

تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری بتن با رویکرد فرآیندی و استفاده از روش GUM

تورج نجف آبادی پور^۱، میترا منوچهری^۲، مجید نورانی^۳، علی محمد فرخی بمی^۴

- ۱- کارشناس ارشد عمران-راه و ترابری، دانشگاه پوترا مالزی (UPM)، مدیر فنی آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما، کرمان
- ۲- کارشناسی ارشد عمران-سازه، موسسه آموزش عالی بعثت، کارشناس آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما، کرمان
- ۳- کارشناسی ارشد عمران-مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه تربیت مدرس، مدیر ارشد آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما، کرمان
- ۴- دانشجوی کارشناس ارشد عمران-مدیریت پروژه و ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، مدیر کیفی آزمایشگاه تردد راهنما، کرمان

tooraj.np@gmail.com

چکیده

کلمه عدم قطعیت به معنی تردید در خصوص اعتبار نتیجه است. همیشه اختلافی بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار واقعی وجود دارد. عدم قطعیت اندازه گیری در حقیقت میزان پراکندگی نسبت به نتیجه اندازه گیری شده می باشد که اطلاعاتی درباره کیفیت اندازه گیری ارائه می دهد. از آنجا که ارائه نتایج آزمون به همراه گزارش مقدار عدم قطعیت آن، از سوی مراکز و آزمایشگاههایی صورت می پذیرد که دارای گواهینامه IEC/ISO 17025 بوده و آن را به عنوان یکی از الزامات استاندارد مربوطه تخمین و تعیین کرده اند، ولی در مورد سایر آزمایشگاهها به دلیل عدم تخمین یا محاسبه صحیح عدم قطعیت آزمون نمی توان از درستی و دقت نتایج ارائه شده توسط آنها، اطمینان حاصل کرد.

از آنجا که تعیین مقاومت فشاری بتن به عنوان یکی از رایج ترین آزمایشات فیزیکی بتن تقریباً در اکثر پروژه های عمرانی یکی از معیارهای رد یا قبول بتن تولید یا اجرا شده می باشد و از این طریق بتن در رده های مختلف مقاومتی طبقه بندی می شود، لذا عدم تخمین و محاسبه صحیح عدم قطعیت در اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری توسط آزمایشگاه ها، در رد یا قبول نتایج حاصله توسط ناظران، شبهه ایجاد خواهد کرد و ممکن است باعث تصمیم و داوری نا صحیح در تفسیر و تحلیل نتایج حاصله گردد، لذا در مقاله حاضر سعی شده است روند تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری بتن با رویکرد فرآیندی و بکارگیری روش ¹(GUM) که در یک مطالعه موردی در آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما تعیین شده است، ارائه گردد. به منظور دستیابی به این هدف، تمامی عوامل تاثیرگذار بر آزمون مقاومت فشاری (منابع عدم قطعیت) در تمامی مراحل انجام آزمون با رویکرد فرآیندی، شناسایی و با کمی نمودن مولفه های آن و بکارگیری روش (GUM) به صورت مرحله به مرحله، عدم قطعیت مرکب و بسط یافته محاسبه و تخمین زده شد که می تواند الگوی مناسبی جهت محاسبه صحیح عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری بتن برای استفاده در کلیه آزمایشگاه های مربوطه باشد به طوری که با تعیین و تخمین صحیح عدم قطعیت می توان باعث افزایش اعتبار نتایج و اطمینان از صحت و درستی نتایج ارائه گردید.

کلمات کلیدی: آزمون مقاومت فشاری بتن، تخمین عدم قطعیت اندازه گیری، خطا، دیدگاه فرایندی، روش GUM

۱. مقدمه

بخش مهم و بزرگی از فعالیت های بسیاری از سازمانها مربوط به خدمات آزمایشگاهی می شود. از آنجایی که نتیجه نهایی آنها از اهمیت ویژه ای در دستاوردهای تولیدی و تحقیقاتی برخوردار می باشد و بسیاری از این دستاوردها، ضامن امنیت سلامتی و اقتصادی ملت هاست، از دیرباز ارائه راهکارهایی برای ارتقاء کیفیت خدمات ارائه شده در این مراکز مورد توجه جوامع علمی و تخصصی دنیا بوده و در این خصوص نیز راهکارهای متعددی ارائه شد است [1-2].

یکی از متداولترین این راهکارها استفاده از سیستم های مدیریت کیفیت بر اساس اساتانداردهای بین المللی می باشد از جمله این استانداردها، استاندارد IEC/ISO 17025 می باشد که برای تشریح سیستم مدیریت کیفیت آزمایشگاه ها تدوین شده است. در استاندارد مدیریت کیفیت آزمایشگاه یکی از مهم ترین و تاثیر گذارترین الزامات مورد نظر، دقت و صحت نتایج آزمون و محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری می باشد [1].

کلمه عدم قطعیت به معنی تردید در خصوص اعتبار نتیجه است. عدم قطعیت اندازه گیری به ما اطلاعاتی درباره کیفیت اندازه گیری ارائه میدهد. در واقعیت همیشه اختلافی بین مقدار اندازه گیری شده و مقدار واقعی وجود دارد. عدم قطعیت اندازه گیری در حقیقت میزان پراکندگی نسبت به نتیجه اندازه گیری شده می باشد که اغلب از خطاهایی که ناشی از وسایل اندازه گیری، عوامل سیستماتیک ناشناخته، دانش ناکافی در مورد پدیده های فیزیکی تاثیر گذار بر اندازه گیری و یا دیگر عوامل تصادفی تاثیر گذار بر نتیجه اندازه گیری بوجود می آید. صرف نظر از خطاهای ذکر شده همیشه یک عدم قطعیتی برای کمیت ها وجود دارد که به هیچ وجه نمی توان از آنها رهایی یافت و در واقع نتیجه اندازه گیری، فقط تخمینی از مقدار واقعی است لذا می توان گفت عدم قطعیت، یک عامل همراه با نتیجه اندازه گیری است که محدوده مقادیری را معین میکند که نتیجه اندازه گیری می تواند داشته باشد و مقدار آن نشان دهنده سطح اطمینانی است که مقدار واقعی مورد اندازه گیری شده در محدوده تعیین شده، قرار می گیرد [3].

مفهوم دو اصطلاح "خطا" و "عدم قطعیت" نباید باهم اشتباه گرفته شود؛ خطا تفاوت بین مقدار اندازه گیری شده با مقدار واقعی چیزی است که اندازه گیری می شود در حالیکه عدم قطعیت، کمی نمودن تردیدی است که درباره اندازه گیری وجود دارد. در واقع هر زمانی که ممکن باشد ما تلاش میکنیم که خطاهای شناخته شده را اصلاح کنیم، ولی هر خطایی که مقدار آن را ندانیم میتواند یک منبع عدم قطعیت باشد؛ ازینرو هنگامیکه نتیجه اندازه گیری یک کمیت فیزیکی گزارش میشود، الزامی است که اشارات کمی در مورد کیفیت نتیجه ارائه شود تا کسی که آن را استفاده میکند بتواند قابلیت اطمینان آن را ارزیابی کند و بدون این اطلاعات نتایج اندازه گیری را نمی توان با یکدیگر مقایسه کرد. از آنجا که همواره و در هر اندازه گیری حاشیه تردید وجود دارد، باید از خود پرسیم: "این حاشیه چقدر بزرگ است؟" و "تا چه میزان به این حاشیه اطمینان داریم؟" در نتیجه برای کمی نمودن عدم قطعیت دو عدد وجود دارد: یکی محدوده این حاشیه یا فاصله است و دیگری سطح اطمینان که بیان کننده میزان اطمینان ما از این نکته است که مقدار واقعی در آن محدوده قرار دارد [4].

هدف از محاسبه عدم قطعیت در آزمایشگاه آزمون، ایجاد اطمینان از صحت و دقت نتایج آزمون مطابق استاندارد IEC/ISO ۱۷۰۲۵ می باشد. از آنجا که بسیاری از آزمایشگاههای بتن برای محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری به طور صحیح با مشکل مواجه هستند در این بررسی سعی شده است عوامل موثر بر فرایند تخمین عدم قطعیت اندازه گیری مقاومت فشاری آزمون های بتنی را با دیدگاه فرایندی و روش GUM شناسایی و عدم قطعیت اندازه گیری را تعیین گردد.

۲. پیشینه تحقیق

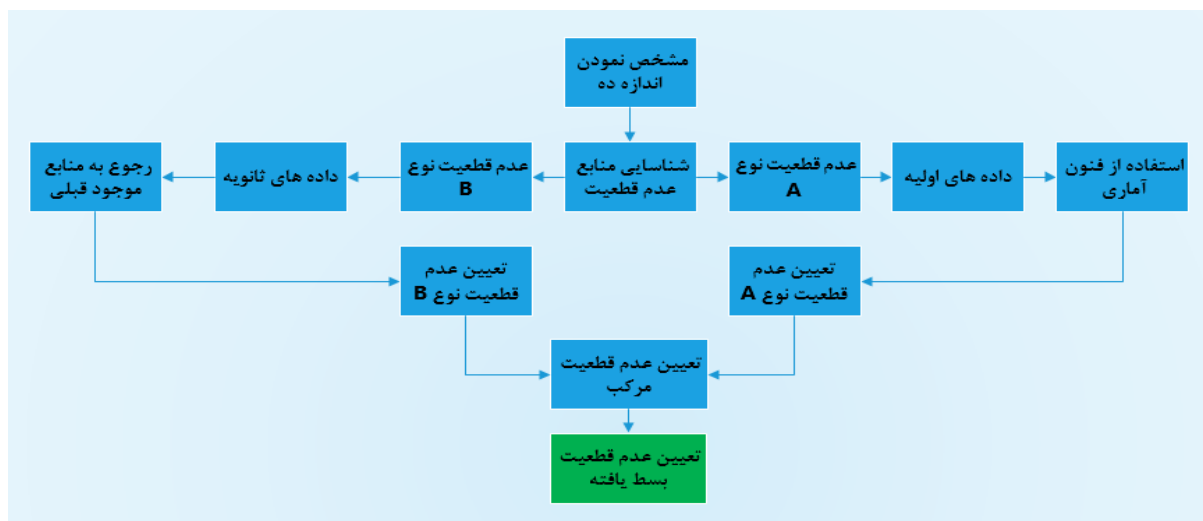
عدم قطعیت اندازه گیری اولین بار در سال ۱۹۶۳ توسط موسسه ملی استاندارد و تکنولوژی امریکا (NIST) به عرصه جهانی معرفی گردید. این موسسه پیشنهاد کرد که عدم قطعیت برای آزمون های کمی باید بیان شود، [5-6]. در سال ۲۰۰۸ دفتر بین المللی اوزان و مقیاس ها (BIPM) اصلاحات جزئی را در GUM 95 ایجاد نمود و آن را تحت عنوان "ارزیابی داده های اندازه گیری - راهنمای بیان عدم قطعیت در اندازه گیری (JCGM 100:2008)" منتشر نمود [7].

در مقاله شیونک و همکاران [8] مقایسه ی مختصری بین روش GUM و مونت کارلو انجام شد و نمونه ای دوار با استفاده از کولیس اندازه گیری و عدم قطعیت محاسبه گردید، در مقاله نخجیری و شاه نقی [9] کالیبراسیون و عدم قطعیت مقاومت دماسنج پلاتینی با استفاد از مدل شبیه سازی مونت کارلو تشریح گردید است، در مقاله (هادیان، امیر و بهاره شهیدی زاده، ۱۳۹۶) [10] صحت و دقت نتایج آزمون اندازه گیری کشش میلگرد به کمک عدم قطعیت اندازه گیری و تحت پوشش قرار دادن کلیه عوامل تاثیر گذار بر نتایج آزمون مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳. روش تحقیق

۳-۱. روند کلی روش تحقیق

به منظور دستیابی به هدف تحقیق حاضر، تمامی عوامل تاثیر گذار بر آزمون مقاومت فشاری (منابع عدم قطعیت) در تمامی مراحل انجام آزمون با رویکرد فرآیندی، شناسایی و با کمی نمودن مولفه های آن و بکارگیری روش (GUM) به صورت مرحله به مرحله، عدم قطعیت مرکب و بسط یافته محاسبه و تخمین زده شد. این بررسی با توجه به استاندارد مدیریت کیفیت آزمایشگاهی IEC/ISO 17025 و همچنین استاندارد های ساخت، عمل آوری و آزمون مقاومت فشاری آزمون های بتنی (INSO 1608) انجام گرفته است. مراحل انجام روش تحقیق در چارت زیر که در شکل ۱ آمده است، ارائه گردیده است.



شکل ۱: مراحل روش تحقیق ارائه شده در تخمین عدم قطعیت آزمون

در ادامه کلیه مراحل روش تحقیق بکار رفته در این مقاله شرح داده خواهد شد.

۲-۳. روش تخمین عدم قطعیت آزمون به روش GUM

ابتدا بایستی روش اندازه گیری، تجهیزات اندازه گیری و کمیت مورد اندازه گیری به صورت کامل و شفاف تعیین و تعریف شوند سپس منابع عدم قطعیت در اندازه گیری شناسایی شده و پس از آن بزرگی عدم قطعیت هر کدام از این منابع تخمین زده شود و در آخر عدم قطعیت های منفرد با هم ترکیب شده و یک عدد جامع را ارائه می دهند.

اصول مشخصی برای ارزیابی تاثیر هریک از عدم قطعیت ها و ترکیب آن ها باهم وجود دارد که بصورت گام های اساسی زیر می باشند:

- مرحله اول- مشخص نمودن اندازه ده
- مرحله دوم- شناسایی منابع عدم قطعیت
- مرحله سوم- کمی نمودن مولفه های عدم قطعیت
- مرحله چهارم- محاسبه عدم قطعیت مرکب و بسط یافته

مرحله ۱- مشخص نمودن اندازه ده

- مشخص کردن اینکه چه چیزی اندازه گیری می شود شامل ارتباط بین اندازه ده و کمیت های ورودی
- تصمیم گیری درخصوص آنچه که می خواهید از اندازه گیری های خود بدست آورید و تصمیم گیری درخصوص اینکه چه اندازه گیری ها و محاسبات واقعی مورد نیاز است تا نتیجه نهایی بدست آید.
- استخراج مدل ریاضی: در اکثر موارد یک اندازه ده (Y) به صورت مستقیم اندازه گیری نمی شود بلکه از طریق اندازه گیری تعداد (N) کمیت دیگر ($X_1, X_2, \dots, X_N$) به وسیله یک تابع ریاضی به دست می آید. کمیت های ورودی (X_1, X_2) ($X_1, X_2, \dots, X_N$) که کمیت خروجی (Y) به آنها وابسته است ممکن است خود اندازه ده در نظر گرفته شده و به کمیت های دیگر وابسته باشند.

مرحله ۲: شناسایی منابع عدم قطعیت

عدم قطعیت اندازه گیری از بخشهای مختلفی تشکیل شده است که به آنها مولفه های عدم قطعیت اندازه گیری می گویند. این مولفه ها عبارتند از: عوامل محیطی، دستگاه های اندازه گیری، فرایند اندازه گیری، فرایند نمونه گیری متغیرهای فیزیکی، و... که در عدم قطعیت اندازه گیری سهیم هستند.

مجموعه کمیت های ورودی ($X_1, X_2, \dots, X_N$) به شکل زیر طبقه بندی می شوند:

- کمیت هایی که مقادیر و عدم قطعیت های آنها به طور مستقیم در اندازه گیری جاری تعیین می شود. این مقادیر و عدم قطعیت آنها ممکن است از یک مشاهده، مشاهدات تکراری یا به صورت تجربی استخراج شوند و ممکن است شامل تصحیحات مربوط به قرائت پذیری تجهیزات، شرایط محیطی، فشار هوا، رطوبت و سایر موارد باشند.
- کمیت هایی که مقادیر و عدم قطعیت آنها از منابع برون سازمانی وارد اندازه گیری می شوند، مانند کمیت های مرتبط با استانداردهای اندازه گیری، مواد مرجع گواهی شده یا داده های مرجع که از هندبوک ها استخراج شده اند.

مرحله ۳: کمی نمودن مولفه های عدم قطعیت

بدون توجه به منابع عدم قطعیت، دو رویکرد در محاسبه عدم قطعیت وجود دارد: نوع A و نوع B. در بیشتر اندازه گیری ها و در ارزیابی عدم قطعیت، هر دو نوع، مورد نیاز هستند.

ارزیابی های نوع A: تخمین عدم قطعیت با استفاده از فنون آماری (معمولاً از تکرار مشاهدات)

وقتی مجموعه ای از مشاهدات تکراری مد نظر است برای تخمین عدم قطعیت نوع A، انحراف استاندارد (S) را می توان برای مجموعه به صورت زیر محاسبه کرد [11]:

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

که در آن $(\bar{X})$ میانگین داده ها است.

انحراف استاندارد مربوط به مجموعه ای از مشاهدات، خطای تصادفی نمی باشد. بلکه نشان دهنده عدم قطعیت میانگین ناشی از تاثیرات تصادفی می باشد. مقدار دقیق این خطا (ناشی از این تاثیرات) نامشخص می باشد.

در این حالت، عدم قطعیت استاندارد نوع A از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$U_A = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

✓ ارزیابی های نوع B: تخمین عدم قطعیت از منابع اطلاعاتی دیگر (به غیر از فنون آماری)

این اطلاعات می تواند از تجربیات پیشین اندازه گیری ها، گواهینامه های کالیبراسیون، مشخصات سازنده، محاسبات و اطلاعات منتشر شده باشد. مولفه های سیستماتیک عدم قطعیت (آنهایی که نشانگر خطاهایی هستند که در اندازه گیری ثابت باقی می ماند) با استفاده از رویکرد نوع B تخمین زده می شوند. شناسایی موفقیت آمیز و ارزیابی این مولفه ها مستلزم وجود دانش دقیق در خصوص فرایند اندازه گیری و افراد مجری اندازه گیری می باشد.

مراجع استخراج عدم قطعیت نوع B

- ✓ داده هایی که قبلاً اندازه گیری شده اند
- ✓ تجربه یا دانش عمومی در خصوص رفتار و مشخصات مواد و تجهیزات مربوطه
- ✓ مشخصات سازندگان
- ✓ داده های مندرج در گواهی کالیبراسیون یا سایر داده ها
- ✓ عدم قطعیت های تخصیص داده شده به داده های مرجع که از کتب مرجع استخراج شده اند.

اگر تخمین از مشخصات سازنده، گواهینامه کالیبراسیون، هندبوک یا سایر منابع استخراج شود و عدم قطعیت اعلام شده به صورت ضربی از انحراف استاندارد بیان شده باشد، عدم قطعیت استاندارد برابر است با مقدار بیان شده تقسیم بر ضریب مربوط به سطح اطمینان

$$U_{B_i} = \frac{U_{xi}}{k} \quad (3)$$

ضریب حساسیت (Coefficient Sensitivity)

منابع عدم قطعیت باید قبل از اینکه تبدیل شوند، دارای واحدهای یکسان باشند به عنوان مثال هنگام اندازه گیری طول، عدم قطعیت اندازه گیری نیز نهایتاً با واحد طول بیان می شود.

ضرایب حساسیت ضرایب تبدیلی هستند که واحدهای کمیت های ورودی را به واحدهای اندازه ده تبدیل می کنند و آنرا با C نمایش می دهند که از مشتق نسبی تابع (f) (مدل ریاضی اندازه ده) از کمیت ورودی بدست می آید:

$$C_i = \frac{df}{dx_i} \quad (4)$$

مرحله ۴: محاسبه عدم قطعیت مرکب Combined Measurement Uncertainty

عدم قطعیت های استاندارد منفرد که از تخمین های نوع A و نوع B محاسبه شده اند را می بایست با یکدیگر ترکیب نمود. نتیجه این کار، عدم قطعیت استاندارد مرکب نامیده می شود که با (Uc) نشان داده می شود.

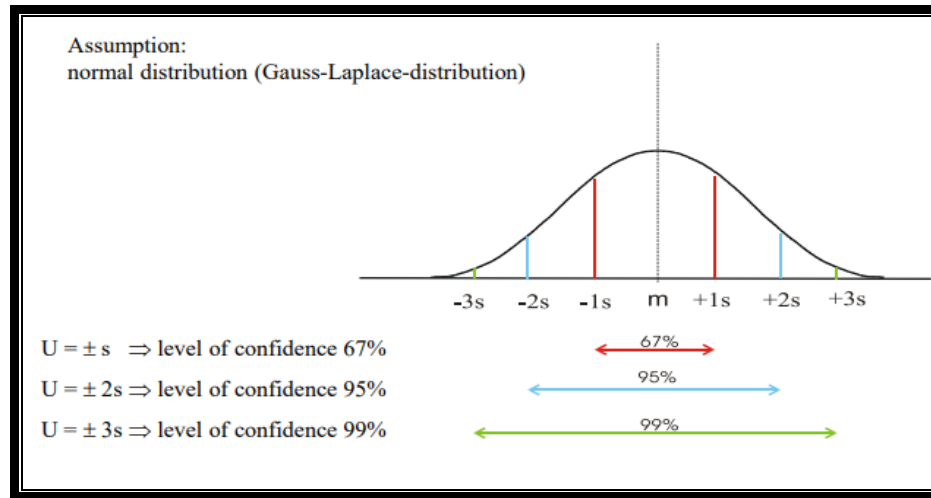
$$U_c = \sqrt{U_B^2 + U_A^2} \quad (5)$$

مرحله ۵. محاسبه عدم قطعیت بسط یافته Expanded Measurement Uncertainty

اگر الزم باشد که عدم قطعیت اندازه گیری در یک گزارش آزمون درج گردد، عدم قطعیت بسط یافته محاسبه می شود. این کار به منظور فراهم ساختن یک فاصله $\gamma+U$ تا $\gamma-U$ انجام می پذیرد. این فاصله این اطمینان را فراهم می آورد که نتیجه اندازه گیری با یک احتمال مشخصی در این فاصله قرار دارد. عدم قطعیت بسط یافته، با ضرب عدم قطعیت استاندارد مرکب در یک فاکتور پوششی (factor Coverage) مطابق رابطه زیر حاصل می شود:

$$U = K * U_c (\gamma) \quad (6)$$

توصیه می شود که برای گزارش عدم قطعیت بسط یافته از یک سطح اطمینان ۹۵٪ استفاده شود که با محدوده آبی رنگ در شکل شماره ۲ همچنان که در ادامه آمده است، نشان داده شده است. در صورت نرمال بودن تغییرات نتیجه اندازه گیری، برای این سطح اطمینان، ضریب پوششی برابر $k=2$ خواهد بود.



شکل ۲: سطوح اطمینان توزیع نرمال

انتخاب ضریب همپوشانی K می توانند بر اساس موارد زیر تعیین گردد :

- سطح اطمینان مورد نیاز مشتری و یا استاندارد محصول
- الزامات خاص آئین نامه ای- بهداشت و ایمنی
- تکنیک های مختلف کنترل فرآیند آماری (6σ)
- اطلاعات مربوط به تابع توزیع احتمال
- تعداد دفعات تکرار آزمایش

در اکثر موارد اگر تابع توزیع احتمال یک تابع نرمال باشد (بویژه در کالبراسیون) $k=2$ انتخاب می شود که تقریباً معادل سطح اطمینان ۹۵ درصد می باشد.

لازم به ذکر است در مواقعی که تعداد دفعات آزمایش کمتر از ۶ باشد دیگر نمی توان توزیع را نرمال فرض کرد و ضریب همپوشانی k از جدول آماری (Student T) انتخاب می شود عدم قطعیت گسترده در سطح اطمینان p با توزیع (Student T) به صورت زیر نوشته می شود :

$$U_p = K_p * U_c \quad (7)$$

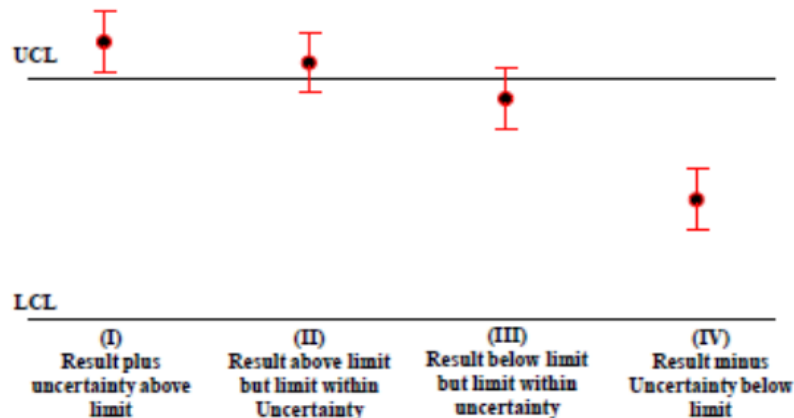
که در آن

$tp(V)$ مقدار t در سطح اطمینان P با درجه آزادی V است.

چون تعیین K_p (ضریب پوششی در سطح اطمینان p) به تعداد درجه های آزادی بستگی دارد بنابراین پیش از آن، تعیین تعداد درجه های آزادی ضروری است.

۳-۳. گزارش و تحلیل عدم قطعیت

غالباً عدم قطعیت محاسبه شده باید بر اساس الزام مشتری، استاندارد و یا قانون یا حدود و یا مرز مشخص مقایسه گردد، به عبارت دیگر عدم قطعیت محاسبه شده می تواند ملاک پذیرش و یا ردی مواد در آزمون های تحلیلی باشد.



شکل ۳: نمونه ای از ارائه نتایج آزمون با مشخص کردن مقدار عدم قطعیت و حدود پذیرش

۳-۴. روند تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری در مطالعه موردی مقاله حاضر

در آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما نمونه های بتنی طبق استاندارد INSO 1608-2 ساخت و عمل آوری می شود و در مدت زمان انجام تست (۷ روزه، ۲۸ روزه و ...) در حوضچه های استاندارد و شرایط محیطی استاندارد نگهداری می شوند و سپس برای انجام آزمون از حوضچه بیرون آورده شده و پس از اندازه گیری ابعاد و توزین، مطابق با استاندارد INSO 1608-3 نمونه بین دو فک دستگاه جک بتن شکن قرار داده می شود و با اعمال نیرو به دو سر آن، نمونه تحت فشار وارده، شکسته می شود و ماکزیمم نیروی وارده بر سطح مقطع نمونه (آزمونه) تقسیم شده و مقاومت کسب شده محاسبه می گردد. که تابع ریاضی آن به شکل زیر می باشد:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (8)$$

که در آن

F: ماکزیمم نیروی وارده بر آزمونه (قرائت شده از دستگاه جک بتن شکن

A=L*L سطح مقطع آزمونه (اندازه گیری شده با کولیس)

ازین رو برای محاسبه عدم قطعیت آزمون مقاومت فشاری، از بتن تولیدی شرکت مهندسی تردد راهنما (واقع در شهر کرمان) یک نمونه همگن تهیه و نمونه گیری به عمل آمد و تعداد ۲۰ آزمونه استاندارد تهیه و در شرایط آزمایشگاهی تا زمان رسیدن به سن ۲۸ روز عمل آوری گردید. لازم به ذکر است تمامی شرایط به جز اوپراتور برای بیست نمونه یکسان بوده است.

۱-۴-۳. مولفه های نوع A عدم قطعیت با نگاه فرایندی (از زمان ساخت بتن تا زمان آزمون مقاومت فشاری)

در این بخش سعی شده است کلیه عوامل تاثیرگذار بر آزمون مقاومت فشاری (منابع عدم قطعیت) در تمامی مراحل انجام آزمون، به ترتیب و بر اساس فرآیند انجام آماده سازی نمونه و انجام تست تا ارائه نتیجه آزمون همچنان که در ادامه آمده است، شناسایی و ذکر گردند که این رویکرد فرایندی با توجه به اینکه تک تک مراحل را بررسی می کند سعی در شناسایی کلیه عوامل تاثیرگذار بر تست را دارد.

۱. آماده سازی بتن (مهارت اوپراتور، توزین مصالح، تجهیز میکس بتن، زمان میکس، نحوه اختلاط مصالح، شرایط محیطی)
 ۲. نمونه گیری از بتن: مهارت اوپراتور در نمونه گیری، ابزار نمونه گیری
 ۳. نحوه تهیه آزمون ها، تعداد ضربات میله تراکم، نحوه کوبیدن و پرداختن سطح آزمون ها، ویژگی قالب (فلزی، فایبرگلاس)، ابزار و شرایط محیطی)
 ۴. نگهداری قالب ها قبل از بیرون آوردن بتن از قالب (زمان نگهداری در قالب، شرایط محیطی (دما، رطوبت) تراز بودن نمونه ها)
 ۵. خروج آزمون ها از قالب (تجهیز (کمپرسور هوا یا چکش)، مهارت اوپراتور، شرایط محیطی)
 ۶. عمل آوری آزمون ها در حوضچه (تجهیزات حوضچه (هیتر، دیتالاگر، خنک کننده)، شرایط محیطی (دمای آب)
 ۷. بیرون آوردن آزمون ها از حوضچه (برای انجام تست مقاومت فشاری): (زمان بیرون آوردن نمونه ها، میزان خشک شدن سطح نمونه جهت انجام تست، مهارت اوپراتور، شرایط محیطی)
 ۸. اندازه گیری ابعاد آزمون با کولیس (مهارت اوپراتور، شرایط محیطی (نور، دما)
 ۹. قرار دادن آزمون روی صفحات پرس دستگاه جک (مهارت اوپراتور، قرار گرفتن آزمون در مرکز سطوح، تمیز بودن فک ها)
 ۱۰. انجام آزمون مقاومت فشاری و شروع بارگذاری توسط دستگاه جک روی آزمون (تجهیز (سرعت بارگذاری، عوامل محیطی تاثیرگذار در نوسانات برق، مهارت اوپراتور)
 ۱۱. گزارش دهی نتایج آزمون (اوپراتور، اعمال ضرایب مربوط به تصحیح نیرو در جک و کولیس و ...)
 ۱۲. سایر عوامل تصادفی یا عوامل تاثیرگذار بر نتیجه یا موثر در محاسبه عدم قطعیت که ممکن است نادیده گرفته شده باشند.
- نتایج مربوط به تکرار/ تجدید پذیری نتایج آزمون مقاومت فشاری ۲۰ آزمون بتنی تهیه شده به صورت زیر می باشد که به همراه محاسبات مربوط به عدم قطعیت نوع A در جدول ۱ آورده شده است:

جدول ۱: نتایج تکرار آزمون و عدم قطعیت نوع A

آزمون کننده / تکرار	آزمونگر ۱	آزمونگر ۲	کل آزمایشگاه
نتیجه تکرار ۱	359	357	
نتیجه تکرار ۲	353	360	
نتیجه تکرار ۳	362	358	
نتیجه تکرار ۴	360	365	
نتیجه تکرار ۵	369	367	
نتیجه تکرار ۶	367	369	
نتیجه تکرار ۷	361	371	
نتیجه تکرار ۸	368	358	
نتیجه تکرار ۹	372	370	
نتیجه تکرار ۱۰	355	362	
n تعداد تکرار	10	10	20
انحراف استاندارد	6.24	5.38	5.69
عدم قطعیت نوع A $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}}$	1.97	1.70	1.27

۲-۴-۳. محاسبه عدم قطعیت نوع B

عوامل موثر در عدم قطعیت نوع B

۱. اثر اندازه گیری نیروی وارده بر آزمون (F)
 - ✓ عدم قطعیت ذکر شده در گواهی کالیبراسیون دستگاه جک بتن شکن در گستره مورد نظر
 - ✓ زینه دستگاه جک بتن شکن

۲. اثر اندازه گیری ابعاد آزمون با کولیس (A=L*L)

- ✓ عدم قطعیت مربوط به کولیس در گواهی کالیبراسیون کولیس
- ✓ محاسبه اثر دما روی کولیس فلزی
- ✓ محاسبه اثر دما بر طول نمونه بتنی
- ✓ زینه کولیس

جدول ۲: مولفه های موثر بر عدم قطعیت نوع B و محاسبه سهم هر یک از آنها در عدم قطعیت

مولفه های موثر بر عدم قطعیت نوع B	منبع	مقدار عدم قطعیت	واحد اندازه گیری	توزیع احتمال	ضریب همپوشانی توزیع احتمال (k)	عدم قطعیت استاندارد U_{xi}/k	عدم قطعیت مربوط به هر مولفه $U_x = \sqrt{\sum (U_{xi})^2}$	ضریب حساسیت $C_i = U_x/X$
اثر اندازه گیری نیروی مقاومت فشاری (Fc)	عدم قطعیت نیروی فشاری ذکر شده در گواهی کالیبراسیون	261.485	kg.f	نرمال	2	130.74250	133.89150	1.64E-03
	زینه دستگاه جک * ۰.۵	50	kg.f	مستطیلی	1.732	28.86751		
فرآیند اندازه گیری سطح بارگذاری طول L_1	عدم قطعیت اندازه گیری کولیس (ذکر شده در گواهی کالیبراسیون)	0.00648	cm	نرمال	2	0.00324	0.00434	0.0003
	زینه کولیس * ۰.۵	0.005	cm	مستطیلی	1.732	0.00289		
	محاسبه اثر دما بر طول کولیس ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	0.000519	cm	مثلی	2.4495	0.00021		
	محاسبه اثر دما بر طول نمونه بتن ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	0.00036	cm	مثلی	2.4495	0.00015		
فرآیند اندازه گیری سطح بارگذاری عرض L_2	عدم قطعیت اندازه گیری کولیس (ذکر شده در گواهی کالیبراسیون)	0.00648	cm	نرمال	2	0.00324	0.00434	0.0003
	زینه کولیس * 0.5	0.005	cm	مستطیلی	1.732	0.00289		
	محاسبه اثر دما بر طول کولیس ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	0.000519	cm	مثلی	2.4495	0.00021		
	محاسبه اثر دما بر طول نمونه بتن ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	0.00036	cm	مثلی	2.4495	0.00015		

پس از شناسایی مولفه های تاثیرگذار بر عدم قطعیت نوع B و محاسبه سهم هریک از آنها می بایست آنها را با هم جمع جبری نمود تا عدم قطعیت (کلی) نوع B بدست آید:

$$U_B = \sqrt{\sum (U_{xi})^2} \quad (9)$$

در این بررسی، سه مولفه موثر بر عدم قطعیت شامل (تاثیر مولفه نیروی فشاری جک و دو مولفه اندازه گیری طول و عرض در سطح بارگذاری) که هر یک شامل ریز مولفه های دیگری هستند با هم جمع جبری شده و پس از ضرب در ضریب حساسیت، در نهایت عدم قطعیت نوع B بصورت زیر بدست آمد:

جدول ۳: ترکیب مولفه های تاثیر گذار در محاسبه عدم قطعیت نوع B

مولفه های موثر بر عدم قطعیت نوع B	منبع	موثر هر متغیر سهم $U_i(y,x) = C_i \cdot \bar{Y}$
اثر اندازه گیری نیروی مقاومت فشاری (Fc)	عدم قطعیت نیروی فشاری ذکر شده در گواهی کالیبراسیون	0.5951
	زینة دستگاه جک * ۰.۵	
فرآیند اندازه گیری سطح بارگذاری L ₁	عدم قطعیت اندازه گیری کولیس (ذکر شده در گواهی کالیبراسیون)	0.105
	زینة کولیس * ۰.۵	
	محاسبه اثر دما بر طول کولیس ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	
	محاسبه اثر دما بر طول نمونه بتن ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	
فرآیند اندازه گیری سطح بارگذاری L ₂	عدم قطعیت اندازه گیری کولیس (ذکر شده در گواهی کالیبراسیون)	0.105
	زینة کولیس * 0.5	
	محاسبه اثر دما بر طول کولیس ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	
	محاسبه اثر دما بر طول نمونه بتن ($l \cdot \alpha \cdot \Delta T$)	
عدم قطعیت نوع B	$U_B = \sqrt{\sum (U_{Xi})^2}$	0.61341

۳-۴-۳. عدم قطعیت استاندارد

عدم قطعیت مرکب استاندارد طبق رابطه (۵) با ترکیب عدم قطعیت نوع A و B بدست می آید:

$$U_c = \sqrt{U_B^2 + U_A^2} = 1.413$$

۳-۴-۴. عدم قطعیت بسط یافته

عدم قطعیت بسط یافته با سطح اطمینان ۹۵٪ و ضریب پوشش $t=2.093$ (استخراج شده از جدول Tstudent) بصورت زیر محاسبه می شود:

$$U_{95\%} = 1.413 \cdot 2.093 = 2.957 \text{ kg/cm}^2$$

بنابراین مقدار عدم قطعیت آزمون مقاومت فشاری در آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما، مقدار 2.957 کیلوگرم بر سانتی متر مربع محاسبه شد که زمان گزارش نتایج تست مقاومت فشاری می بایست نتیجه گزارش شده بصورت (نتیجه آزمایش $\pm$ مقدار عدم قطعیت بر حسب واحد مورد نظر و سطح اطمینان ۹۵٪ و ضریب همپوشانی $K=2$) گزارش شود.

لازم به ذکر است کلیه محاسبات فوق الذکر در این مطالعه مربوط به نحوه اندازه گیری تست مقاومت فشاری در آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما بوده و برای سایر آزمایشگاهها می بایست بر اساس روند ذکر شده در این مطالعه مقدار عدم قطعیت برای آزمایش تخمین زده شده و بکار برده شود.

۴. نتیجه گیری

بهبود کیفیت کلید راه گشای کاهش هزینه ها و ریسک محسوب می شود، عدم قطعیت اندازه گیری یک پارامتر بسیار مهم می باشد که مستقیماً بر روی کیفیت، هزینه ها، تصمیمات، ریسک و اعتبار مربوط به نتایج تست های آزمایشگاهی تاثیرگذار می باشد که اغلب نادیده گرفته می شود. مطابق با الزامات استاندارد بین المللی IEC/ISO ۱۷۰۲۵، تمامی مراکز آزمایشگاهی دارای صلاحیت می بایست عدم قطعیت مربوط به هر یک از آزمون های محدوده کاری خود را تعیین و به همراه نتیجه تست ها گزارش نمایند.

در مقاله حاضر، روند تخمین عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری بتن با رویکرد فرآیندی و بکارگیری روش (GUM) که در یک مطالعه موردی در آزمایشگاه شرکت مهندسی تردد راهنما تعیین شده بود، ارائه گردید. به این منظور تمامی عوامل تاثیرگذار بر آزمون مقاومت فشاری (منابع عدم قطعیت) در تمامی مراحل انجام آزمون با رویکرد فرآیندی، شناسایی و با کمی نمودن مولفه های آن و بکارگیری روش (GUM) به صورت مرحله به مرحله، عدم قطعیت مرکب و بسط یافته محاسبه و تخمین زده شد که می تواند الگوی مناسبی جهت محاسبه صحیح عدم قطعیت اندازه گیری آزمون مقاومت فشاری بتن برای استفاده در کلیه آزمایشگاه های مربوطه باشد به طوری که با تعیین و تخمین صحیح عدم قطعیت می توان باعث افزایش اعتبار نتایج و اطمینان از صحت و درستی نتایج و بالابردن سطح رضایتمندی مشتریان و کاهش هزینه ها و ریسک گردید.

۵. منابع

- [1] International Organization for Standardization (2017). General requirements for the competence of testing and calibration laboratories (ISO/IEC 17025)
- [2] Vlachos, N. A., Michail, C., & Sotiropoulou, D. (2002). "Is ISO/IEC 17025 accreditation a benefit or hindrance to testing laboratories? The greek experience". Journal of Food Composition and Analysis, 15(6), 749-757
- [3] Kacker, R., Toman, B., Huang, D., (2006), "Comparison of ISO-GUM, draft GUM Supplement 1 and Bayesian statistics using simple linear calibration", Metrologia, Vol(43), 167-177
- [4] ANSI/NCSL, Z540-2-1997, "U.S. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1st ed., October 1997. Eurachem/CITAC, "Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2nd edition, 2000
- [5] NIST. Uncertainty of measurement results.
- [6] BIPM, IEC, IFCC, ILAC, ISO, IUPAC, IUPAP, and OIML. Evaluation of measurement data — Supplement 2 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" — Models with any number of output quantities. Joint Committee for Guides in Metrology, JCGM 102, in preparation. 1, 6.1, 7.5.2
- [7] Evaluation of measurement data — Supplement 1 to the "Guide to the expression of uncertainty in measurement" — Propagation of distributions using a Monte Carlo method JCGM 101:2008
- [8] H. Schwenke, B. R. L. Siebert, F. Waldele, H. Kunzmann (2000) "Assessment of Uncertainties in Dimensional Metrology by Monte Carlo Simulation: Proposal of a Modular and Visual Software" Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Germany
- [9] Kamran Shahanaghi, Pooneh Nakhjiri (2009), "A new optimized uncertainty evaluation applied to the Monte-Carlo simulation in platinum resistance thermometer calibration" Elsevier
- [10] هادیان، امیر و بهاره شهیدی زاده، ۱۳۹۶، محاسبه عدم قطعیت اندازه گیری به منظور اطمینان از دقت و صحت نتایج آزمون در آزمایشگاه آزمون و کالیبراسیون، کنفرانس بین المللی مدیریت کاربردی و چابک سازی سازمانی، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس

- [11] Hogan Richard, Introduction to Statistics for Uncertainty Analysis, February 28, 2016

The Estimation of Measurement Uncertainty of the Testing Compressive Strength of Concrete with a Process Approach & Using the GUM

Tooraj Najafabadipour¹, Mitra Manoochehri², Majid Noorani³, Ali Mohammad Farokhi Bami⁴

1- Master of Highway & Transportation Engineering, University Putra Malaysia (UPM), Technical Manager of Taradod Rahnama Engineering Co, Kerman, Iran

2- Master of Civil Engineering, Besat Institute of Higher Education, Taradod Rahnama Engineering Co, Kerman, Iran

3- Master of Construction Engineering and Management, Tarbiat Modares University, Direct Manager of Taradod Rahnama Engineering Co, Kerman, Iran

4- Master of Construction Engineering and Management, Islamic Azad University of Kerman, Rahnama Engineering Co, Kerman, Iran

tooraj.np@gmail.com

Abstract:

In literal meaning, uncertainty is a state of doubt about the result credibility. There are always be differences between true value and measurement result. In fact, measurement uncertainty characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand which states some information about quality of measurement. However, reporting test result with its measurement uncertainty is presented by the laboratories which could be achieved IEC/ISO 17025 certificate from the valid laboratory Accreditation Body (AB). In one hand, measurement uncertainty is estimated as the technical requirements of IEC/ISO 17025 in the mentioned laboratories, on the other hand, in the rest of laboratories cannot be able to trust in presented results in terms of accuracy and precision in measurement due to lack of estimation of measurement uncertainty.

Determining compressive strength of concrete which is known as one of the most popular physical characteristics of concrete, is one of the most important criteria to accept or reject the test result of produced or executed concrete. In this way, concrete is graded in different categories which causes supervisors to be in doubt in accepting or rejecting the test result due to lack of estimation or correct determination of measurement uncertainty of the compressive strength of concrete by laboratories. It might be caused to make wrong decision and judgment in analysis and interpretation of the result. Therefore, in the current study, estimation of measurement uncertainty of the testing compressive strength of concrete with a process approach & Using the GUM in a case study of Taradod Rahnama Engineering CO. laboratory has been presented. To achieve this main objective, all the effective components of the testing compressive strength were identified and quantified then by using the GUM, in step by step to calculate combined uncertainty and finally expanded uncertainty. This study can be as an appropriate pattern to determine correct measurement uncertainty of the testing compressive strength of concrete in order to use in related laboratories to increase the result credibility and trust in presented results in terms of accuracy and precision in measurement.

Keywords: Testing Compressive Strength of Concrete, Estimation of Measurement Uncertainty, Error, Process Approach, the GUM, and Uncertainty.
