

## کالیبراسیون و محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری در کالیبراسیون وسایل توزین غیر اتوماتیک با استفاده از وزنه‌های استاندارد و بارهای جایگزین

نویسنده- محمد عابدینی- مدیر فنی آزمایشگاه کالیبراسیون شرکت اندازه‌نگاشت- تهران- ایران- mhoabedini@gmail.com

خطای مجاز وسیله توزین (کالیبراسیون شونده) باشد. این خواسته در فرمول زیر بیان شده است.

$$\text{Test Accuracy Ratio} = \text{TAR} = \frac{\text{mpe}(\text{DUC})}{\text{mpe}(\text{Ref})} \geq 3 \quad (1)$$

ولی برای کالیبراسیون وسایل توزین با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم با توجه به ظرفیت وسیله، از وزنه‌های جایگزین استفاده می‌شود. چون وسیله توزین در محل بهره‌برداری خود کالیبره می‌شود بنابراین شرایط محیطی در محل استقرار وسیله توزین همیشه رعایت می‌شود. دما و رطوبت تا حد امکان باید ثابت بوده باشد تا از بروز هر نوع جریان هوا پیشگیری شود. با استفاده از دماسنج، رطوبت سنج و بارومتر مقادیر این کمیت‌ها اندازه‌گیری شده و چگالی هوا در محل کالیبراسیون از رابطه ۲ به دست آورده می‌شود [۳].

$$\rho_a(t, p, \varphi) = \frac{0,34848p - 0,009\varphi \times \exp(0,061t)}{273,15+t} \quad (2)$$

عدم قطعیت استاندارد چگالی هوا از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$u^2(\rho_a) = \left[ \frac{\partial \rho_a}{\partial p} u(p) \right]^2 + \left[ \frac{\partial \rho_a}{\partial \varphi} u(\varphi) \right]^2 + \left[ \frac{\partial \rho_a}{\partial t} u(t) \right]^2$$

$$u^2(\rho_a) = \left[ \frac{0,34848}{273,15+t} \times u(p) \right]^2 + \left[ \frac{0,009 \times \exp(0,061t)}{273,15+t} \times u(\varphi) \right]^2 + \left[ \frac{-5,49 \times 10^{-4} \times \varphi \times \exp(0,061t)}{(273,15+t)} - \frac{\rho_a}{(273,15+t)} \times u(t) \right]^2 \quad (3)$$

با توجه به این که در هنگام کالیبراسیون تغییرات رطوبت و تغییرات فشار اتمسفر نسبت به دما خیلی کم است، می‌توان از دو عبارت اول چشم‌پوشی کرد. بنابراین این رابطه ۳ به صورت زیر در می‌آید.

$$u^2(\rho_a) = \left[ \frac{-5,49 \times 10^{-4} \times \varphi \times \exp(0,061t)}{(273,15+t)} - \frac{\rho_a}{(273,15+t)} \right] \times u(t)^2 \quad (4)$$

برای کالیبراسیون با هر توافق اختیاری تعدادی نقطه در گستره اندازه‌گیری وسیله توزین انتخاب و با دستگاه مرجع مقایسه می‌شوند. اگر اطمینان وجود داشته باشد که جرم نوشته شده در گواهینامه کالیبراسیون قرار داده‌ی نیست، با استفاده از رابطه ۵ این تبدیل باید انجام گیرد.

$$m_c = m \times \frac{1-1,2/\rho_m}{1-1,2/8000} \quad (5)$$

در این رابطه  $\rho_m$  چگالی وزنه مرجع است.

### کالیبراسیون وسایل توزین با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم

برای وسایل توزین بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم با توجه به اجرای تکرارپذیری در آغاز کار حداکثر تا یک پنجم ظرفیت باید از وزنه‌های استاندارد استفاده کرد. بیش تر از این مقدار از وزنه‌های جایگزین استفاده می‌شود. وزنه جایگزین وزنه‌ای است که جابه‌جایی آن آسان، جرم آن در سراسر عملیات توزین ثابت، چگالی آن قابل تعیین و اثر نیروی شناوری بر روی آن قابل محاسبه باشد. بارهایی با چگالی در

### چکیده

کالیبراسیون وسایل توزین با استفاده از وزنه‌های استاندارد با کلاس متناسب با مشخصات اندازه‌شناختی وسیله توزین انجام می‌شود. از کالیبراسیون وسیله توزین در استانداردهای مرتبط با عناوینی مانند آزمون‌های خطی بودن یا آزمون مقیاس دستگاه نام برده می‌شود. برای کالیبراسیون وسایل توزین با ظرفیت بیش از ۱۰۰۰ کیلوگرم نیازی نیست که همیشه نصف ظرفیت وسیله توزین را از وزنه‌های استاندارد و نصف آن را از بارهای جایگزین انتخاب کرد. اگر تکرارپذیری وسیله توزین  $0,2d$  باشد، می‌توان تا پنج برابر وزنه‌های استاندارد، وسیله توزین را با بارهای جایگزین کالیبره کرد [۱]. چگونگی کالیبراسیون و محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری با وزنه‌های استاندارد و بارهای جایگزین بررسی و محاسبه شده است.

### واژه‌های کلیدی

کالیبراسیون وسایل توزین- کالیبراسیون وسایل توزین با استفاده از بارهای جایگزین- عدم قطعیت بارهای جایگزین

### مقدمه

در تعریف گفته شده است که کالیبراسیون هر وسیله اندازه‌گیری و از جمله هر وسیله توزینی عبارت است از عملیاتی که تحت شرایط خاص بین مقادیر با عدم قطعیت‌های معین از وزنه‌های استاندارد مرجع و نشان‌دهی‌های متناظر با عدم قطعیت اندازه‌گیری معین، رابطه‌ای برقرار می‌کند [۲]. در این تعریف بر عدم قطعیت اندازه‌گیری مقادیر مرجع با عدم قطعیت معین اشاره شده است. در حالی که استفاده از بارهای جایگزین بخشی از این تعریف را پوشش نمی‌دهد. در این نوشته نشان داده خواهد شد که با وجود چنین مفهومی رابطه مستقیمی بین جرم وزنه‌های استاندارد و بارهای جایگزین وجود دارد. این رابطه با مقایسه‌گر شدن خود وسیله توزین بین وزنه‌های استاندارد و بارهای جایگزین آشکار می‌شود.

### کالیبراسیون وسیله توزین

همه وسایل توزین صنعتی و قانونی با ظرفیت‌های کم و متوسط و زیاد به دلیل قابلیت ردیابی اندازه‌گیری نیازمند کالیبراسیون هستند. برای کالیبراسیون تا ظرفیت ۱۰۰۰ کیلوگرم نیازی به بار جایگزین وجود ندارد. با استفاده از وزنه‌های استاندارد این کار با اجرای آزمون‌های خطی بودن و خطای پسماند و هم‌چنین آزمون‌های جانبی تکرارپذیری و بارگذاری خارج از مرکز به آسانی انجام می‌شود. معیار انتخاب وزنه‌های مرجع حداکثر خطای مجاز آن‌ها است. یعنی حداکثر خطای مجاز وزنه استاندارد نباید بیش تر از یک سوم حداکثر

$$u^2(L_n) = \left(\frac{\partial L_n}{\partial m_{CS}} u(m_{CS})\right)^2 + \left(\frac{\partial L_n}{\partial \Delta I_{IS}} u(\Delta I_{IS})\right)^2 + \left(\frac{\partial L_n}{\partial \Delta I_{IL}} u(\Delta I_{IL})\right)^2$$

$u^2(L_n) = n^2 u^2(m_{CS}) + (n-1)^2 u^2(\Delta I_{IS}) + (n-1)^2 u^2(\Delta I_{IL})$  چون  $\Delta I_{IS}$  و  $\Delta I_{IL}$  تفکیک پذیری وسیله توزین را نشان می دهند، تقریب  $u^2(\Delta I_{IS}) = u^2(\Delta I_{IL}) = u^2(\delta m_F)$  می توان نوشت. بنابراین این می توان نوشت.

$$u^2(L_n) = n^2 u^2(m_{CS}) + 2(n-1)^2 u^2(\delta m_F) \quad (13)$$

که  $\delta m_F$  تفکیک پذیری وسیله توزین است.

برای انتخاب مقدار بار جایگزین، ابتدا تکرار پذیری وسیله توزین با استفاده از بار ۵۰ درصد حداکثر ظرفیت حداقل با ۳ بار قرار دادن آن بر روی وسیله انجام می شود. اگر تکرار پذیری بارهای جایگزین با وسیله توزین 0,2d به دست آید، می توان ۲۰ درصد از وزنه های استاندارد (۸۰ درصد بار جایگزین)، اگر این مقدار 0,3d به دست آید، می توان ۳۵ درصد از وزنه های استاندارد (۶۵ درصد بار جایگزین) به کار برد. اگر این موارد تامین نشود، ۵۰ درصد از وزنه های استاندارد و ۵۰ درصد وزنه جایگزین انتخاب می شود.

#### محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری در کالیبراسیون

برای محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری در کالیبراسیون وسایل توزین مولفه های مربوط به وزنه های مرجع، رانش آن ها در مدت زمان بهره برداری، تفکیک پذیری وسیله توزین، مولفه های مربوط به خطی بودن دستگاه (شامل انحراف در صفر و نقطه مورد نظر)، بارگذاری خارج از مرکز، خطای پسماند، تکرار پذیری و نیروی شناوری را می توان در نظر گرفت. مولفه های مربوط به دستگاه مرجع و تکرار پذیری با توزیع نرمال و سایر مولفه ها با توزیع مستطیل در نظر گرفته می شود. تصحیح ناشی از نیروی شناوری هوا بر روی هر باری به جرم  $m$  از رابطه زیر به دست می آید.

$$\delta m_b = m \times \frac{\rho_a}{\rho_m} \quad (14)$$

عدم قطعیت استاندارد تصحیح ناشی از نیروی شناوری از رابطه زیر به دست می آید.

$$u^2(\delta m_b) = \left(\frac{\partial \delta m_b}{\partial \rho_a} u(\rho_a)\right)^2 + \left(\frac{\partial \delta m_b}{\partial \rho_m} u(\rho_m)\right)^2$$

$$u^2(\delta m_b) = \left(\frac{m}{\rho_m} u(\rho_a)\right)^2 + \left(\frac{-m\rho_a}{\rho_m^2} u(\rho_m)\right)^2$$

$$u^2(\delta m_b) = (\delta m_b)^2 \left[ \frac{u^2(\rho_a)}{\rho_a^2} + \frac{u^2(\rho_m)}{\rho_m^2} \right] \quad (15)$$

عدم قطعیت چگالی وزنه مورد نظر با توجه به جنس آن از [۴] به دست آورد. عدم قطعیت چگالی هوا از رابطه ۴ به دست می آید. تا ظرفیت ۱۰۰۰ کیلوگرم، با توجه به تصحیحات مربوط به عوامل فوق، نتیجه کالیبراسیون برای هر نقطه از جمله برای نقطه اول از رابطه زیر به دست می آید.

$$m_i = \delta m + \sum_{i=1}^9 m_i \quad (16)$$

که  $i$  نشان دهنده مولفه های مختلف عدم قطعیت است. عدم قطعیت مرکب از رابطه زیر به دست می آید.

$$u_c^2(m_i) = \sum_{i=1}^9 u^2(m_i) \quad (17)$$

وسيله توزین را با توجه در خواست مشتری به صورت فقط رفت یا فقط برگشت و یا به صورت افزایشی و کاهش می توان کالیبره کرد.

حدود چگالی فلزات و بار های متمرکز و کم حجم برای این منظور مناسب هستند. در این جا مقدار جرم بار جایگزین را از طریق محاسبه به دست می آوریم.

پس از پایان کالیبراسیون وسیله توزین با وزنه های استاندارد، برحسب جرم قراردادی از بارهای جایگزین استفاده می شود. اگر نشان دهی وسیله توزین در آخرین وزنه یا وزنه های مرجع استاندارد  $I_0$  باشد، می توان نوشت.

$$I_0 = I(m_{CS}) \quad (6)$$

وزنه یا وزنه های استاندارد از روی وسیله برداشته شده و معادل آن بار جایگزین قرار داده می شود. بار جایگزین باید به اندازه ای قابل تنظیم باشد که نشان دهی وسیله توزین برای وزنه های استاندارد و بار جایگزین برابر شوند. در این حالت می توان نوشت.

$$L_1 = I(m_{CS}) = m_{CS} \quad (7)$$

بر روی این بار اگر وزنه یا وزنه های استاندارد گذاشته شود بار جایگزین دوم به دست می آید. یعنی می توان نوشت.

$$L_2 \approx m_{CS} + L_1 = m_{CS} + L_1 + I(L_2) - I(m_{CS} + L_1) = m_{CS} + L_1 + \delta I_1$$

عبارت  $I(L_2) - I(m_{CS} + L_1)$  اختلاف نشان دهی تفکیک پذیری وسیله توزین برای بار جایگزین دوم و وزنه های استاندارد بعلاوه بار جایگزین اول است. به دلیل تفکیک پذیری مقدار برای هر دو به عدد درست گرد می شود. بنابراین این می توان نوشت.

$$L_2 \approx m_{CS} + L_1 = m_{CS} + L_1 + I(L_2) - I(m_{CS} + L_1) = m_{CS} + L_1 + \delta I_1 = m_{CS} + m_{CS} + \delta I_1 = 2m_{CS} + \delta I_1 \quad (8)$$

بار جایگزین سوم عبارت است از مجموع بار جایگزین دوم و وزنه های استاندارد. پس می توان نوشت.

$$L_3 \approx m_{CS} + L_2 = m_{CS} + L_2 + I(L_3) - I(m_{CS} + L_2) = m_{CS} + L_2 + \delta I_2 = m_{CS} + 2m_{CS} + \delta I_1 + \delta I_2 = 3m_{CS} + \delta I_1 + \delta I_2 \quad (9)$$

به همین ترتیب  $n$  امین بار جایگزین عبارت است از بارهای استاندارد بعلاوه  $(n-1)$  امین بار جایگزین، پس نشان دهی وسیله توزین را به صورت زیر می توان نوشت.

$$L_n \approx m_{CS} + L_{n-1} = m_{CS} + L_{n-1} + I(L_n) - I(m_{CS} + L_{n-1}) = m_{CS} + (n-1)m_{CS} + \delta I_1 + \dots + \delta I_{n-1} = nm_{CS} + \delta I_1 + \dots + \delta I_{n-1} \quad (10)$$

عبارت های  $\delta I_1 + \dots + \delta I_{n-1}$  اختلاف در نشان دهی وسیله توزین در بار های جایگزین و وزنه های استاندارد معادل آن ها است. پس می توان فرض کرد که  $\delta I_1 \approx \dots \approx \delta I_{n-1} \approx \Delta I_i$  باشد. پس رابطه ۱۰ به صورت زیر نوشته می شود [۳].

$$L_n = nm_{CS} + (n-1)\Delta I_i \quad (11)$$

در رابطه ۱۱،  $\Delta I_i$  یک بار برای وزنه های استاندارد مقدار مورد نظر را گرد می کند و یک بار این کار را برای بارهای جایگزین انجام می دهد. پس این رابطه به صورت زیر در می آید.

$$L_n = nm_{CS} + (n-1)\Delta I_i = nm_{CS} + (n-1)(\Delta I_{IS} - \Delta I_{IL}) \quad (12)$$

حداکثر مقدار  $\Delta I_{IS}$  و  $\Delta I_{IL}$  در هر وسیله توزینی برابر با تفکیک پذیری آن است. عدم قطعیت رابطه ۱۲ را محاسبه می کنیم.

۱- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

کالیبراسیون باسکول با ظرفیت ۴۰۰۰ کیلوگرم با تفکیک پذیری ۱ کیلوگرم

کالیبراسیون باسکول با ۱۰۰۰ کیلوگرم وزنه های استاندارد چدنی و بارهای جایگزین از جنس چدن با در نظر گرفتن آزمون خزش یا خطای پسماند انجام شده و نتایج با در نظر گرفتن اطلاعات وزنه های مرجع و بارهای جایگزین با شش مرحله جایگزینی مطابق جدول زیر نوشته شده است. انحراف استاندارد تکرارپذیری با ۱۰ تکرار ناچیز و اختلاف جرم بارگذاری خارج از مرکز  $\delta m_{ecc} = 1,998 \text{ kg}$  بوده است.

نتایج کالیبراسیون باسکول  $4000 \text{ kg}$  با وزنه های استاندارد و بارهای

### جایگزین

no.	Nominal Value (kg)	Conventional Ref. Value (g)	Conventional Reading Value (kg)		Deviation (g)		Expanded Uncertainty $\pm \text{kg}$
			Up	Down	Up	Down	
1	0	0	0.0	0.0	0	0	1.29
2	500	500000.0353	500.0	499.0	-0.0353	1000.0353	1.44
3	1000	1000000.071	1000.0	1000.0	-0.071	-0.071	1.29
4	1500	1500000.106	1500.0	1500.0	-0.106	-0.106	1.15
5	2000	2000000.141	2000.0	1999.0	-0.141	-1000.141	1.41
6	2500	2500000.177	2501.0	2501.0	+999.823	+999.823	2.08
7	3000	3000000.212	3001.0	3000.0	+999.788	-0.212	2.74
8	3500	3500000.248	3501.0	3500.0	+999.752	-0.248	3.49
9	4000	4000000.282	4001.0	-	+999.718	-	4.26

### مرجع ها

- [1] OIML R 76-1, 2006, Non-automatic weighing instruments, Part 1: Metrological and technical requirements – Tests
- [2] JCGM 200, 2012, International vocabulary of metrology-Basic and general concepts and associated terms( VIM), 3rd edition
- [3] EA- 10/18, 2005, Guidelines on the Calibration of nonautomatic weighing instruments
- [4] OIML R111-1, 2004, Weight of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3

از رابطه ۱۵ به صورت زیر به دست می آید.

$$u^2(\delta L_{nb}) = (\delta L_{nb})^2 \left[ \left( \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( \frac{u(\rho_{L_{nb}})}{\rho_{L_{nb}}} \right)^2 \right] \quad (18)$$

در این مثال عدم قطعیت چگالی هوا با استفاده از رابطه ۴ و عدم قطعیت چگالی بارهای جایگزین را می توان از [۴] به دست آورد.

الگوی اندازه گیری را در باسکول های بیش تر از ۱۰۰۰ کیلو گرم که از بارهای جایگزین استفاده می شود، می توان به صورت زیر نوشت.

$$m_i = \delta m + m_s + L_n \quad (19)$$

که در آن  $m_i$  مقدار خوانده شده،  $m_s$  مقدار مرجع متناظر از وزنه های استاندارد و  $L_n$  مقدار بار جایگزین معادل است.

علاوه بر تصحیح های گفته شده در رابطه ۱۶ ، تصحیح ناشی از بار جایگزین را هم می توان در نظر گرفت. پس می توان نوشت.

$$m_i = \delta m + \sum_{i=1}^8 m_i + L_n + \delta L_{nb} \quad (20)$$

در این جا  $\delta m$  انحراف بین مجموع بارهای استاندارد و بارهای جایگزین و نشان دهی وسیله توزین در هر نقطه کالیبراسیون است. چون

بارجایگزین فقط با تفکیک پذیری دستگاه تعیین می شود، علامت جمع ۸ جمله را پوشش می دهد.عدم قطعیت مرکب رابطه ۲۰ به صورت زیر

نوشته می شود.

$$u_c^2(m_i) = \sum_{i=1}^8 u^2(m_i) + u^2(L_n) + u^2(\delta L_{nb}) \quad (21)$$

دو جمله آخر رابطه بالا را از رابطه ۱۳ می توان جاگذاری کرد.

$$u_c^2(m_i) = \sum_{i=1}^8 u^2(m_i) + n^2 u^2(m_s) + 2(n-1)^2 u^2(\delta m_r) + u^2(\delta L_{nb}) \quad (22)$$

با استفاده از رابطه ۲۲ توان کالیبراسیون و اندازه گیری را در سطح اطمینان ۹۵ درصد، برای کالیبراسیون این باسکول ها به صورت زیر می توان نوشت.

$$U_{cmc} = 2 \times \sqrt{\sum_{i=1}^3 u^2(m_i) + n^2 u^2(m_s) + u^2(\delta L_{nb})} \quad (23)$$

در رابطه ۲۳،  $i$  مولفه های مربوط به وزنه های مرجع، رانش آن ها و نیروی شناوری وارد بر آن ها را پوشش می دهد.

## **Calibration and measurement uncertainty calculation of nonautomatic weighing instruments by standards weights and substitution loads**

**Mohammad Abedini**

Technical Manager- Andazeh Negasht co- Tehran- Iran

### **Abstract**

Calibration of weighing instruments is carried out by standard weights that proportional of metrological characteristics of instruments. From calibration of this instruments we obtained of linearity, hysteresis and other parameters that can be required. For instruments capacity up to 1000 kg we use standard weights, but if repeatability of calibration process is obtained 0.2d we can use up 5 times of standard weights from substitution loads.

**Keywords:** calibration of weighing instruments, calibration of weighing instruments by substitution loads, measurement uncertainty of substitution loads.