

## اندازه‌شناسی چیست و چرا مهم است؟

هدی آل علی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

اندازه‌شناسی، علم اندازه‌گیری و کاربرد آن بوده و به سه زیرشاخه اندازه‌شناسی علمی، صنعتی و قانونی تقسیم می‌شود. استقرار یکاهای اندازه‌گیری، ایجاد روش‌های جدید، ساخت تجهیزات اندازه‌گیری و انتقال قابلیت‌ردیابی از فعالیت‌های اندازه‌شناسی علمی به‌شمار می‌آیند. اندازه‌شناسی صنعتی کاربرد اندازه‌گیری در تولید و سایر فرآیندها، و اندازه‌شناسی قانونی، مقررات و الزامات قانونی مرتبط با اندازه‌گیری را پوشش می‌دهند. دولت‌ها بایستی با ایجاد زیرساخت اندازه‌گیری در کشور و با توسعه و حفظ استانداردها و شیوه‌های اندازه‌گیری شناخته شده بین‌المللی، سیستم اندازه‌گیری یکپارچه و قابل اطمینان را فراهم نمایند. بررسی‌ها نشان می‌دهند، در صورتی که کشورهای مختلف زیرساخت سیستم اندازه‌گیری را برقرار کرده باشند در آن صورت به‌راحتی می‌توانند با هم معاملات تجاری و توسعه فناوری خود را انجام دهند. این مقاله علاوه بر معرفی اندازه‌شناسی، بر اهمیت آن با تکیه بر اهداف و مباحث اندازه‌شناختی از جمله کالیبراسیون و قابلیت‌ردیابی برای دستیابی به اندازه‌گیری با دقت و اطمینان بالا، تأکید می‌کند.

واژگان کلیدی: اندازه‌شناسی، قابلیت‌ردیابی، استانداردهای مرجع، کالیبراسیون، عدم قطعیت، زیرساخت اندازه-گیری، کیفیت

\* عهده‌دار مکاتبات: استادیار، نشانی الکترونیکی: [hoda.aleali@gmail.com](mailto:hoda.aleali@gmail.com)

<sup>۱</sup> گروه پژوهشی اندازه‌شناسی، پژوهشکده ارزیابی کیفیت و سامانه‌های مدیریت، پژوهشگاه استاندارد، کرج، ایران

## مقدمه

«فضای اندازه‌گیری» در علم و فناوری بسیار بزرگ است. تقریباً تمام زندگی روزمره، شامل اندازه‌گیری است که ما برای سلامتی، رفاه تجاری، کیفیت زندگی و حفاظت از محیط زیست به آنها تکیه می‌کنیم. «اندازه‌گیری»، فرآیند به‌دست آوردن مقدار تجربی حداقل یک کمیت است که به‌طور منطقی به یک ویژگی نسبت داده می‌شود و مهم است که دقت اندازه‌گیری برای هدف مورد نظر مناسب باشد. پیشینه فعالیت‌های اندازه‌گیری دقیق به زمان‌های بسیار دور برمی‌گردد. مخازن و آبراه‌های قدیمی در سریلانکا، تعیین موقعیت زمانی در تمدن بین‌النهرین و پیدا شدن یک شاهین ترازو در مصر با قدمت حدود پنج هزار سال قبل از میلاد مسیح، نشان از وجود سیستم اندازه‌گیری کاملی در آن زمان‌ها دارد [۱]. اندازه‌گیری دقیق مستلزم ایجاد ساختاری به نام «اندازه‌شناسی» است که ضامن پایداری، درستی و اطمینان از نتیجه یک اندازه‌گیری باشد. هنگامی که این ویژگی‌ها با اندازه‌گیری همراه باشد، تجارت تسهیل می‌شود، زیرساخت‌ها به درستی کار خواهند کرد، فناوری، تجارت جهانی و اقتصاد پیشرفت می‌کند و سلامت، ایمنی و کیفیت زندگی ما را تضمین می‌کند. به‌طور خلاصه، اندازه‌شناسی سیستم‌ها و چارچوب‌هایی را برای کمی‌سازی، فراهم و از این طریق ثبات و اطمینان را در همه اندازه‌گیری‌ها پایه‌ریزی می‌کند [۲].

چگونگی اندازه‌گیری کمیت‌های اصلی فیزیکی و پارامترهای شیمیایی برای تولید و کنترل کیفیت محصولات از وظایف مهم اندازه‌شناسی است به گونه‌ای که با سنجش میزان پیشرفت آن می‌توان میزان پیشرفت صنعت را سنجید. سیستم اندازه‌گیری با ایجاد آزمایشگاه‌های مرجع آزمون و کالیبراسیون که به‌ترتیب وظیفه کنترل کیفیت آزمایشگاه‌های صنعتی و کنترل دقت و صحت دستگاه‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری را به عهده دارند، نقش اساسی در نظام استانداردسازی و تضمین کیفیت دارد [۳].

از وظایف اندازه‌شناسی مشخص است که دامنه کاربرد آن بسیار وسیع است. با این حال، این اصطلاح به‌دلیل زیربنایی بودن آن به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته و شناخته نشده باقی مانده است.

## اندازه‌شناسی

مطابق با تعریف دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها، اندازه‌شناسی، علم اندازه‌گیری است که عموم جنبه‌های تجربی و نظری اندازه‌گیری را در هر سطح از عدم قطعیت و در هر زمینه‌ای از علم و فناوری در برمی‌گیرد [۲]. اندازه‌شناسی شامل تعریف و تحقق یکاهای اندازه‌گیری، ساخت و کنترل عملکرد ابزارهای اندازه‌گیری و حفظ حقوق مصرف‌کننده می‌باشد. این علم مانند دستور زبان که برای توصیف ویژگی‌های زبان «ساده» به‌کار می‌رود، ویژگی‌های اندازه‌گیری «عادی» را توضیح می‌دهد و به سه شاخه تقسیم می‌شود.

شاخه اول «اندازه‌شناسی علمی» می‌باشد که شامل تحقق و استقرار یکاهای اندازه‌گیری، ایجاد روش‌های جدید اندازه‌گیری و انتقال قابلیت ردیابی از استانداردهای مرجع به کاربرها در جامعه است. تعریف و تحقق کمیت‌های اندازه‌گیری در دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها (BIPM) انجام می‌شود که وظیفه آن اطمینان از یکنواختی جهانی اندازه‌گیری‌ها است [۴]. تحقق یکای اندازه‌گیری، به معنی تبدیل تعریف آن به واقعیت است [۵]. به‌عنوان مثال شکل ۱ نمونه اولیه بین‌المللی کیلوگرم (IPK)، ساخته شده از آلیاژ ۹۰ درصد پلاتین و ۱۰ درصد وزنی ایریدیم به‌عنوان استاندارد اندازه‌گیری تحقق جرم در BIPM را نشان می‌دهد که اندازه‌گیری جرم هر جسم در تمام دنیا با مقایسه با این شیء مادی انجام می‌گردد [۶]. برای یکپارچه نمودن مقایسه‌های اندازه‌گیری، مقیاس‌های بین‌المللی اندازه‌گیری در عهدنامه متر پاریس در BIPM تعیین شده و به‌دنبال آن سیستم بین‌المللی یکاها (SI) تعریف شده است تا به این طریق از قابل مقایسه بودن اندازه‌گیری‌ها در هر جای جهان که انجام می‌شود، اطمینان حاصل کرد. SI شامل هفت یکای اصلی متر (طول)، کیلوگرم (جرم)، ثانیه (زمان)، آمپر (جریان)، کلونین (دما)، کاندلا (روشنایی) و مول (مقدار ماده) است. هر کدام از این یکاها که به یک کمیت فیزیکی اصلی مربوط می‌شود با عملیات دقیق آزمایشگاهی تعریف و به‌عنوان مرجع استاندارد بین‌المللی محسوب می‌شوند تا بتوان روش‌هایی را برقرار کرد که مقدار کمیت مورد اندازه‌گیری از طریق مقایسه با مرجع استاندارد بین‌المللی اندازه‌گیری شود (یکنواختی اندازه‌گیری). اگر انجام اندازه‌گیری‌ها و تبادل نتایج اندازه‌گیری مانند ترافیک باشد،

اندازه‌شناسی علمی مانند شبکه جاده‌ای است که امکان عملکرد روان و بدون ترمز را فراهم می‌کند.



شکل ۱: نمونه اولیه بین‌المللی کیلوگرم (IPK) در دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها

سومین شاخه، «اندازه‌شناسی قانونی» است که منشأ شکل‌گیری آن نیاز به اطمینان از کسب و کار منصفانه می‌باشد. اندازه‌شناسی قانونی برای رسیدگی به اعمال قانون در اندازه‌گیری وجود دارد [۴]. اگر اندازه‌شناسی علمی شبکه جاده‌ای و اندازه‌گیری جریان ترافیک باشد، اندازه‌شناسی قانونی علائم جاده، محدودیت‌های سرعت و چراغ‌های راهنمایی است که ضامن حرکت روان و ایمن و بدون ازدحام ترافیک است. هدف اصلی این بخش از اندازه‌شناسی حفظ حقوق مصرف‌کننده و اطمینان شهروندان از درستی نتایج اندازه‌گیری در معاملات تجاری است. به‌عنوان مثال در اروپا مقررات مربوط به ابزارهای اندازه‌گیری سنجش مصرف آب، گاز مصرفی، دقت ترازوها و غیره، توسط اتحادیه اروپا در حوزه اندازه‌شناسی قانونی وضع می‌شوند.

### قابلیت ردیابی اندازه‌شناختی

هدف از بنای علم اندازه‌شناسی اطمینان از پایداری اندازه‌گیری‌ها در طول زمان، قابل مقایسه بودن و قابل اطمینان بودن نتیجه یک اندازه‌گیری می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نتیجه اندازه‌گیری یک کمیت در طول زمان تغییر نکند و از یک آزمایشگاه به یک آزمایشگاه دیگر و یا از یک روش به روش دیگر، نتایج اندازه‌گیری یکسانی حاصل گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این اهداف از طریق برقراری قابلیت ردیابی اندازه‌گیری میسر می‌شود [۲].

قابلیت ردیابی، زنجیره پیوسته‌ای از کالیبره شدن‌ها که توسط آن می‌توان نتیجه اندازه‌گیری را به یک استاندارد مرجع ارتباط داد [۶]. کالیبراسیون عبارت است از مقایسه یک ابزار اندازه‌گیری با یک استاندارد مرجع معتبر، تعیین میزان خطای این ابزار نسبت به استاندارد مرجع و در صورت لزوم تنظیم یا تعمیر مجدد دستگاه. به زبانی ساده، کالیبراسیون کنترل صحت وسیله اندازه‌گیری با مرجعی تأیید شده، است [۹]. استانداردهای مرجع (یا استانداردهای کالیبراسیون) عناصر حیاتی تمام تکنیک‌های اندازه‌گیری هستند که برای تضمین کیفیت نتایج و کمی‌سازی، عموماً باید قابل‌ردیابی به استاندارد بین‌المللی یا ملی اولیه باشند. به‌عبارت دیگر اندازه‌گیری‌ها باید از طریق کالیبراسیون‌های زنجیروار از طریق مرکز ملی اندازه‌شناسی هر کشور به سیستم بین‌المللی یکاها در BIPM که بالاترین مرجع اندازه‌گیری است،

«اندازه‌شناسی صنعتی»، کاربرد اندازه‌شناسی در ساخت ابزار اندازه‌گیری و به‌کارگیری آن در جامعه، نگهداری، تضمین کیفیت این ابزار، کالیبراسیون قابل‌ردیابی و کنترل کیفیت اندازه‌گیری‌ها در تولید و سایر فرآیندهای جامعه است. اندازه‌گیری‌های درست می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی افزایش ارزش، کارایی و کیفیت محصول را دربرداشته باشد. تضمین اطمینان از نتایج اندازه‌گیری از طریق صدور گواهینامه، استانداردسازی، اعتبارسنجی و کالیبراسیون، که اغلب به‌عنوان «اندازه‌شناسی صنعتی» یا «اندازه‌شناسی کاربردی» شناخته می‌شود، میسر می‌باشد [۴]. الزامات فنی که در استاندارد IEC/ISO 17025 با عنوان «الزامات کلی برای تأیید صلاحیت آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون» داده شده در حوزه اندازه‌شناسی صنعتی به‌شمار می‌رود. در این استاندارد و استاندارد ISO 9001 (مدیریت کیفیت) کالیبراسیون دوره‌ای تجهیزات از الزامات اساسی می‌باشد [۷-۸]. فعالیت آزمایشگاه‌ها که بر طبق استانداردهای فوق‌الذکر به تأیید صلاحیت رسیده باشد (کنترل قانونی) به معنای اطمینان از درستی نتایج اندازه‌گیری آن آزمایشگاه‌ها می‌باشد. بنابراین این بخش از اندازه‌شناسی ضامن پیشرفت صنعت در سطح ملی و بین‌المللی برای تجارت جهانی در هر کشور است.



**شکل ۲:** الف) هرم زنجیره قابلیت ردیابی اندازه‌گیری‌ها؛ ب) زنجیره قابلیت ردیابی اندازه‌گیری طول. \* در این شکل منظور از بلوک سنج، جسم فلزی توپر مکعبی شکل می‌باشد که برای کالیبراسیون طول استفاده می‌شود.

در تأیید انطباق یک محصول با ویژگی‌های ذکر شده در استاندارد مربوطه، جهت ورود به بازار، نیاز به اطلاعات کافی از نتیجه اندازه‌گیری و عدم قطعیت آن دارد [۱۳]. حدود عدم قطعیت داده‌های اندازه‌گیری از دغدغه‌های هر دو گروه مترولوژیست‌ها و کاربرهای اندازه‌گیری است. در حقیقت،

قابل ردیابی باشند. قابلیت ردیابی به صورت یک هرم عمل می‌کند (شکل ۲ الف). در بالاترین سطح هرم یکاها و استانداردهای بین‌المللی تعریف می‌شود [۱۰-۱۱]. همانطور که در این هرم مشاهده می‌شود در سلسله مراتب اندازه‌شناسی سه سطح استاندارد اندازه‌گیری وجود دارد: استانداردهای اولیه، ثانویه و استانداردهای کاری. استانداردهای اولیه بالاترین کیفیت را دارند و به هیچ استاندارد دیگری ارجاع داده نمی‌شوند. استانداردهای ثانویه با ارجاع به یک استاندارد اولیه کالیبره می‌شوند. استانداردهای کاری که برای کالیبراسیون (یا بررسی) ابزار اندازه‌گیری استفاده می‌شود، با مقایسه با استانداردهای ثانویه کالیبره می‌شوند. از طریق کالیبراسیون بین مراکز ملی اندازه‌شناسی، آزمایشگاه‌های کالیبراسیون و آزمایشگاه‌های صنعت، تحقق تعریف یکا از طریق این هرم منتشر می‌شود. به‌عنوان مثال شکل ۲ (ب) زنجیره قابلیت ردیابی اندازه‌گیری طول را نشان می‌دهد [۱].

دستگاه‌های اندازه‌گیری باید به‌طور دوره‌ای کالیبره شوند. گذشت زمان، فرسودگی، حوادث غیرقابل پیش‌بینی، باعث می‌شوند تا قابلیت ردیابی نتایج آنها زیر سؤال رفته و نیازمند تأیید مجدد باشند. برای تجهیزات کالیبره شده گواهی کالیبراسیون صادر شده و ضمیمه دستگاه می‌گردد.

### عدم قطعیت اندازه‌گیری

اندازه‌گیری‌های صنعتی معمولاً شامل اندازه‌گیری پارامترهایی است که برای اطمینان از مطابقت یک محصول با ویژگی‌های استاندارد آن در نظر گرفته می‌شوند. از این رو، نیاز به اندازه‌گیری دقیق پارامترها و کنترل درستی آنها در قسمت‌های مختلف صنعتی همواره وجود دارد. از موارد مهم در کنترل کیفیت اندازه‌گیری‌ها، کمی کردن عدم قطعیت اندازه‌گیری است [۷]. عدم قطعیت اندازه‌گیری یک کمیت، پارامتری غیرمنفی است که در هر اندازه‌گیری، میزان شک و تردید در اندازه‌گیری را نشان می‌دهد [۹، ۱۲]. به‌عنوان مثال ممکن است بگوییم که طول چوبی برابر ۲۰ سانتی‌متر و عدم قطعیت آن ۱ می‌باشد. این نتیجه را می‌توان به‌صورت مقابل نوشت:  $20 \pm 1 \text{ cm}$ . این عبارت بدین معنی است طول چوب بین ۱۹ و ۲۱ سانتی‌متر خواهد بود. تنها هنگامی می‌توان به نتیجه یک اندازه‌گیری اطمینان کرد که عدم قطعیت آن اندازه‌گیری بیان شده باشد. یک تصمیم‌گیری درست

قدرت یا ضعف هر اندازه‌گیری با این پارامتر ارزیابی می‌شود. در گزارش کالیبراسیون، مقدار عدم قطعیت اغلب به‌عنوان نشانه-ای از کیفیت آزمایشگاه در نظر گرفته می‌شود و مقادیر عدم قطعیت کوچکتر ارزش بیشتر و هزینه‌های بالاتری دارند [۱۳]. گزارش عدم قطعیت همراه با نتیجه اندازه‌گیری و یا کالیبراسیون ضروری می‌باشد زیرا محدوده مقادیری را معین می‌کند که نتیجه اندازه‌گیری می‌تواند داشته باشد [۱۲].

### زیرساخت اندازه‌گیری

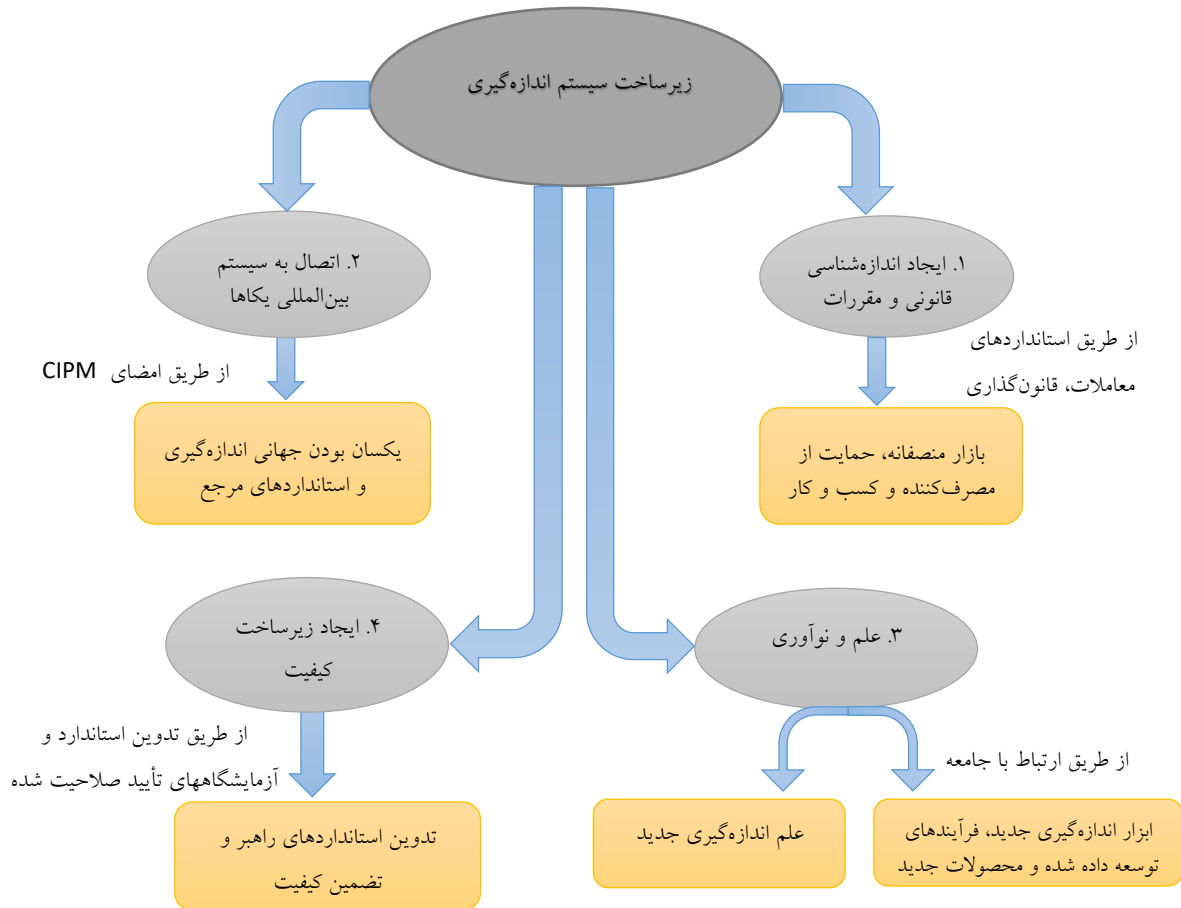
تولیدکنندگان هر کشور از طریق یک زیرساخت شناخته شده بین‌المللی که در شکل ۳ نشان داده شده است، می‌توانند محصولات خود را به دنیا عرضه کنند [۱۴-۱۵]. این زیرساخت شامل شبکه‌ای از اندازه‌شناسی علمی، آزمایشگاه‌های آزمون و کالیبراسیون، ویژگی‌های استاندارد شده، به‌کارگیری علم و فناوری، قوانین و اعتباربخشی است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. این زیرساخت، استانداردهای اندازه‌گیری را تعیین می‌کند و از دقت، سازگاری، مقایسه و قابلیت اطمینان اندازه‌گیری-های انجام شده در کشور اطمینان حاصل می‌کند [۱۶]. مهم‌ترین نقش مرکز ملی اندازه‌شناسی (NMI) در سیستم اندازه‌گیری یک کشور، برقراری اندازه‌شناسی علمی از طریق تحقق یک‌پایه و حفظ استانداردهای ملی اولیه است [۴]. این مرکز قابلیت ردیابی به استانداردهای بین‌المللی را فراهم و سلسله مراتب کالیبراسیون ملی آن را تثبیت می‌کند. مرکز اندازه‌شناسی کشور ایران، با نام «مرکز ملی اندازه‌شناسی» فعالیت می‌کند و در سازمان ملی استاندارد ایران مستقر است.

موافقت‌نامه» ترتیبات شناسایی متقابل کمیته بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها (CIPM MRA)، نقطه آغاز اتصال هر کشور به سیستم اندازه‌گیری جهانی می‌باشد و نتیجه آن برقراری قابلیت ردیابی نتایج اندازه‌گیری و کالیبراسیون در سطح کشور خواهد بود [۱۷]. اندازه‌گیری‌های کشورهای عضو CIPM MRA توسط سایر کشورهای عضو به رسمیت شناخته می‌شود و می‌توانند با ثبت قابلیت کالیبراسیون و اندازه‌گیری خود در این سازمان علاوه بر برقراری قابلیت ردیابی اندازه‌گیری‌ها، بازار جهانی برای ارائه خدمات خود پیدا کنند. BIPM، پایگاه داده مقایسه‌ای و فهرستی از قابلیت‌های کالیبراسیون و اندازه‌گیری کشورهای شرکت‌کننده در CIPM MRA را نگهداری می‌کند [۱۸].

یک آزمایشگاه اندازه‌گیری زمانی معتبر شناخته می‌شود که یک نهاد اعتباربخشی، با ارزیابی پرسنل و سیستم‌های مدیریتی آن بر اساس استانداردهای بین‌المللی مانند الزامات عمومی استاندارد ISO/IEC 17025، صلاحیت ارائه خدمات آن را تأیید کند. برای به رسمیت شناختن بین‌المللی، نهاد اعتباربخشی یک کشور نیز باید با الزامات بین‌المللی مطابقت داشته باشد که هدف نهایی آن پذیرش نتایج آزمایشگاه‌های معتبر، از جمله نتایج آزمایشگاه‌های سایر کشورها توسط صنعت و دولت است. به این ترتیب، هدف تجارت آزاد یعنی «محصولی که یک بار آزمایش شده، در همه جا پذیرفته شود»، قابل تحقق است. نهاد اعتباربخشی کشور ایران، با نام «مرکز ملی تأیید صلاحیت ایران» فعالیت می‌کند و در سازمان ملی استاندارد ایران مستقر است.

برای ایجاد زبان مشترک و وحدت جهانی باید سیستمی از استانداردهای مکتوب، معیارها، قوانین برای فهم عبارات، تشریح اطلاعات کمی و کیفی را تنظیم و تدوین کرد. از این‌رو سازمان بین‌المللی استانداردسازی (ISO) از طریق اعضای خود، کارشناسان را گرد هم آورده تا دانش را به اشتراک بگذارند و استانداردهای بین‌المللی، مبتنی بر اجماع را جهت حمایت از نوآوری و ارائه راه‌حل‌هایی برای چالش‌های جهانی، توسعه دهند. ISO یک سازمان بین‌المللی مستقل و غیردولتی برای تدوین استاندارد، با عضویت ۱۶۷ سازمان استاندارد ملی در ۱۶۷ کشور مختلف است.

ایجاد آزمایشگاه‌های ملی جامع یا مؤسسات تحقیقاتی در حوزه‌های مختلف علم و فناوری جهت پشتیبانی از انتقال فناوری به بازار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱۹]. هر کشور بایستی دارای یک پایگاه علمی برای ایجاد یک زیرساخت اندازه‌گیری باشد که با محققان برجسته و امکانات پشتیبانی شده توسط بخش‌های دولتی، مؤسسات تحقیقاتی و دانشگاه‌ها جهت تقویت ابزار اندازه‌گیری جدید، توسعه فرآیندهای اندازه‌گیری و محصولات جدید همکاری کند. به‌عنوان مثال نانومواد، محصولات جدیدی هستند که فقدان عدم قطعیت اندازه‌گیری در اکثر گزارش‌های اندازه‌گیری مشخصه‌های آنها، نیاز به تحقیق و استقرار مدل‌های جدید تخمین عدم قطعیت را آشکار می‌سازد. به‌علاوه، ویژگی‌های تجهیزات مورد استفاده در حوزه نانومقیاس به اندازه دستگاه‌های مورد استفاده در مقیاس معمولی شناخته



شکل ۳: زیرساخت سیستم اندازه‌گیری

شده نیستند. بنابراین یکی از زمینه‌های مهم تحقیق و پژوهش در دانشگاه‌ها و مؤسسات پژوهشی پرداختن به تعیین عدم قطعیت و ساخت ابزار اندازه‌گیری در صنعت فناوری نانو است.

مقالی از تجارت بین‌المللی: تجارت بین کشور هندوستان و اندونزی

یک شرکت سازنده قطعات خودرو در کشور اندونزی برای خرید استیل شرکت «آهن و استیل پوهانگ» واقع در هندوستان مدرکی جهت اثبات قابل اطمینان بودن استیل آن شرکت، تقاضا می‌کند. استیل شرکت پوهانگ توسط آزمایشگاه آزمون همان شرکت، جهت انطباق با استاندارد بررسی می‌شود. به منظور اطمینان از اعتبار نتایج اندازه‌گیری آزمایشگاه آزمون، این آزمایشگاه باید گواهی تأیید صلاحیت از یک نهاد اعتباربخشی معتبر را دارا باشد. آزمایشگاه آزمون شرکت پوهانگ گواهی تأیید صلاحیت از سازمان اعتبارسنجی آزمایشگاه کره جنوبی

### اهمیت اندازه‌گیری و نقش آن در جامعه

اقتصاد، جامعه و شهروندان هر کشور بیش از هر زمان دیگری به اندازه‌گیری درست به همراه زیرساخت ملی و بین‌المللی نیاز دارند. با توجه به اینکه «علم اندازه‌گیری» در مورد بررسی دقیق فرآیندهای اندازه‌گیری است، بدون آن نمی‌توان هر چیزی را

جریان کالاها و خدمات بین شرکای تجاری حیاتی است [۲۰]. یک سیستم اندازه‌گیری مشترک و استانداردهای کیفیت، به نفع هر دو گروه مصرف‌کننده و تولیدکننده است. تولید محصول با یک استاندارد مشترک، هزینه و ریسک مصرف‌کننده را کاهش می‌دهد و تضمین می‌کند که محصول مورد نظر، نیازهای مصرف‌کننده را برآورده می‌کند. چندین مطالعه نشان داده‌اند که افزایش استانداردهای در اندازه‌گیری تأثیر مثبتی بر تولید ناخالص داخلی دارد. در بریتانیا، حدود ۲۸.۴ درصد از رشد تولید ناخالص داخلی از سال ۱۹۲۱ تا ۲۰۱۳، نتیجه استانداردهای و اندازه‌شناسی بوده است. در کانادا بین سال‌های ۱۹۸۱ و ۲۰۰۴ حدود ۹ درصد رشد تولید ناخالص داخلی مربوط به استانداردهای بود و در آلمان سود اقتصادی سالانه استانداردهای ۰.۷۲ درصد از تولید ناخالص داخلی تخمین زده می‌شود [۲۰].

اندازه‌شناسی قانونی با بهبود کارایی و قابلیت اطمینان، مرگ‌ها و جراحات تصادفی را با وسایل اندازه‌گیری، مانند دوربین‌های کنترل سرعت و تست سنجش الکل کاهش داده است. سیاست زیست‌محیطی مبتنی بر داده‌های تحقیقاتی است و اندازه‌گیری-های دقیق برای ارزیابی تغییرات آب و هوا و مقررات زیست‌محیطی مهم هستند [۲۱]. جدای از مقررات، اندازه‌شناسی در حمایت از نوآوری نیز ضروری است. توانایی اندازه‌گیری، زیرساخت‌های فنی و ابزارهایی را فراهم می‌کند که می‌توان از آن برای نوآوری بیشتر استفاده کرد.

تاریخچه سه انقلاب صنعتی شامل انقلاب ماشین، انقلاب نیمه-رسانا و انقلاب نانو تکنولوژی نشان می‌دهد که اندازه‌شناسی کلیدی برای قدرت انطباق فناوری‌های جدید با نیازهای صنعت است. مقایسه مشخصات سه انقلاب صنعتی که تاکنون رخ داده در جدول ۳ نشان داده شده است [۲۳].

### نتیجه‌گیری

با توجه به ظهور فناوری‌های جدید در عرصه علم و مهندسی، جهان بیش از هر زمان دیگری به اندازه‌گیری «درست» برای افزایش امنیت اقتصادی، بهبود کیفیت زندگی و تسهیل تجارت جهانی نیاز دارد. منظور از اندازه‌گیری درست، اندازه‌گیری است که پایدار، مقایسه‌پذیر

به‌طور ایمن و قابل‌اعتماد کشف، طراحی، آزمایش، اثبات و یا تولید کرد. از پر کردن خودرو با بنزین گرفته تا عکس‌برداری با اشعه ایکس در بیمارستان؛ زندگی با اندازه‌گیری احاطه شده است.

نقش حیاتی اندازه‌شناسی در تولید را نمی‌توان دست کم گرفت. تضمین کیفیت در پشت فرآیندهای تولید مدرن، مدیون این علم است. اندازه‌شناسی علمی است که خطوط تولید را قادر می‌سازد هزاران قطعه یکسان از تجهیزات پیچیده تولید کنند. بدون قطعات استاندارد شده‌ای که اندازه‌شناسی امکان ایجاد آن را فراهم می‌کند، ما تولید انبوه نخواهیم داشت و جهان مکانی بسیار متفاوت خواهد بود. در تولید مدرن، هر هفته میلیون‌ها قطعه تولید می‌شود. در صنعت، از پیچ و مهره و قطعات ماشین‌کاری شده دقیق روی موتورها گرفته تا ساختارهای کوچک روی اجزای میکرو و نانو، همه به اندازه‌گیری دقیقی نیاز دارند. اکثر آنها در خطوط تولید خودکار با تعامل انسانی بسیار کم تولید می‌شوند. هر دستگاه در خط تولید قطعه خاصی را با مشخصات دقیق تولید می‌کند. بنابراین اندازه‌شناسی به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد که محصولات خود را با دقت بیشتر، سریعتر و با استانداردهای بالاتر تولید کنند. این مزایا با ارزان‌تر شدن محصولات و بالارفتن کیفیت به مصرف‌کنندگان منتقل می‌شود. همانطور که واضح است، علم اندازه‌گیری صرفاً در اختیار دانشمندان نیست. شبکه پیچیده اما نامرئی خدمات، تامین‌کنندگان و ارتباطات که همه ما به آن وابسته هستیم، برای عملکرد کارآمد و قابل اعتماد خود به اندازه‌شناسی متکی هستند. جهان برای مقابله با چالش‌های COVID-19، بهبود اقتصادی و بازگشت به رویارویی با چالش‌های بزرگ جهانی مانند تغییرات آب و هوا، دستیابی به انتشار خالص کربن صفر و پیری جمعیت، بهره‌برداری از فناوری‌های نوظهور مانند نانوفناوری، داده‌های بزرگ و دنیای دیجیتال، هوش مصنوعی، ارتباطات آینده و پزشکی به این فناوری نیاز دارد [۲].

تأثیرات اندازه‌شناسی بر تجارت و اقتصاد دو مورد از آشکارترین تأثیرات اجتماعی آن است. برای تسهیل تجارت منصفانه و دقیق بین کشورها، باید یک سیستم اندازه‌گیری مورد توافق وجود داشته باشد [۱۸]. اندازه‌گیری و تنظیم دقیق مصرف آب، سوخت، غذا و برق برای حمایت از مصرف‌کننده و ترویج

جدول ۳: مقایسه مشخصات سه انقلاب صنعتی رخ داده

انقلاب ماشين:	انقلاب نيمه‌رسانا:	انقلاب نانو تکنولوژی: ۲۰۰۰ تاکنون
۱۸۰۰-۱۹۲۰	۱۹۵۰-۲۰۱۰	نانو (1 nm = 10 <sup>-9</sup> m)
میلی (1 mm = 1000 μm)	میکرو (1 μm = 1000 nm)	بعد شاخص
اسلحه گرم، ماشين‌های دوزندگی، اتومبيل و ...	مدارهای نيمه‌رسانا	توليد انبوه
تراشکاری، قالب گيري، ريخته گري، آهنگري و ...	ليتوگرافي مسطح، لیتوگرافي سه بعدي	فرآیندها
برش دقيق، بخشهای ماشيني قابل تعويض	برش دقيق، چیدن الگوی مدارهای الكتريکی	الزامات اساسی
بلوک سنجه (1mm ~)	تداخل سنج‌های ليزری (0.1 μm ~)	استاندارد مرجع کالیبراسيون
کوليس	تصويربرداری نوری و الكترونی	مثالی از ابزار اندازه‌گیری
	تصويربرداری نوری و الكترونی، میکروسکوبی نانوتیپ	

حتی می‌توانند در زمان‌های بسیار کوتاه مانند زیپتو ثانیه (۱۰ به توان ۲۱ ثانیه) در اشیا نفوذ نمایند. لذا اداره موفق کشورها بستگی به حضور تجهیزات اندازه‌گیری دقیق و آزمایشگاه‌های ملی برای توسعه اندازه‌گیری‌های دقیق دارد.

### منابع و مؤاخذ

- [۱]. جی. ام. اس. سیلوا، مترجم: جواد آذرپرا، مبانی مترولوژی، صفحه ۱.
- [2]. R. J. C. Brown, Measuring measurement- What is metrology and why does it matter, Measurement, 168 (2021) 108408.
- [۳]. فرزین انتصاریان، گزارش طرح مطالعاتی بازنگری قانون موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، فصل پنجم، ۱۳۹۰.
- [4]. H. Czichos, Springer Handbook of Metrology and Testing, (2011) 3-22.
- [5]. "Realise". Oxford English Dictionary, Oxford University Press.
- [6]. Kilogram: Introduction, Available at: <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram>, (2019).
- [7]. ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, (2017).
- [8]. ISO 9001, Quality management systems – Requirements, (2015).
- [۹]. واژه نامه اندازه شناسی، مفاهیم پایه و عمومی و اصطلاحات مربوط، استاندارد ملی ایران به شماره ۴۷۲۳ سال ۱۳۹۰.

با دقت قابل اثبات و بیان عدم قطعیت باشد. برای اندازه‌گیری با کیفیت بالا و مورد اطمینان لازم است زیرساخت‌های مورد نیاز از جمله برقراری قابلیت ردیابی اندازه‌گیری‌ها همراه با بیان عدم قطعیت، کالیبراسيون و آزمون، تحت عنوان فعالیت‌های اندازه‌شناسی ایجاد گردند. بررسی‌ها نشان می‌دهند، شرکت در مقایسه‌های بین‌المللی قابلیت‌های اندازه‌گیری و کنترل قانونی، روش‌های آزمون معتبر، سیستم کیفیت استقرار یافته از دیگر موارد مهم زیرساخت سیستم اندازه‌گیری یک کشور به‌شمار می‌آیند. بنابراین دولت‌ها، دانشمندان، آزمایشگاه‌های ملی و صنعت با توجه به فرصت‌ها و نیازها در حوزه‌های مختلف این علم، باید روی تحقیقات، استقرار سیستم اندازه‌گیری، استانداردسازی و معرفی این علم در دانشگاه‌های کشور، تمرکز داشته باشند.

لازم به ذکر است قدرت اندازه‌گیری هر کشور بستگی به توسعه علمی آن دارد. کشورهای پیشرو در علم دارای قدرت اندازه‌گیری بسیار دقیق با ابزارهای بسیار دقیق و پیشرفته دارند که



- [17]. E. Molloy, A. Koo, B. D. Hall and R. Harding, The Statistical Power and Confidence of Some Key Comparison Analysis Methods to Correctly Identify Participant Bias, *Metrology*, (2021). 52–73,
- [18]. The BIPM key comparison database, Bureau International des Poids et Mesures, (2017).
- [۱۹]. رضا یوسفی و علی اکبر موسوی موحدی، نقش آزمایشگاه‌های ملی و مؤسسات تحقیقاتی ماموریت‌گرا در توسعه علم و فناوری، نامه علوم پایه (فرهنگستان علوم)، مجلد ۲-۳، صفحات ۹۴-۱۰۱، سال ۱۴۰۰.
- [20]. K. Robertson, Jan A. Swanepoel, The economics of metrology, Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science, (2015).
- [21]. Bruno A. Rodrigues Filho, Rodrigo F Gonçalves, Legal metrology, the economy and society: A systematic literature review, *Measurement*. 69: (2015).155–163, (2015).
- [22]. Metrology for Society's Challenges – Metrology for Environment, EURAMET.
- [23]. R. Bogue, Nanometrology: a critical discipline for the twenty-first century, *Sensor Review*, 27/3 (2007) 189–196.
- [10]. M. A. Lombardi, Traceability in Time and Frequency Metrology, NCSL Workshop & Symposium, Available at: <https://tf.nist.gov/general/pdf/1297.pdf>, (1999).
- [11]. G. M. S. de Silva, Basic Metrology for ISO 9000 Certification, Routledge publication, (2016).
- [۱۲]. تعریف عدم قطعیت، سال ۱۴۰۱، قابل مشاهده در: <http://iran-ppm.com/component/content/article>
- [۱۳]. اولین همایش ملی اندازه‌شناسی و نقش آن در توسعه ملی، سال ۱۳۸۷، عدم قطعیت اندازه‌گیری در آزمایشگاه‌های آزمون، احد محمدی لیواری، صفحه ۳۵.
- [14]. UK measurement strategy, Department for business, energy and industrial strategy, (2017).
- [15]. Guidance on UK National Measurement System Available in: <https://www.gov.uk/government/publications/national-measurement-system/uk-national-measurement-system#statutory-and-policy-obligations>, (updated 5 January 2021).
- [16]. M. Milton, Metrology at the service of the economy, society and citizens, International Bureau of Weights and Measures (2013).