می توانند از حفاظت دستگاههای خود مطمئن باشند.
- ☞ کالیبراسیون در کوتاه ترین زمان خود انجام می گیرد و در عملکرد دستگاه انقطاعی پیش نمی آید.

از معایب این عمل می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ممکن است تغییرات شرایط محیطی روی دستگاههای مرجع تاثیر گذار باشد.
- ممکن است ابعاد دستگاههای مرجع مشکل ایجاد کند.
- کالیبراسیون در محل هزینه های اضافی در بردارد.

۵- چگونگی کالیبراسیون: کیفیت و هزینه کالیبراسیون به روش کالیبراسیون و تعداد نقاط مورد

بررسی بستگی دارد. هزینه کالیبراسیون از عوامل مهم و تعیین کننده در انجام آن می باشد. در روشهای مختلف کالیبراسیون، هزینه ها متغیر بوده بنابر این لازم است توضیحات بیشتری درباره انواع روشهای کالیبراسیون ارائه شود. سیستمهای کالیبراسیون را می توان به چهار گروه زیر تقسیم کرد:

۱-۵- کالیبراسیون جهت بازرسی و تصحیح: باتوجه به نتایج حاصل از بازرسی، تصحیح

اعمال می شود. تا وقتی که خطا در حدود قابل قبول سیستم اندازه گیری باشد نیازی به تصحیح نبوده

و از وسیله اندازه‌گیری می‌توان استفاده کرد. اما اگر خطای مقادیر مورد اندازه‌گیری از حدود قابل قبول بیشتر باشد اعمال تصمیمات مناسب ضروری است.

۲-۵- کالیبراسیون فقط به منظور بازرسی: اگر خطای مقادیر مورد اندازه‌گیری که از اعمال

بازرسی حاصل شده در حدود تعریف شده باشد از دستگاه اندازه‌گیری می‌توان استفاده کرد. از آنجایی که تصحیح و یا تعمیر دستگاه اندازه‌گیری گران بوده لذا بر اساس بازرسی‌های دوره‌ای تا زمانی که خطای وسیله اندازه‌گیری در حدود تعریف شده بوده می‌توان از ابزار استفاده نمود. چنانچه خطاها از حدود تعریف شده تجاوز کنند باید وسیله اندازه‌گیری را کنار گذاشته و یا تقلیل رده و کلاس داد.

۳-۵- کالیبراسیون فقط به منظور تصحیح: در این روش بازرسی انجام نمی‌شود اما

تصمیمات لازم جهت رسیدن به مفهومی معادل کالیبراسیون جدید و استفاده از وسیله اندازه‌گیری انجام می‌شود. به عنوان مثال تصحیح نقطه صفر وسیله اندازه‌گیری که به صورت دوره‌ای انجام می‌پذیرد استفاده مجدد از آن را امکان‌پذیر می‌نماید. چنانچه نقطه صفر تغییر کرده باشد با تصحیح مجدد می‌توان وسیله اندازه‌گیری را تنظیم نمود.

۴-۵- عدم کالیبراسیون: در این روش بدون انجام بازرسی و تصمیمات لازم از دستگاه

اندازه‌گیری استفاده می‌شود. در این حالت به دلیل آنکه مقدار بعضی از خطاهای مشخص دستگاه از حدود کنترل تعریف شده برای وسیله اندازه‌گیری در فرایند تولید کوچکترند، بدون انجام کالیبراسیون دوره‌ای از وسیله اندازه‌گیری استفاده می‌شود.

۶- وضعیت کالیبراسیون: پس از انجام کالیبراسیون باید وضعیت کالیبراسیون ابزار تعیین

گردد. این بدین معنی است که به طریقی ابزارهایی که کالیبره شده‌اند را مشخص کنیم. برای این منظور معمولاً از یک برچسب کالیبراسیون استفاده می‌شود. توصیه می‌شود که این برچسب با برچسبی که برای شناسایی ابزار استفاده می‌گردد متفاوت باشد. مواردی که باید در وضعیت کالیبراسیون مشخص شوند عبارتند از:

- ▲ کالیبره بودن ابزار
- ▲ دقت و صحت واقعی ابزار
- ▲ تاریخ انجام کالیبراسیون بعدی
- ▲ محدودیت‌های کاربرد و استفاده از ابزار

۷- نگهداری سوابق کالیبراسیون : بعد از انجام کالیبراسیون، سوابق کالیبراسیون باید

نگهداری شود. دلایل نگهداری این سوابق عبارتند از:

- امکان بررسی وضعیت و تغییرات ابزار در طول زمان جهت تعیین توالی انجام کالیبراسیون و نحوه بکارگیری ابزار.
 - اثبات ادعای کالیبره بودن ابزار .
- ضمناً سوابق کالیبراسیون باید موارد زیر را شامل شود :
- * اطلاعات شناسایی دقیق ابزار مورد نظر (نوع، نام، شماره سریال و ...).
 - * نام مسئول و محل نگهداری.
 - * تاریخی که کالیبراسیون انجام شده است.
 - * نتیجه کالیبراسیون در قالب مقادیر خوانده شده، قبل و پس از تنظیم برای هر یک از پارامترهای مورد کالیبراسیون (این مورد برای بررسی وضعیت و روند تغییرات ابزار ضروری است) .
 - * تاریخ کالیبراسیون بعدی.
 - * حدود خطای قابل قبول.
 - * شماره سریال استانداردهایی که برای کالیبره کردن ابزار به کار رفته‌اند.
 - * شرایط محیطی در حین کالیبراسیون.
 - * بیان مقدار خطای احتمالی (در قالب دقت و صحت).
 - * جزئیات تمامی تنظیمات، خدمات، تعمیرات و تغییراتی که انجام شده است.

* نام شخصی که عمل کالیبراسیون را انجام داده است.

* جزئیات هر گونه محدودیت استفاده

۸- وظایف مسئول کالیبراسیون : بعضی از مهم‌ترین وظایف مسئول کالیبراسیون ابزار اندازه‌گیری

عبارتند از :

- ✦ شناسایی اصول استقرار نظام کالیبراسیون در سیستم تضمین کیفیت .
- ✦ آشنایی با گواهینامه و گزارش‌های سیستم کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با برچسب‌های سیستم کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با دوره‌های زمانی کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با انبارش وسایل اندازه‌گیری و جابجایی آنها.
- ✦ آشنایی با قابلیت ردیابی وسایل اندازه‌گیری
- ✦ آشنایی با شرایط محیط کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با استانداردهای نظام تضمین کیفیت وسایل اندازه‌گیری.
- ✦ آشنایی با خطاهای تجهیزات اندازه‌گیری.
- ✦ تقسیم بندی خطا و شیوه‌های کاهش اثرات آنها در اندازه‌گیری.
- ✦ ریشه‌یابی، ارزیابی و گزارش خطاهای اندازه‌گیری شده.
- ✦ آشنایی و درک مفهوم عدم قطعیت در اندازه‌گیری.
- ✦ عوامل موثر در نتایج آزمون و محاسبه عدم قطعیت.
- ✦ آشنایی با مفاهیم آماری به عنوان مکمل اندازه‌گیری و کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با شیوه‌های اجرایی کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با ابزار و وسایل مورد نیاز در سیستم کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با نمودارهای کالیبراسیون و اصول ترسیم آنها.
- ✦ شناسایی نظام تضمین کیفیت در کالیبراسیون.

- ✦ آشنایی با عوامل مؤثر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی محیط کار.
- ✦ شناسایی اصول شناخت عوامل مؤثر کار.
- ✦ آشنایی با مفهوم کالیبراسیون و اهمیت آن.
- ✦ آشنایی با تاریخچه کالیبراسیون در ایران و جهان.
- ✦ آشنایی با تعاریف و اصطلاحات کالیبراسیون.
- ✦ آشنایی با مشخصات تجهیزات کالیبراسیون.
- ✦ توانایی تشخیص مفاهیم کاربردی کالیبراسیون.
- ✦ توانایی نقشه‌کشی و نقشه‌خوانی صنعتی.
- ✦ توانایی کالیبره کردن وسایل اندازه‌گیری ابعاد، جرم، حجم، دما و فشار.

ضمیمه د- ارزیابی استقرار استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵ در آزمایشگاهها

مقدمه : استانداردهای سری ۹۰۰۰ یا ISO Guide ۲۵ به تنهایی پاسخگوی کلیه نیازهای آزمایشگاهها نبوده و تلفیق این دو نیز با هم ابهامات بسیاری ایجاد می‌نماید. بنابراین سازمان جهانی استاندارد تصمیم به تدوین استاندارد ویژه آزمایشگاهها با نگاه ISO/DIS مدیریت کیفیت نمود و در سال ۱۹۹۸ نسخه پیش نویس این استاندارد با شماره ۱۷۰۲۵ منتشر گردید:

General Requirements for Competence of Testing and Calibration Laboratories

در ایران ۱۷۰۲۵ توسط موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی (ISIRI) در مهر ماه ۱۳۸۱ به عنوان استاندارد ملی منتشر گردید. هم اینک مدیران آزمایشگاههای آزمون و کالیبراسیون همکار این مرکز و بسیاری از آزمایشگاههای صنعتی در صدد استقرار این سیستم بوده و یا در مواردی موفق به استقرار آن گردیده‌اند. در صورتی که آزمایشگاهها الزامات استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵ را برآورده نموده و توسط مراجعی که دارای موافقتنامه شناسایی متقابل با مراجع هم تراز خود در سایر کشورهای استفاده کننده از این استاندارد بوده تأیید صلاحیت شوند پذیرش نتایج آزمون و کالیبراسیون کشورها آسان خواهد شد. بکارگیری این استاندارد، همکاری بین آزمایشگاهها و سایر سازمانها را تسهیل و به تبادل اطلاعات، تجارب و نیز هماهنگ کردن استانداردها و روشهای اجرایی کمک می‌کند. مسئولیت هر آزمایشگاه این است که فعالیتهای آزمایش و کالیبراسیون خود را به نحوی انجام دهند که الزامات این استاندارد رعایت شود و خواستههای مشتریان، مراجع قانونی یا سازمانهایی که آزمایشگاهها را به رسمیت شناخته نیز برآورده گردد.

۱- اهداف استقرار سیستمهای کیفیت در آزمایشگاههای ایران: مهم‌ترین اهداف استقرار

سیستمهای کیفیت در آزمایشگاههای ایران عبارتند از :

✓ افزایش کیفیت نتایج به نحوی که رضایت بیشتر دریافت کننده خدمات را به دنبال داشته

و نهایتاً منجر به افزایش اعتبار، قدرت رقابت، فروش و سود اقتصادی بیشتر گردد.

✓ توانایی پاسخگویی سازمان در قبال مراجع قانونی در ابعاد نظارتی و شکایات دریافت کنندگان

خدمات از طریق ایجاد سیستم تضمین کیفیت.

✓ برآورده کردن الزام قانونی مانند زمانی که اجرای یک سیستم یا استقرار الزامات یک استاندارد اجباری باشد.

۲- **اهم وظایف ارگان های نظارتی از دیدگاه استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵:** این وظایف عبارتند از :

- ☞ مبنا قراردادن استاندارد ملی یا بین المللی معتبر برای ارزیابی و اعتباردهی آزمایشگاهها.
- ☞ تأیید آزمایشگاههای ارائه دهنده برنامه های کنترل کیفی خارجی.
- ☞ نظارت بر شرکت فعال آزمایشگاهها در برنامه های کنترل کیفی خارجی.
- ☞ امکان برقراری زنجیره ردیابی اندازه گیری از پایین ترین سطوح تا مراکز معتبر بین المللی از طریق میسرکردن کالیبراسیون صحیح برای تمامی اندازه گیری ها و تأمین مواد مرجع و استاندارد.

☞ هماهنگی با آزمایشگاهها و مراکز مرجع.

☞ فراهم کردن زمینه برای استانداردسازی در سطوح ملی و شرکت فعال در تکامل و تدوین استانداردهای بین المللی.

۳- **الزامات استاندارد ۱۷۰۲۵:** این الزامات به دو بخش الزامات مدیریتی و فنی تقسیم می شوند.

۱-۳- **الزامات بخش مدیریتی:** این الزامات عبارتند از :

- ✓ سازماندهی و نحوه آن.
- ✓ سیستم کیفیت مدیریت.
- ✓ کنترل مدارک.
- ✓ بازنگری درخواستها، پیشنهادهای و قراردادها.
- ✓ واگذاری آزمون و کالیبراسیون به پیمانکاران فرعی.
- ✓ خرید خدمات و ملزومات.
- ✓ ارائه خدمات به مشتریان.
- ✓ اقدامات پیشگیرانه.

✓ کنترل سوابق.

✓ ممیزی های داخلی.

✓ بازنگری های مدیریتی.

✓ شکایات.

۲-۳- الزامات بخش فنی : این الزامات عبارتند از :

- کارکنان.
- جایگاه و شرایط محیطی کار.
- روشهای آزمون و کالیبراسیون و صحت گذاری بر روشها.
- تجهیزات و امکانات.
- نمونه برداری.
- جابجایی اقلام مورد آزمون و کالیبراسیون.
- تضمین کیفیت نتایج آزمون و کالیبراسیون.
- گزارش دهی نتایج.

۴- مزایای اخذ استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵ : این مزایا شامل موارد زیر هستند :

- ✦ ارتقاء سطح آزمایشگاههای عضو و کسب اعتبار بین المللی.
- ✦ افزایش اطمینان از صحت نتایج ارائه شده توسط آزمایشگاهها.
- ✦ کسب اطمینان از کالیبره شدن مستمر تجهیزات آزمایشگاهها.
- ✦ تسهیل همکاری میان آزمایشگاهها و سایر سازمانها.
- ✦ استاندارد کردن روشهای اجرایی و مدیریتی آزمایشگاهها.
- ✦ ارتقاء سطح مشتری مداری آزمایشگاهها.
- ✦ امکان پذیرش آزمایشگاهها به عنوان آزمایشگاه مرجع از طرف مؤسسه استاندارد.
- ✦ امکان ارائه خدمات در سطح بین المللی.

✦ انطباق استانداردهای ایزو ۹۰۰۱ و ۹۰۰۲ با مقدمات این استاندارد.

✦ ارتقاء سطح آزمایشگاه‌های عضو و کسب اعتبار بین‌المللی.

۵- مشکلات اخذ استاندارد ایزو ۱۷۰۲۵: استقرار سیستم‌های مدیریت کیفیت و استانداردهای

مربوطه در آزمایشگاه‌های امروز یک نیاز جهانی محسوب شده لذا کشور ما نمی‌تواند خود را مستثنی کند و باید در این جهت گام‌های اساسی بردارد. اما در این مسیر، موانع جدی و ساختاری وجود داشته که برخی از آنها به ساختار آزمایشگاه‌ها و تعریف آنها مربوط بوده و برخی دیگر به ارگان‌های مرتبط با آزمایشگاه‌ها از جمله ارگان‌های نظارتی و مرجع مربوط می‌شود.

۶- اندازه‌گیری و برخی چالش‌های مربوطه: در این زمینه مواردی نظیر ردیابی اندازه‌گیری،

صحة گذاری روشها و نتایج آزمون و عدم قطعیت اندازه‌گیری مطرح می‌شوند.

۱-۶- ردیابی اندازه‌گیری: بحث قابلیت ردیابی اندازه‌گیری استانداردهای مرجع در آزمایشگاه‌های

کالیبراسیون یکی از معضلات اساسی این آزمایشگاه‌ها بوده و عملاً امکان تامین این الزام فنی استاندارد را بسیار مشکل نموده است. بنابراین در اغلب موارد امکان برقراری زنجیره ردیابی اندازه‌گیری در آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون به منظور دستیابی به بالاترین رده اندازه‌شناسی وجود ندارد.

۲-۶- صحة گذاری روشها و نتایج آزمون: در اغلب موارد روش‌های استاندارد در آزمایشگاه‌ها

که از طرف ISIRI تدوین گردیده از کارایی لازم برخوردار نیستند. بنابراین این روشها توسط پرسنل آزمایشگاه‌ها مورد بسط و اصلاح قرار می‌گیرند. در مواردی نیز ملاحظه می‌گردد که روشهای آزمون از طرف آزمایشگاه‌ها ابداع گردیده و حتی از مجلات یا کتب علمی استخراج و به راحتی جایگزین روشهای آزمون قبلی می‌شوند. از طرفی دیگر روشهای استاندارد متنوعی وجود دارند که در خارج از دامنه کاربرد مورد نظر آنها بکار گرفته می‌شوند. صحة گذاری روش‌ها یکی از الزامات فنی حائز اهمیت در استانداردهای آزمایشگاه‌ها بوده که اغلب نادیده گرفته شده و به طور عمده می‌توان آن را ناشی از عدم آگاهی از مفاهیم و تکنیک‌های مورد استفاده در جهت صحة گذاری روشها و عدم نظارت بر اجرای آن توسط مراکز نظارتی دانست.

۳-۶ - عدم قطعیت اندازه گیری : مفهوم عدم قطعیت اندازه گیری و نحوه محاسبه آن هنوز

آنچنان که باید در سطح آزمایشگاهها و شاید در مراکز علمی و دانشگاهی هم ناشناخته است تا جایی که برخی از منابع در کشور از آن به عنوان خطا یا رواداری (تلرانس) یاد می کنند. لذا عدم آگاهی و یا آموزش غیر مؤثر این مبحث منجر به عدم شناسایی مؤلفه های آن گردیده و در نهایت امکان مقایسه نتایج آزمایشگاهی در جهت شناسایی منابع عدم قطعیت آزمون و انجام اقدامات اصلاحی لازم در جهت برطرف نمودن آنها میسر نخواهد شد. در حال حاضر تخمین عدم قطعیت اندازه گیری در ایران حتی در آزمایشگاههای کالیبراسیون نیز مرسوم نبوده و اکثر گواهی های کالیبراسیون فاقد آن می باشند. قابل ذکر است که تاکید ایزو ۱۷۰۲۵ بر این است که آزمایشگاههای آزمون و کالیبراسیون عدم قطعیت در اندازه گیریها را برآورد نمایند.

ضمیمه ح - تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری آزمون مشخصه‌های فیزیکی

سیمان خاکستری نوع ۲

چکیده: در این تحقیق با استفاده از فنون آماری و براساس دستورالعمل‌های موسسه استاندارد و سیستم مدیریت یکپارچه (IMS) در جهت تعیین مولفه‌های مؤثر بر عدم قطعیت آزمونها، برآورد عدم قطعیت اندازه‌گیری آزمون مشخصه‌های فیزیکی سیمان شامل: مقاومت فشاری، بلین، گیرش و اتوکلاو ارائه خواهد شد.

۱- مقدمه: در اندازه‌گیری خواص فیزیکی و شیمیایی یک ماده همواره اعداد یکسان بدست نیامده و اندازه‌گیری کاملاً تکرارپذیر نیست زیرا در معرض مقادیر متفاوتی از عدم قطعیت قرار می‌گیرد. عدم قطعیت اندازه‌گیری اطلاعاتی راجع به کیفیت کمیت مورد اندازه‌گیری بیان می‌کند. درحقیقت، عدم قطعیت شک و گمانی است که درباره نتیجه هر اندازه‌گیری پدید می‌آید. ممکن است تصور کنید ساعت، خط کش یا ترمومتری کاملاً قابل اعتماد بوده و نتیجه درستی از اندازه‌گیری ارائه می‌دهند ولی همیشه در بسیاری از اندازه‌گیریها حتی دقیق ترین آنها جای شک و تردید وجود دارد. در زبان محاوره‌ای این تردید به صورت عبارت کم و زیاد بیان می‌شود. مثلاً می‌گوییم این عصا تقریباً ۲ متر است با ۱ سانتی متر کم و زیاد و می‌نویسیم: $2 \text{ m} \pm 0.1 \text{ m}$.

۲- عدم قطعیت آزمون مقاومت فشاری: مولفه‌های تاثیر گذار بر مقاومت فشاری ملات خمیری

سیمان عبارتند از:

۱-۲- مؤلفه توزین نمونه سیمان (u_{mc}): طبق گواهینامه کالیبراسیون ترازوی مرتبط و درونیایی

خطی برای نمونه $m_1=450\text{g}$ ، عدم قطعیت کالیبراسیون ترازو برابر است با: $U=66.25 \text{ m.gr}$ لذا

$$u_{mc} = \frac{U}{2} = 0.033125 \text{ gr}$$

عدم قطعیت مولفه مربوطه برابر خواهد شد با:

۱- ارائه شده در ۲۲ امین سمینار کنترل کیفیت سیمان و سیمانهای آمیخته هیدرولیکی، ۱۳ و ۱۴ اسفند ۱۳۸۶، سیمان هرمزگان.

۲-۲- مؤلفه توزین آب اختلاط (u_{mw}): طبق گواهینامه کالیبراسیون ترازوی مرتبط و درونیایی

خطی برای نمونه $m_2=225g$ ، عدم قطعیت کالیبراسیون ترازو برابر است با: $U=49.375 m.gr$ لذا عدم قطعیت مؤلفه مربوطه برابر خواهد شد با:

$$u_{mw} = \frac{U}{2} = 2.47 \times 10^{-2} \text{ gr}$$

۲-۳- مؤلفه عدم قطعیت مربوط به دمای حوضچه عمل آوری ملات (u_{tcu}): طبق

استاندارد ملی شماره ۳۹۲ برای آماده کردن ملات باید سیمان، ماسه، آب، سالن کار و لوازم در حرارت $20 \pm 1^\circ C$ (تولانس دما $\pm 1^\circ C$) قرار گیرند. بنابراین عدم قطعیت متناظر برابر است با: ($t=20^\circ C$)

$$U_{tcu} = \frac{\text{Tolerance Limit}}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.578^\circ C$$

۲-۴- مؤلفه عدم قطعیت مربوط به جرم ماسه استاندارد (u_{ma}): با استفاده از اطلاعات

مربوط به بسته بندی ماسه استاندارد Cen-Norm Sand با وزن $5 \pm 350 gr$ (تولانس $\pm 5gr$)، عدم قطعیت مربوطه برابر است با: ($m_3=1350 gr$)

$$u_{ma} = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.887 \text{ gr}$$

۲-۵- مؤلفه عدم قطعیت کالیبراسیون دستگاه مقاومت فشاری (u_p): طبق گواهینامه

کالیبراسیون دستگاه مقاومت- خمش و با در نظر گرفتن فاکتور همپوشانی ۲ برای توزیع نرمال با سطح اطمینان تقریبی ۹۵ درصد، عدم قطعیت بسط یافته ± 2 درصد مقدار خوانده شده است. با توجه به اینکه مقدار میانگین مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه بر اساس نمونه های مختلف انتخابی در مرداد ماه ۱۳۸۵ به ترتیب برابرند با: ۱۸۲/۷۲، ۲۶۴/۴۵۸، ۴۰۴/۸۴ لذا داریم:

$$U_{E28}=8.097 \text{ kg/cm}^2, \quad U_{E7}=5.289 \text{ kg/cm}^2, \quad U_{E3}=3.6544 \text{ kg/cm}^2$$

بنابراین عدم قطعیت استاندارد مربوطه برای مقاومت های فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه به ترتیب برابرند با:

$$u_{p3} = \frac{U_{E3}}{2} = 1.83 \text{ kg / cm}^2$$

$$u_{p7} = \frac{U_{E7}}{2} = 2.64 \text{ kg / cm}^2$$

$$u_{p28} = \frac{U_{E28}}{2} = 4.05 \text{ kg / cm}^2$$

در جایی که داریم: $p_{28}=315 \text{ kg/cm}^2$, $p_7=175 \text{ kg/cm}^2$, $p_3=100 \text{ kg/cm}^2$

۶-۲- عدم قطعیت ترکیبی و گسترده: با توجه به مولفه های بالا و فرمولهای زیر، عدم قطعیت

ترکیبی و گسترده (در سطح اطمینان ۰.۹۵) برابرند با:

$$\frac{u_{Ci}}{pi} = \sqrt{\left(\frac{u_{mc}}{m_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{mw}}{m_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{ma}}{m_3}\right)^2 + \left(\frac{u_{tcu}}{t}\right)^2 + \left(\frac{u_{pi}}{pi}\right)^2}, U_{Ei} = 2u_{ci}$$

در جایی که i متناظر با مقاومت فشاری ۳، ۷ و ۲۸ روزه برابر است با: $i=28, i=7, i=3$

$$u_{C3} = 3.42 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow u_{E3} = \pm 6.85 \text{ kg / cm}^2$$

$$u_{C7} = 5.71 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow u_{E7} = \pm 11.43 \text{ kg / cm}^2$$

$$u_{C28} = 9.98 \text{ kg / cm}^2 \Rightarrow u_{E28} = \pm 19.95 \text{ kg / cm}^2$$

۳- عدم قطعیت آزمون بلین: مؤلفه های مؤثر بر نتایج آزمون نرمی سیمان به شرح ذیل می باشد:

۱-۳- مؤلفه تکرار (u_{1A}): طبق اندازه گیری بلین نمونه سیمان مورد نظر به تعداد ۶ دفعه

($n=6$) همچنین بر اساس روش آزمون مربوطه، جدول داده های زیر بدست می آید:

جدول ۱-۳- مقدار بلین نمونه سیمان

بلین	۲۸۷۰	۲۸۷۰	۲۸۷۰	۲۸۷۰	۲۸۷۰	۲۹۰۰
------	------	------	------	------	------	------

طبق جدول ۱-۳، میانگین و انحراف معیار بلین برابر است با:

$$\bar{X} = 2875 \text{ cm}^2 / g, S = 12.247 \text{ cm}^2 / g$$

همچنین با استفاده از جدول توزیع T با 5 درجه آزادی (df = n - 1 = 5) و $\alpha=0.025$ خواهیم داشت:

$$t_{0.025}(5) = 2.571. \text{ بنابراین عدم قطعیت مربوطه برابر است با:}$$

$$u_{1A} = \pm t_{\frac{\alpha}{2}}(n-1) \frac{S}{\sqrt{n}} = 12.853 \text{ cm}^2 / g$$

همچنین براساس میانگین بلین نمونه ۶ تایی قرار می‌دهیم: $b_1=2875 \text{ cm}^2/g$

۲-۳- مؤلفه کالیبراسیون دستگاه بلین (u_{1B}): با توجه به اینکه عدم قطعیت گسترده

دستگاه بلین در گواهینامه کالیبراسیون برابر $U_E = 98.48 \text{ cm}^2/g$ می‌باشد بنابراین عدم قطعیت

اندازه گیری مولفه مربوطه برابر است با: $u_{1B} = \frac{U_E}{2} = 49.24 \text{ cm}^2 / g$. همچنین خواهیم

داشت: $b_2=3818 \text{ cm}^2/g$.

۳-۳- مؤلفه مربوط به دانسیته سیمان (u_{2B}): با توجه به محاسبات تخمین عدم قطعیت

اندازه‌گیری دانسیته سیمان داریم: $U_P = 0.02 \text{ gr/cm}^3$ لذا عدم قطعیت مولفه مربوطه برابر است با:

$$u_{2B} = \frac{U_P}{2} = 0.01 \text{ g/cm}^3 \text{ همچنین بر اساس دانسیته سیمان داریم: } d = 3.15 \text{ gr/cm}^3$$

۴-۳- مؤلفه توزین نمونه مجهول (u_{3B}): با توجه به گواهی کالیبراسیون ترازو و درونیایی

خطی برای نمونه: $m=2.57 \text{ g} = 2570 \text{ mg}$ ، عدم قطعیت مندرج در گواهینامه برابر است با:

$$u_{3B} = \frac{U_m}{2} = 5 \text{ mg} \text{ بنابراین عدم قطعیت مولفه مورد نظر برابر است با: } U_m = 10 \text{ mg}$$

۵-۳- مؤلفه مربوط به نمونه برداری سیمان مورد نظر (u_{2A}): بر اساس انتخاب ۱۹ نمونه

مختلف سیمان و اندازه‌گیری بلین آنها داده‌های جدول زیر بدست می‌آید:

جدول ۲-۳- مقدار بلین ۱۹ نمونه مختلف سیمان

۲۸۵۲	۲۸۵۲	۲۸۵۲	۲۹۱۳	۲۸۵۲	۲۹۱۳	۲۸۵۲
۲۸۵۲	۲۸۵۲	۲۹۱۳	۲۹۷۳	۲۸۵۲	۲۸۵۲	۲۹۱۳
۲۹۱۳	۲۸۵۲	۲۹۱۳	۲۹۷۳	۲۹۳۴		

طبق جدول ، میانگین و انحراف معیار بلین برابر است با :

$$\bar{X} = 2888.32 \text{ cm}^2 / \text{g} , S = 42.995 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

بنابراین عدم قطعیت مولفه تکرارپذیری برابر است با : $u_{2A} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 9.86 \text{ cm}^2 / \text{g}$ همچنین طبق

میانگین ۱۹ نمونه مختلف سیمان قرار می‌دهیم : $b_3 = 2888.32 \text{ cm}^2 / \text{g}$

۳-۶- مؤلفه مربوط به اندازه‌گیری زمان (u_{4B}) : طبق مقدار عدم قطعیت در گواهینامه

کالیبراسیون کرنومتر ($U = 0.1 \text{ sec}$)، عدم قطعیت مؤلفه برابر است با : $u_{4B} = \frac{U}{2} = 0.05 \text{ sec}$

قابل ذکر است که : $t = 39 \text{ sec}$.

۳-۷- عدم قطعیت مرکب و گسترده : بر اساس محاسبات انجام شده و استاندارد بلین سیمان

تیپ ۲ : $b = 2800 \text{ cm}^2 / \text{g}$ ، عدم قطعیت ترکیبی همچنین عدم قطعیت گسترده آزمون بلین سیمان

(در سطح اطمینان ۹۵ درصد) برابر است با :

$$\frac{u_c}{b} = \sqrt{\left(\frac{u_{1B}}{b_2}\right)^2 + \left(\frac{u_{2B}}{d}\right)^2 + \left(\frac{u_{3B}}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_{1A}}{b_1}\right)^2 + \left(\frac{u_{2A}}{b_3}\right)^2 + \left(\frac{u_{4B}}{t}\right)^2}$$

$$\Rightarrow u_c = 40.9160 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

$$\Rightarrow U_E = 2 u_c = 81.83 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

۴- تخمین عدم قطعیت انبساط اتوکلاو: منابع مؤثر بر اندازه‌گیری انبساط طولی خمیر سیمان

عبارتند از:

۴-۱- مؤلفه توزین نمونه: با توجه به نمونه ۷۰۰ گرمی ($m=700\text{ g}$) و براساس گواهینامه

کالیبراسیون تراوزی مربوطه و درونیایی خطی برای $m = 700\text{ g} = 700000\text{ mg}$ ، عدم قطعیت

ترازو برابر است با: $U_m = 82\text{ mg}$ لذا عدم قطعیت مولفه توزین نمونه سیمان برابر است با:

$$u_m = \frac{1}{2}U_m = 41\text{ mg}$$

۴-۲- مؤلفه مربوط به دمای دستگاه اتوکلاو: طبق گواهی کالیبراسیون دستگاه اتوکلاو، عدم

قطعیت دماسنج برابر است با: $U_t = 0.05^\circ\text{C}$ لذا عدم قطعیت استاندارد مربوط به دمای دستگاه

اتوکلاو برابر است با: $u_t = \frac{1}{2}U_t = 0.025^\circ\text{C}$ همچنین قرار می‌دهیم: $t = 216^\circ\text{C}$.

۴-۳- مؤلفه مربوط به فشار مخزن دستگاه اتوکلاو: طبق گواهی کالیبراسیون دستگاه اتوکلاو

عدم قطعیت فشارسنج برابر است با: $U_p = 0.001\text{ Mpa}$ لذا عدم قطعیت استاندارد مربوط به فشار

دستگاه اتوکلاو برابر است با: $u_p = \frac{1}{2}U_p = 0.0005\text{ Mpa}$ همچنین: $p = 2.1\text{ Mpa}$

۴-۴- مؤلفه تفکیک پذیری فشارسنج (اندیکاتور): با توجه به اینکه تفکیک‌پذیری اندیکاتور

0.02Mpa بوده و طبق توزیع مستطیلی، عدم قطعیت مربوطه برابر است با:

$$u_{p_1} = \frac{0.02}{2\sqrt{3}} = 0.0058\text{ Mpa}$$

۴-۵- مؤلفه تغییرات مجاز دما: با توجه به اینکه تolerانس دمای دستگاه اتوکلاو 1.7°C

می‌باشد لذا عدم قطعیت مولفه مربوطه برابر است با:

$$u_{t_1} = \frac{1.7}{\sqrt{3}} = 0.9815^\circ\text{C}$$

۶-۴- مولفه تکرارپذیری : طبق مقادیر تکراری اندازه‌گیری شده اتوکلاو و بر اساس داده‌های

بدست آمده زیر:

0.065,0.07,0.05,0.05,0.025,0.09,0.056,0.048,0.05,0.055,0.06,0.033,0.041,
0.035,0.088

عدم قطعیت مربوطه برابر است با : $u_A = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.0185}{\sqrt{15}} = 0.0047$ در جایی که s انحراف

استاندارد مقادیر است.

۷-۴- عدم قطعیت مرکب و گسترده : طبق مؤلفه‌های بالا، عدم قطعیت ترکیبی و بسط

یافته (در سطح اطمینان ۹۵٪) برابر است با :

$$u_c = \sqrt{\left(\frac{u_m}{m}\right)^2 + \left(\frac{u_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{u_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{u_{p_1}}{p}\right)^2 + \left(\frac{u_{t_1}}{t}\right)^2} + u_A \Rightarrow u_c = 0.007$$

$$\Rightarrow u_E = 2 \times u_c = 0.014$$

۵- تخمین عدم قطعیت زمان گیرش سیمان: مولفه های مؤثر بر زمان گیرش سیمان عبارتند از:

۱- ۵- مؤلفه توزین نمونه سیمان : با توجه به نمونه ۳۵۰ گرمی سیمان (mc=350 g) و بر

اساس گواهینامه کالیبراسیون ترازوی مربوطه و درونیایی خطی برای: $mc = 350g = 350000 \text{ mg}$

عدم قطعیت ترازو برابر است با : $U_w = 58.75 \text{ mg}$ لذا عدم قطعیت مولفه برابر است با :

$$u_{mc} = \frac{U_w}{2} = 29.375 \text{ mg}$$

۲- ۵- مؤلفه آب اختلاط : طبق گواهینامه کالیبراسیون استوانه مدرج، عدم قطعیت استوانه

برابر است با : $U_b = 20 \times 10^{-6} \text{ L}$ لذا عدم قطعیت مولفه آب اختلاط مساوی خواهد بود با :

$$u_{vw} = \frac{U_b}{2} = 10^{-5} \text{ L} \text{ همچنین داریم : } vw = 84 \times 10^{-3} \text{ L}$$

۳-۵- مؤلفه وزن میله (متعلقات) ۳۰۰ گرمی دستگاه ویکات : عدم قطعیت مندرج در گواهینامه

کالیبراسیون ترازوی مورد استفاده برابر است با : $U_f = 0.05 \text{ g}$. بنابراین عدم قطعیت مؤلفه

$$(mf=300\text{g}) \text{ برابر با : } u_{mf} = \frac{U_f}{2} = 0.025 \text{ g} \text{ خواهد بود.}$$

۴-۵- مؤلفه مربوط به تغییرات مجاز کرانه‌ای آب اختلاط : با توجه به اینکه تترانس آب اختلاط

۵ میلی‌لیتر ($L = 5 \times 10^{-3} \text{ lit}$) بوده و بر اساس توزیع مستطیلی، عدم قطعیت مؤلفه مربوطه برابر

$$\text{است با: } u_{WC} = \frac{L}{\sqrt{3}} = 2.887 \times 10^{-3} \text{ lit} \text{ . همچنین داریم : } u_{WC} = 84 \times 10^{-3} L$$

۵-۵- مؤلفه قطر سوزن : طبق عدم قطعیت گزارش شده در گواهینامه کالیبراسیون دستگاه

ویکات یعنی: $U_D = 0.07 \mu\text{m}$ ، عدم قطعیت مؤلفه قطر سوزن ($D=1.13 \text{ mm}$) برابر است با :

$$u_D = \frac{0.07 \mu\text{m}}{2} = 3.5 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

۶-۵- مؤلفه تکرار پذیری : بر اساس داده های گیرش اولیه و نهایی در جداول ۶-۱، ۶-۲ و فرمول

عدم قطعیت نوع A : $u_A = \frac{s}{\sqrt{n}}$ ، عدم قطعیت مربوط به مؤلفه تکرار پذیری برابر است با :

جدول ۱-۶ داده های گیرش اولیه

135	125	130	140	130	130	135	140	130	140	140	135
130	135	135	135	135	125	130	130	130	135	125	

جدول ۲-۶- داده های گیرش نهایی

215	220	220	210	215	215	210	215	220	220	210
210	210	215	220	220	220	220	210	210	216	

$$u_{1A} = \frac{s_1}{\sqrt{n}} = \frac{4.7257}{\sqrt{23}} = 0.9854$$

$$u_{2A} = \frac{s_2}{\sqrt{n}} = \frac{4.32600}{\sqrt{21}} = 0.9440$$

در جایی که : u_{2A}, u_{1A} به ترتیب عدم قطعیت گیرش اولیه و نهایی هستند. از طرف دیگر داریم:

$$T_{initial} = 45 \text{ min} , T_{final} = 360 \text{ min}$$

۷-۵- عدم قطعیت مرکب و گسترده: طبق مولفه های بالا، عدم قطعیت مرکب و گسترده

زمان گیرش اولیه و نهایی گیرش نمونه سیمان برابر است با:

$$\frac{u_{C-initial}}{T_{initial}} = \sqrt{\left(\frac{u_{mc}}{mc}\right)^2 + \left(\frac{u_{vw}}{vw}\right)^2 + \left(\frac{u_{mf}}{mf}\right)^2 + \left(\frac{u_{wc}}{wc}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_{1A}}{T_{initial}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow u_{C-initial} = 1.83 \text{ min}$$

$$\Rightarrow u_{E-initial} = 2u_{C-initial} = 3.66 \text{ min}$$

$$\frac{u_{C-final}}{T_{final}} = \sqrt{\left(\frac{u_{mc}}{mc}\right)^2 + \left(\frac{u_{vw}}{vw}\right)^2 + \left(\frac{u_{mf}}{mf}\right)^2 + \left(\frac{u_{wc}}{wc}\right)^2 + \left(\frac{u_D}{D}\right)^2 + \left(\frac{u_{1A}}{T_{final}}\right)^2}$$

$$\Rightarrow u_{C-final} = 12.41 \text{ min}$$

$$\Rightarrow u_{E-final} = 2u_{C-final} = 24.82 \text{ min}$$

۶- نتیجه گیری: در این تحقیق، عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مربوط به مشخصه های فیزیکی

سیمان برآورد گردیده است. سعی شده تا کلیه منابع مؤثر در تخمین عدم قطعیت در نظر گرفته شده هرچند که در حالت کلی این امر غیرممکن است. قابل ذکر است که ممکن است این تخمین ها بسته به نوع تجهیزات و خطاهای مؤثر بر آنها، شرایط محیطی آزمایشگاه و سایر منابع خطا دچار تغییرات گردد. این موضوع به ویژه در کارخانه های مختلف کشور حائز اهمیت می باشد. آنچه مهم به نظر می رسد این است که نتایج بدست آمده می تواند مبنایی برای محاسبات در سایر کارخانه ها قلمداد گردد. به منظور جمع بندی مطالب ارائه شده، نتایج نهایی محاسبات مربوط به تخمین عدم قطعیت

اندازه گیری آزمون مشخصه های فیزیکی سیمان، معیار پذیرش محصول نهایی و حدود پایین و بالای مشخصه ها در جدول زیر ارائه شده است (Mean میانگین حسابی است).

جدول حدود پایین و بالای عدم قطعیت اندازه گیری برای مشخصه های فیزیکی سیمان

مشخصه های فیزیکی سیمان	معیار پذیرش محصول نهایی	عدم قطعیت اندازه گیری آزمون در سطح اطمینان ۹۵٪	حد پایین فاصله برای مشخصه	حد بالای فاصله برای مشخصه
بلین (gr^2/cm)	>2800	± 81.83	Mean - 81.83	Mean + 81.83
انبساط اتوکلاو	< 0.8	± 0.014	Mean - 0.014	Mean + 0.014
گیرش اولیه (دقیقه)	> 45	± 3.67	Mean - 3.67	Mean + 3.67
گیرش ثانویه (دقیقه)	< 360	± 24.82	Mean - 24.82	Mean + 24.82
مقاومت ۳ روزه (kg/cm^2)	> 100	± 6.85	Mean - 6.85	Mean + 6.85
مقاومت ۷ روزه (kg/cm^2)	> 175	± 11.43	Mean - 11.43	Mean + 11.43
مقاومت ۲۸ روزه (kg/cm^2)	> 315	± 19.95	Mean - 19.95	Mean + 19.95

۷- فهرست منابع و مأخذ :

- ۱- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ۳۹۲، "تعیین زمان های گیرش اولیه و نهایی سیمان پرتلند"، چاپ نهم، مهر ماه ۱۳۷۵.
- ۲- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ۳۹۳، "روش آزمون مکانیکی سیمانها، تاب فشاری و خمشی ملات خمیری"، چاپ نهم، مهر ماه ۱۳۷۵.
- ۳- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ۳۹۱، "تعیین انبساط سیمان پرتلند"، چاپ پنجم، دی ماه ۱۳۷۳.
- ۴- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره استاندارد ۳۹۰، "تعیین نرمی سیمان"، چاپ پنجم، شهریور ماه ۱۳۷۳.