

# ضرب عدم قطعیت چیست؟

## مقدمه

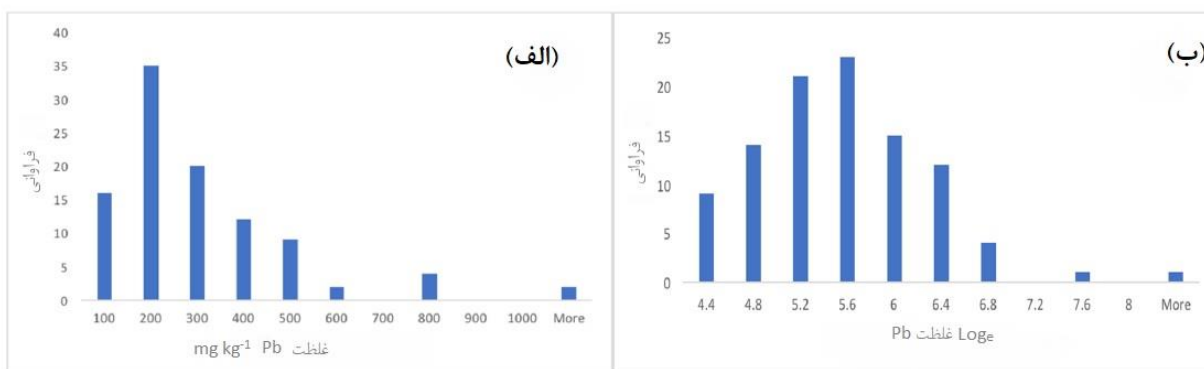
عدم قطعیت یک نتیجه اندازه‌گیری در اغلب موارد به اندازه خود مقدار کمیت اندازه‌گیری شده دارای اهمیت می‌باشد، به این دلیل که منجر به کنترل تصمیماتی می‌شود که می‌توان با آن نتیجه اتخاذ نمود مانند تطابق مقرراتی. تشریح مناسب عدم قطعیت اندازه‌گیری (MU) حیاتی بوده و موقعیت‌هایی وجود دارد که فاصله عدم قطعیت بسط‌یافته سنتی و متقارن کافی نمی‌باشد. هدف این بروشور آموزشی تشریح مفهوم ضرب عدم قطعیت بوده و اینکه چگونه می‌توان از آن استفاده نمود تا در شرایط خاص، فاصله عدم قطعیت مناسب و واقعی فراهم شود.

## روش‌های تشریح عدم قطعیت اندازه‌گیری

امروزه بسیاری از آزمایشگاه‌ها عدم قطعیت اندازه‌گیری را تخمین زده و به صورت معمول آن را یا به صورت عدم قطعیت بسط‌یافته (U) یا عدم قطعیت بسط‌یافته نسبی (U')، معمولاً با ضرب پوششی (k) برابر با دو برای اطمینان تقریبی ۹۵٪ تشریح می‌کنند. سپس نتیجه اندازه‌گیری به صورت  $x \pm U$  (که در آن x مقدار کمیت اندازه‌گیری و  $\pm$  «مثبت-منفی» می‌باشد) تشریح می‌شود. در نتیجه گستره مقادیری که شامل مقدار اندازه‌ده (مقدار واقعی غلظت آنالیت) بوده، بین  $x-U$  و  $x+U$  با اطمینان تقریبی ۹۵٪ می‌باشد. یک مثال برای این می‌تواند نتیجه اندازه‌گیری  $50 \pm 5 \text{ mg kg}^{-1}$  باشد که این اعتقاد وجود دارد که بین 45 تا  $55 \text{ mg kg}^{-1}$  قرار دارد. به صورت کلی این رویکردی است که به خوبی کار می‌کند مگر اینکه مقدار MU بزرگ بوده (به عنوان مثال عدم قطعیت استاندارد نسبی  $u'$  بزرگ‌تر از ۲۰٪ باشد) یا توزیع فراوانی اندازه‌گیری‌های تکراری به جای شکل گوسی (نرمال) معمول دارای چولگی مثبت باشد. در این موقعیت‌ها، ضرب عدم قطعیت بسط‌یافته ( $FU$ ) روش مفیدتری برای تشریح MU بوده و نتیجه اندازه‌گیری به صورت  $k=2 \times x / FU$  که در آن «x» ضرب بر نامیده می‌شود. در مثال قبل، ولی با MU به مراتب بزرگ‌تری که به صورت ضرب عدم قطعیت  $FU=2.0$  تشریح شده است، فاصله عدم قطعیت  $2.0 \times 50$  از 25 (50/2) تا  $100 \text{ mg kg}^{-1}$  (50 x 2) بوده که به صورت واضح یک فاصله اطمینان نامتقارن می‌باشد.

## چگونه ضرب عدم قطعیت محاسبه می‌شود؟ - یک مورد مطالعاتی

یک مثال محاسبه  $FU$  برای تعیین سرب در یک زمین آلوده بوده و شامل MU ناشی از نمونه‌برداری اولیه از خاک سطحی می‌باشد. شرح تفصیلی در جای دیگری [۱] ارائه شده است ولی موضوعات کلیدی عبارتند از اینکه ۱۰۰ هدف نمونه‌برداری در یک توری در سراسر محل مورد نمونه‌برداری قرار گرفته و برای تعیین PB به روش ICP-AES پس از هضم اسیدی برای یک آزمایشگاه باصلاحیت ارسال شده‌اند. MU با استفاده از «روش دوتایی» [۱] (صفحه ۱۷-۱۹) تخمین زده شده که در آن نمونه‌های دوتایی از ۱۰ هدف که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، برداشته شده و هر کدام دو بار مورد آزمون قرار گرفته‌اند که منجر به ۴۰ نتیجه اندازه‌گیری شده است.



شکل ۱. هیستوگرام‌های غلظت سرب (به صورت کسر جرمی بر حسب  $\text{mg kg}^{-1}$ ) اندازه‌گیری شده در ۱۰۰ نمونه خاک

نمایش داده شده (الف) مقیاس خطی اصلی (ب) بعد از اعمال لگاریتم طبیعی

در این مورد، MU فقط به صورت انحراف استاندارد تکرارپذیری محاسبه شده که منبع اصلی عدم قطعیت بوده است. گرایش تجزیه‌ای از طریق آزمون CRMها بررسی شده و قابل چشم‌پوشی بوده است.



هنگامی که MU به صورت  $U'$  تشریح شود، مقدار آن از انحراف استاندارد ( $S_{meas}$ ) مقدار کمیت اندازه‌گیری شده ( $x$ ) و به صورت معمول با استفاده از  $k=2$  برای اطمینان تقریبی ۹۵٪ با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$U' = 100 \frac{2S_{meas}}{x} \% \quad \text{معادله ۱}$$

اعتبار این معادله با این فرض است که توزیع فراوانی نتایج اندازه‌گیری‌های تکراری، توزیع گوسی (Gaussian) می‌باشد ولی در صورتی که مشخص شود که این توزیع دارای چولگی مثبت می‌باشد (شکل الف)\*، می‌توان توزیع را لاگ‌نرمال دانست. این مورد را می‌توان با محاسبه لگاریتم طبیعی کلیه نتایج اندازه‌گیری،  $\ln(x)$  یا  $\log_e(x)$  تایید نمود و بررسی نمود که آیا در این شرایط دارای توزیع نزدیک به نرمال (شکل ب) می‌باشد. ضریب عدم قطعیت  $FU$  را می‌توان از انحراف استاندارد ( $S_{L,meas}$ ) این ۴۰ نتیجه اندازه‌گیری تبدیل شده به لگاریتم که با استفاده از «روش دوتایی» ایجاد شده، با معادله زیر محاسبه نمود:

$$FU = \exp(2S_{L,meas}) = e^{2S_{L,meas}} \quad \text{معادله ۲}$$

برای اهداف کاربردی،  $FU$  را می‌توان با ورود ۴۰ نتیجه اندازه‌گیری اصلی به یک بسته نرم‌افزاری که تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) را انجام می‌دهد، محاسبه نمود به عنوان مثال [۲]. برای این مثال، مقدار  $FU$  معادل ۲.۶۲ محاسبه شده و برای گستره‌ای از غلظت‌ها که در قالب اندازه‌گیری‌های دوتایی نشان داده شده‌اند، کاربرد دارد. برای یک نتیجه اندازه‌گیری منفرد معمولی با مقدار  $300 \text{ mg kg}^{-1}$ ، در نتیجه مقدار اندازه‌دهنده بین ۱۱۵ و ۷۸۴  $\text{mg kg}^{-1}$  (۳۰۰ x ۲.۶۲) قرار خواهد داشت. این فاصله اطمینان گسترده و نامتقارن به صورت عمده به دلیل عدم قطعیت ناشی از فرایند نمونه‌برداری (به علت سطح بالای ناهمگنی توزیع Pb در نمونه‌های خاک هدف نمونه‌برداری) می‌باشد.

## پیامدهای گسترده‌تر

سطوح بالا و توزیع‌های نامتقارن عدم قطعیت همچنین می‌تواند در بخش تجزیه‌ای فرایند اندازه‌گیری اتفاق بیفتد. به عنوان مثال، در یک مطالعه برای تعیین ارگانوسم‌های اصلاح ژنتیکی شده (GMO) در سویا [۳] (شکل ۲)، توزیع نشان‌دهنده این است که  $FU$  می‌تواند کاربردی‌ترین روش برای تشریح MU در بعضی از سیستم‌های تجزیه‌ای خالص و همچنین مواردی که تحت تاثیر عدم قطعیت نمونه‌برداری بوده‌اند، باشد. در این موقعیت‌ها،  $FU$  را می‌توان با استفاده از معادله ۲ بدون نیاز به ANOVA تعیین نمود.

## انتقال اطلاعات MU

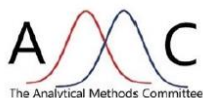
یکی از چالش‌های استفاده از  $FU$  در تشریح MU، انتقال اطلاعات مربوط به مفهوم آن به صورت شفاف به کاربر نتایج اندازه‌گیری می‌باشد. بیانیه نتیجه اندازه‌گیری می‌تواند به شکل  $x^{\pm}FU$  باشد. امید است که این بروشور آموزشی بتواند به عنوان روشی برای کمک به انتقال اطلاعات مفهوم نتیجه اندازه‌گیری که به این شکل تشریح شده، مفید باشد.

## سایر اطلاعات / مطالعه بیشتر

[۱] Ramsey M. H., Ellison S. L. R. and Rostron P., (eds.) Eurachem/EUROLAB/CITAC/Nordtest/AMC: عدم قطعیت اندازه‌گیری ناشی از نمونه‌برداری: راهنمای روش‌ها و رویکردها. ویرایش دوم. مثال الف ۲، صفحات ۴۴-۵۲. ISBN 978 0 948926-35-8. قابل دسترسی از <http://www.eurachem.org>

[۲] RANOVA3. قابل دسترسی از <https://www.rsc.org/membership-and-community/connect-with-others/throughinterests/divisions/analytical/amc/software>

[۳] AMC (2004) GMO: تفسیر امتیازات Z به دست آمده از داده‌های تبدیل شده به لگاریتم خلاصه فنی شماره ۱۸ <https://www.rsc.org/images/GMO-proficiency-testing-technical-brief-18-tcm18-214857.pdf>



\*در این مثال (شکل ۱)، توزیع از ۱۰۰ هدف نمونه‌برداری مختلف بوده است. چولگی مثبت به دلیل توزیع ناهمگن آنالیت در آن مقیاس بوده است. ناهمگنی همچنین ممکن است که در مقیاس کوچک‌تر در هر هدف نمونه‌برداری وجود داشته باشد که در MU تخمین زده شده، منعکس شده است.