

# ۷

## مرحله جهت تخمین عدم قطعیت

برای آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون بر اساس  
**ISO/IEC 17025:2017**

ترجمه به فارسی: محمد قائمی

ریپارد هوگان

"فوائد آن برای هر کسی که به دنبال تخمین  
عدم قطعیت است، ضروری است"

۷ مرحله جهت تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری

---

فرآیند تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری

---

۱. فرآیند و معادله را مشخص کنید
  ۲. منابع عدم قطعیت را شناسایی کنید
  ۳. اندازه مولفه‌های عدم قطعیت را کمی کنید
  ۴. منابع عدم قطعیت را دسته بندی کنید
  ۵. مولفه‌های عدم قطعیت را به معادل‌های انحراف استاندارد تبدیل کنید
  ۶. عدم قطعیت استاندارد ترکیبی را محاسبه کنید
  ۷. عدم قطعیت گسترده را محاسبه کنید
  ۸. عدم قطعیت را جهت مناسب بودن ارزیابی کنید
-

## معرفی نویسنده

محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری آسان نیست. در واقع، من هر روز با افرادی صحبت می‌کنم که در تخمین عدم قطعیت مشکل دارند. بنابراین، تصمیم گرفتم این راهنما را گردآوری کنم تا فرآیند هفت مرحله‌ای منحصر به فرد خود را برای محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری فاش کنم.

در این راهنما، نحوه محاسبه عدم قطعیت اندازه‌گیری را در هفت مرحله آسان خواهید آموخت. همچنین، یاد خواهید گرفت که برای محاسبه عدم قطعیت به چه اطلاعاتی نیاز دارید، چگونه مولفه‌های عدم قطعیت را شناسایی کنید و چگونه محاسبات خود را ارزیابی کنید تا از تخمین بیش از حد یا دست کم گرفتن عدم قطعیت جلوگیری کنید. علاوه بر این، من برخی از نکات انحصاری خود را با شما به اشتراک خواهم گذاشت تا به شما کمک کند مانند یک فرد حرفه‌ای عدم قطعیت را محاسبه کنید.

با این حال، این راهنما یک کتابچه راهنمای کامل نیست. همچنین به تمام سوالات شما پاسخ نخواهد داد. در عوض، باید به عنوان یک راهنمای مرجع سریع برای ساده سازی فرآیند تخمین عدم قطعیت به هفت مرحله و یادگیری برخی از اسرار شخصی من که هنگام تخمین عدم قطعیت استفاده می‌شوند، استفاده شود.

بنابراین، این راهنما را بخوانید و از توصیه‌های من برای کمک به محاسبه عدم قطعیت استفاده کنید. اگر سوالی دارید، حتماً با من تماس بگیرید. علاوه بر این، از این راهنما برای کمک به نوشتن یک روش عدم قطعیت برای آزمایشگاه خود استفاده کنید.

ریچارد هوگان

## نحوه محاسبه عدم قطعیت در ۷ مرحله

تخمین عدم قطعیت اندازه‌گیری می‌تواند کار دشواری باشد. به خصوص، از آنجایی که بیشتر راهنماهای عدم قطعیت اندازه‌گیری فرآیند یا روشی را به شما ارائه نمی‌دهند. بنابراین، من یک فرآیند هفت مرحله‌ای ایجاد کردم که می‌توانید هر بار که عدم قطعیت اندازه‌گیری را تخمین می‌زنید از آن استفاده کنید. تا زمانی که نیاز به محاسبه یک بودجه عدم قطعیت دارید، فقط مراحل زیر را دنبال کنید.

۱. اندازه‌ده را مشخص کنید

۲. منابع عدم قطعیت را شناسایی کنید

۳. منابع عدم قطعیت را کمی کنید

۴. منابع عدم قطعیت را دسته بندی کنید

۵. عدم قطعیت‌ها را به معادل‌های انحراف استاندارد تبدیل کنید

۶. عدم قطعیت استاندارد ترکیبی را محاسبه کنید

۷. عدم قطعیت گسترده را محاسبه کنید

۸. بودجه‌های عدم قطعیت را بررسی کنید

## مرحله اول: فرآیند و معادله را مشخص کنید

قبل از اینکه وارد زمین شوید و شروع به محاسبه عدم قطعیت کنید، بهتر است یک برنامه داشته باشید. اولین بخش از برنامه شما باید شناسایی فرآیند اندازه‌گیری یا سیستمی باشد که می‌خواهید ارزیابی کنید. این کار به شما کمک می‌کند تا تحلیل عدم قطعیت خود را چارچوب بندی کنید و توجه خود را بر آنچه مهم‌تر است متمرکز نمایید.

### نحوه تعیین فرآیند اندازه‌گیری

برای تعیین فرآیند اندازه‌گیری، دستورالعمل‌های زیر را دنبال کنید:

۱. تابع آزمون یا اندازه‌گیری را برای ارزیابی انتخاب کنید.
۲. روش یا دستورالعمل اندازه‌گیری مورد استفاده را انتخاب کنید.
۳. تجهیزات مورد استفاده را انتخاب کنید.
۴. گستره مورد نظرتابع اندازه‌گیری را انتخاب کنید.
۵. نقاط آزمون مورد ارزیابی را تعیین کنید.
۶. در جایی که قابل کاربرد است، معادله ریاضی را که تابع اندازه‌گیری را توصیف می‌کند، مشخص کنید.

### به کمک بیشتری نیاز دارید؟

اگر در این فرآیند مشکل دارید، سعی کنید به سوالات زیر پاسخ دهید:

۱. چه چیزی را اندازه‌گیری می‌کنم؟
۲. چگونه آن را اندازه‌گیری خواهم کرد؟
۳. از چه روشی استفاده خواهم کرد؟
۴. به چه تجهیزاتی نیاز خواهم داشت؟
۵. گستره (مثلاً حداقل و حداکثر) قابلیت اندازه‌گیری من چقدر است؟
۶. نقاط آزمون هدف من چیست؟

پس از پاسخ دادن به سوالات بالا، از پاسخ‌های خود برای شناسایی فرآیند اندازه‌گیری که در حال ارزیابی هستید استفاده کنید. سپس، آن اطلاعات را به بودجه عدم قطعیت خود اضافه کنید. به تصویر زیر نگاهی بیندازید.

هنگامی که آنچه را که قرار است ارزیابی کنید مشخص کردید، می‌توانید به مرحله بعدی بروید.

	A	B	C
1	تابع	Pressure Measure	
2	توصیف	Fluke 2700G Pressure Gauge - ID#: LAB-123	
3	گستره	0.001 psig to 100 psig	
4			
5			
6	نقطه آزمون		
7	Test-Point	10	
8	Unit	psig	
9			
10	Uncertainty Analysis: CMC (Calibration and Measurement Capability)		

### در مورد اندازه‌گیری‌های غیر مستقیم چطور؟

اگر نتیجه نهایی را از اندازه‌گیری‌های غیرمستقیم بدست می‌آورید باید معادله مورد استفاده برای تعیین نتیجه اندازه‌گیری خود را ارزیابی کنید. هر متغیر در معادله، عدم قطعیت خاص خود را دارد که مستقیماً بر عدم قطعیت نتیجه نهایی محاسبه شده تأثیر می‌گذارد.

برای کمک به شما، به استفاده از دو ویت تسترها یا کالیبره کردن مبدل‌های گشتاور و مقاومت‌های استاندارد فکر کنید. هر یک از این فرآیندهای اندازه‌گیری، شما را ملزم به استفاده از یک معادله برای محاسبه نتیجه نهایی می‌کند. برای تخمین عدم قطعیت، باید معادله را شکسته و عدم قطعیت هر متغیر در معادله را ارزیابی کنید.

$$\frac{V}{I} = R$$

عدم قطعیت ولتاژ  $U_v$   
 عدم قطعیت جریان  $U_i$   
 $U_r = U_v + U_i$

## مرحله دوم: منابع عدم قطعیت را شناسایی و دسته بندی کنید

اکنون که فرآیند اندازه‌گیری را که قرار است ارزیابی کنید مشخص کرده‌اید، باید عواملی که بر عدم قطعیت در نتایج اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارند را شناسایی کنید.

این فرآیند معمولاً آسان نیست و می‌تواند بسیار خسته کننده باشد. پس آرام و صبور باشید و به تحقیق ادامه دهید. ممکن است تعجب کنید که چه عوامل مختلف زیادی می‌توانند بر نتایج اندازه‌گیری شما تأثیر بگذارند.

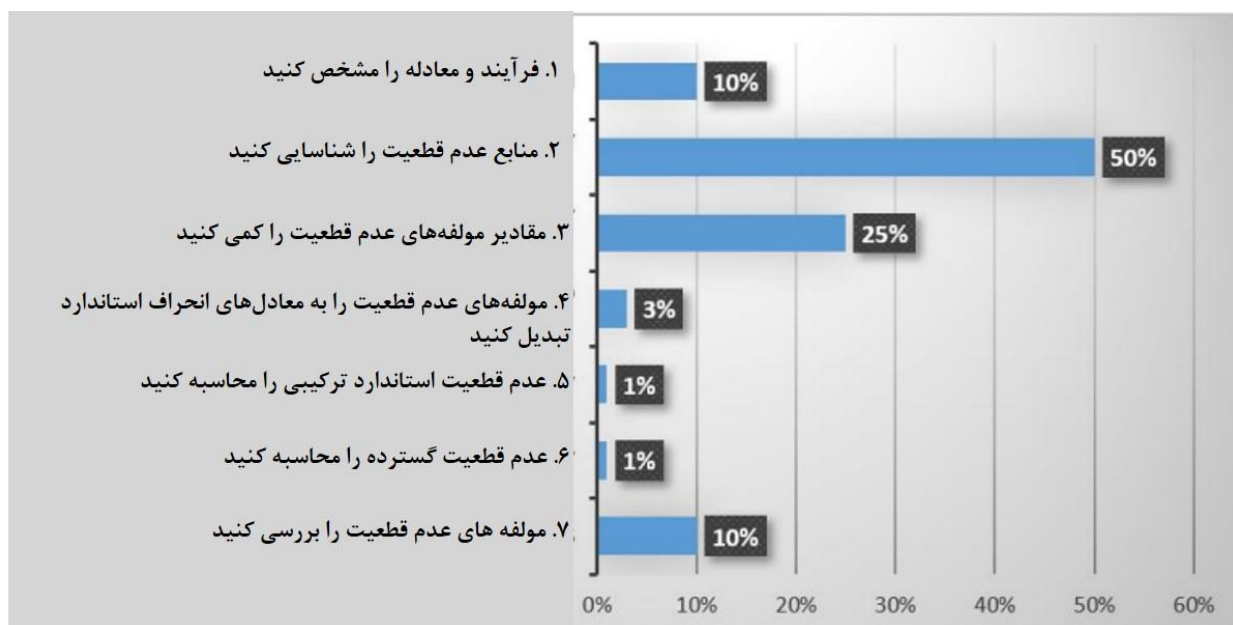
قبل از شروع، توصیه می‌کنم کتاب یا راهنمای فرآیند اندازه‌گیری مورد ارزیابی خود را پیدا کنید. کتاب‌های درسی فیزیک، شیمی و مهندسی می‌توانند برای درک پیشینه و اطلاعات دقیق در مورد فرآیند اندازه‌گیری شما مفید باشند.

منابع دیگری که ممکن است بخواهید در نظر بگیرید، روش‌های [ASTM](#) و [ISO](#) هستند. با این حال، اگر منابع رایگان را دوست دارید (مثل من)، ممکن است بخواهید وب سایت‌های موسسه ملی مترولوژی، مانند [NIST](#)، [NPL](#)، و [BIPM](#) و [INSO](#) را جستجو کنید. آنها ممکن است راهنماهای قابل دانلود مرتبط با فرآیندهای اندازه‌گیری خاص شما را داشته باشند.

### یافتن منابع عدم قطعیت

یافتن منابع عدم قطعیت می‌تواند دشوار باشد. انجام این کار به زمان و تلاش زیادی نیاز دارد و زمان برترین فرآیند ارزیابی عدم قطعیت اندازه‌گیری است.

بر اساس تجربه من، یافتن عواملی که بر عدم قطعیت تأثیر می‌گذارند معمولاً به ۵۰ درصد از زمانی که صرف تخمین عدم قطعیت می‌کنید نیاز دارد. به نمودار زیر نگاهی بیندازید تا ببینید معمولاً چگونه وقت خود را برای تخمین عدم قطعیت صرف می‌کنید.



با این حال، اگر برای ارزیابی فرآیند و انجام تحقیقات خود وقت بگذارید، باید بتوانید چندین منبع عدم قطعیت را برای تحلیل خود شناسایی کنید. پس از آن، فهرستی از این موارد تهیه کنید. بعداً سعی خواهید کرد تا آنها را کمی کنید.

نکته حرفه‌ای: یادداشت‌های خود و منابعی را که زمان زیادی صرف جستجو آنها کرده‌اید ذخیره و بایگانی کنید. در آینده جهت تخمین عدم قطعیت‌های معادله‌های مشابه در وقت شما صرفه جویی خواهد کرد.

### چگونه منابع عدم قطعیت را پیدا کنیم

برای یافتن منابع عدم قطعیت جهت تحلیل خود، مراحل ذکر شده در زیر را دنبال کنید:

۱. روش آزمون، روش کالیبراسیون یا فرآیند اندازه‌گیری را ارزیابی کنید.
۲. معادلات اندازه‌گیری را ارزیابی کنید (در صورت وجود)
۳. تجهیزات، استانداردهای مرجع و معرف‌ها را ارزیابی کنید.
۴. حداقل منابع مورد نیاز عدم قطعیت را شناسایی کنید.
۵. در منابع مختلف اطلاعات، تحقیق کنید.
۶. با یک متخصص مشورت کنید.



## بهترین مکان‌ها برای یافتن منابع عدم قطعیت

هنگامی که نیاز به یافتن منابع عدم قطعیت دارید، داشتن فهرستی از منابع موجود می‌تواند کمک کننده باشد:

فهرستی از مکان‌ها، از جمله پیوندها در زیر وجود دارد که می‌توانید از آن‌ها برای کمک به یافتن منابع عدم قطعیت استفاده کنید.

۱- دفترچه راهنمای سازنده

۲- برگ اطلاعات سازنده

۳- تجربیات افراد

۴- توصیه‌ها و راهنماهای فنی

۵- مقالات کنفرانس

۶- کتاب‌های درسی

[۷- انتشارات ویژه سری NIST ۲۵۰](#)

[۸- گزارش های داخلی NIST](#)

[۹- مجله تحقیقات NIST](#)

[۱۰- راهنماهای تمرین خوب NPL](#)

[۱۱- انتشارات BIPM](#)

[۱۲- راهنمای فنی MSL](#)

[۱۳- کالیبراسیون و راهنماهای فنی EURAMET](#)

[۱۴- مترولوژیا](#)

[۱۵- مجله CalLab](#)

[۱۶- مجله اندازه گیری NCLSI](#)

## توابع اندازه‌گیری با معادلات

اگر تابع اندازه‌گیری شما شامل معادلات باشد، فرآیند تخمین عدم قطعیت کمی متفاوت است. شما باید هر متغیر را در معادله شناسایی کنید و به این فکر کنید که چه چیزی بر هر متغیر تأثیر می‌گذارد.

برای مثال، اگر در حال ارزیابی کالیبراسیون یک مبدل گشتاور هستید، ابتدا معادله را می‌نویسید.

$$M = r \cdot F \cdot \sin\theta$$

که در آن،

M = لحظه نیرو (یعنی گشتاور)

r = شعاع از مرکز تکیه گاه

F = نیروی اعمال شده

$\theta$  = تتا یا زاویه نیروی اعمالی

هنگامی که معادله را بیشتر ارزیابی می‌کنید، شروع به محاسبه سایر عواملی خواهید کرد که بر معادله تأثیر می‌گذارند. در این مثال، شعاع بازوی گشتاور و کابل، جرم وزنه‌ها و کفه و گرانش محلی را در نظر می‌گیریم. در صورت نیاز، می‌توانیم معادله را حتی بیشتر ارزیابی کنیم تا تأثیرات بیشتری را در نظر بگیریم و پیچیدگی تحلیل عدم قطعیت شما را افزایش دهیم.

$$M = \left( r_{arm} + \frac{1}{2} r_{cable} \right) \cdot (m_{pan} \cdot g_L + m_{wgt} \cdot g_L) \cdot \sin\theta$$

که در آن،

M = لحظه نیرو (یعنی گشتاور)

$r_{arm}$  = شعاع چرخ/بازو گشتاور

$r_{cable}$  = شعاع کابل

$m_{pan}$  = جرم کفه وزن

$m_{wgt}$  = جرم وزن‌های اعمال شده

$g_L$  = گرانش محلی

$\theta$  = زاویه نیروی اعمالی

اکنون که معادله و متغیرها را شناسایی کردید، می‌توانید شروع به تحقیق کنید که چه عواملی ممکن است باعث تغییرات یا تأثیرات در هر متغیر شود. با استفاده از مثال بالا، به این فکر کنید که چگونه تغییرات دما می‌تواند باعث انبساط یا انقباض خطی حرارتی شعاع بازو شود و چگونه می‌تواند بر چگالی هوا تأثیر بگذارد که بر تصحیح شناور هوا تأثیر دارد که می‌تواند بزرگی نیروی اعمال شده را تغییر دهد.

همانطور که می‌بینید، ارزیابی معادلات می‌تواند به شما در یافتن منابع عدم قطعیت کمک کند. در حالی که این فرآیند ممکن است آسان به نظر برسد، بسته به پیچیدگی معادله می‌تواند بسیار دشوار نیز باشد. [دانستن قوانین انتشار عدم قطعیت](#) می‌تواند در مرحله ۵ مفید باشد.

### توابع اندازه‌گیری بدون معادله

اکثر توابع اندازه‌گیری که ارزیابی می‌کنید معادله‌ای ندارند. بنابراین، برای یافتن عواملی که بر عدم قطعیت اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارند، باید فرآیند اندازه‌گیری را ارزیابی کنید.

با ارزیابی عناصر اصلی فرآیند اندازه‌گیری، از جمله موارد زیر شروع کنید:

۱. روش
۲. تجهیزات
۳. کارکنان
۴. شرایط محیطی
۵. واحد تحت آزمون و
۶. نتایج

با ارزیابی این دسته بندی‌ها، منابع عدم قطعیتی را خواهید یافت که بر نتایج اندازه‌گیری تأثیر می‌گذارند.

به جدول زیر نگاه کنید. شروع به تجزیه و تحلیل هر دسته کنید تا ببینید چه چیزی پیدا می‌کند.

واحد تحت آزمون	شرایط محیطی	کارکنان	تجهیزات	روش
تفکیک پذیری	درجه حرارت	تکرارپذیری	پایداری	آماده سازی
تکرارپذیری	رطوبت	تجدید پذیری	گرایش	آزمایش کردن
همگنی	فشار		رانش	کالیبراسیون
	جاذبه زمین		تفکیک پذیری	تجزیه و تحلیل
	ارتعاش		عدم قطعیت	نتایج
	اغتشاشات		استاندارد مرجع	محاسبات
	EMI		پایداری	تبدیل‌ها
	سایر عوامل		استاندارد مرجع	گرد کردن
	فیزیکی یا		خطی بودن	گزارش نویسی
	شیمیایی		پسماند	نتایج

ممکن است خوش شانس باشید و یک مقاله یا راهنما با نمودار [علت و معلولی \(با نام مستعار استخوان ماهی\)](#) یا بودجه عدم قطعیت که از قبل با اطلاعاتی که برای تجزیه و تحلیل عدم قطعیت شما قابل استفاده است، بیابید.

اصلی‌ترین کاری که باید برای یافتن منابع عدم قطعیت انجام دهید، بررسی و تحقیق است.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد یافتن منابع عدم قطعیت اندازه‌گیری، این راهنما را بررسی کنید:

[۱۵ مکان برای یافتن منابع عدم قطعیت در اندازه‌گیری](#)