

## بازتعریف سیستم بین المللی یکاها (SI)

نویسنده: احد محمدی لیواری

سرپرست مرکز ملی اندازه شناسی سازمان ملی استاندارد ایران

### چکیده

از لحاظ تاریخی، سیستم بین المللی یکاها (SI) بر اساس مجموعه ای از یکا های اصلی تعریف شده اند. تمامی یکاهای دیگر که به عنوان یکاهای فرعی توصیف می شوند، محصول این یکاهای اصلی هستند. مدل های مختلفی برای تعریف یکاهای اصلی بیان شده است: مصنوعاتی مانند نمونه اولیه بین المللی (IPK) برای یکا کیلوگرم، یک وضعیت فیزیکی خاص مانند نقطه سه گانه آب برای یکا کلونین، یک نسخه تجربی ایده آل مانند تعریفی که برای آمپر و کاندلا استفاده می شود و یا ثابت های طبیعی مانند سرعت نور در خلاء برای تعریف یکا متر.

برای استفاده عملی از این یکاها، تنها به تعریف نمی توان اکتفا کرد بلکه می بایست به شکل فیزیکی نیز تحقق یابند. در مورد یک مصنوع، تعریف و تحقق آن معادل یکدیگرند. اگرچه این مساله ساده و روشن به نظر می رسد، اما این را نیز در نظر داشته باشید که این مصنوعات همیشه در خطر از دست دادن، آسیب یا تغییر اند تحقق یکاها به طور کاملا مفهومی از تعریف آن ها جدا است تا بتوان یکا ها را به عنوان یک اصل و به طور مستقل در هر مکان و در هر زمان تحقق بخشید. علاوه بر این، سیر تحولات علمی و فناوری می تواند تحقق این یکا ها را بدون نیاز به تعریف مجدد، متحول کند. این مزایا - که به وضوح در سیر تاریخی تعریف متر دیده می شود. از یک مصنوع تا گذار به مرجع اتمی یعنی مقدار عددی ثابت سرعت نور - منجر به این تصمیم شد که تمام یکاها با استفاده از ثابت های طبیعی تعریف شوند.

انتخاب یکا های اصلی هرگز منحصر به فرد نبوده، اما در گذر زمان رشد کرد و برای کاربران SI بیشتر شناخته شد. توصیف یکاهای اصلی و فرعی در تعریف فعلی SI نیز به همین نحو می باشد، اما در نتیجه پذیرش یکا های اصلی تعریف شده، اصلاح شده است.

**کلمات کلیدی:** سیستم بین المللی یکاها (SI)، یکای اصلی، ثابت بنیادی، کیلوگرم، آمپر، کلونین، مول

### 1. مقدمه

در سال 1960، یازدهمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس ها (CGPM) به طور رسمی سیستم SI را تعریف و مورد پذیرش قرار داد و بعد از آن نیز، دائما در راستای پاسخگویی به نیازها و الزامات کاربران و همراه با پیشرفت علم و فناوری، تجدید نظر شده است. جدیدترین و قابل توجه ترین تجدید نظر در SI



از زمان تأسیس آن، به بیست و ششمین مجمع عمومی اوزان و مقیاس ها (CGPM) در آبلن ماه سال 1397 برمی گردد. این تغییرات در نهمین ویرایش نشریه SI به طور مشروح توضیح داده شده است.

SI سیستم یکپارچه ای از یکاها برای استفاده در تمام جنبه های زندگی از جمله تجارت بین المللی، تولید، بهداشت و ایمنی، حفاظت از محیط زیست و علوم پایه و مهندسی است که در پایه گذاری همه آن ها نقش اساسی دارد. سیستم کمیت ها که در واقع زیر ساخت SI به شمار می رود و معادلات مربوط به آن، همه بر اساس پدیده های طبیعی که برای همه دانشمندان و اهالی فن و مهندسان آشنا است، تعریف شده است.

بازتعریف یکاهای SI بر اساس مجموعه ای از هفت ثابت بنیادی، بنا شده است. مقادیر عددی هفت ثابت بنیادی مورد استفاده، عدم قطعیت ندارد. حفظ تداوم، تا آنجا که ممکن باشد، همیشه یکی از ویژگی های اساسی هر تغییری در سیستم بین المللی یکاها بوده است. مقادیر عددی ثابت های بنیادی به گونه ای انتخاب شده اند که هم با تعاریف پیشین مطابقت داشته و هم همگام با پیشرفت های علمی روندی رو به رشد داشته باشند.

## 2 تعاریف SI

سیستم بین المللی یکاها، SI، سیستمی است که در آن:

- فرکانس گذار فوق ظریف حالت پایه غیر اختلالی اتم سزیم 133،  $\Delta\nu_{CS}$ ، برابر است با  $9\ 192\ 631\ 770\ \text{Hz}$ ؛
  - سرعت نور در خلاء،  $c$ ، برابر است با  $299\ 792\ 458\ \text{m/s}$ ؛
  - ثابت پلانک،  $h$ ، برابر است با  $6,62607015 \times 10^{-34}\ \text{J s}$ ؛
  - بار بنیادی،  $e$ ، برابر است با  $1,602176634 \times 10^{-19}\ \text{C}$ ؛
  - ثابت بولتزمن،  $K$ ، برابر است با  $1,380649 \times 10^{-23}\ \text{J/K}$ ؛
  - ثابت آووگادرو،  $N_A$ ، برابر است با  $6,02214076 \times 10^{23}\ \text{mol}^{-1}$ ؛
  - شدت روشنایی فرکانس تابش تک فام  $540 \times 10^{12}\ \text{Hz}$  برابر است با  $683\ \text{lm/W}$ .
- که در آن هرتز، ژول، کولن، لومن و وات به ترتیب با نمادهای Hz، J، C، lm و W به یکاهای ثانیه، متر، کیلوگرم، آمپر، کلوین، مول و کاندلا با نمادهای:  $\text{C} = \text{A s}$ ،  $\text{J} = \text{m}^2\ \text{kg s}^{-2}$ ،  $\text{lm} = \text{cd m}^2\ \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$  و  $\text{W} = \text{m}^2\ \text{kg s}^{-3}$  مرتبط می شوند.

جدول شماره 1- هفت ثابت بنیادی SI و هفت یکای معادل که آن را تعریف می کند

ثابت بنیادی	نماد	مقدار عددی	یکا
فرکانس گذار فوق ظریف سزیم	$\Delta\nu_{Cs}$	9 192 631 770	Hz
سرعت نور در خلاء	C	299 792 458	m s <sup>-1</sup>
ثابت پلانک	H	$6,62607015 \times 10^{-34}$	J s
بار بنیادی	E	$1,602176634 \times 10^{-19}$	C
ثابت بولتزمن	K	$1,380649 \times 10^{-23}$	J K <sup>-1</sup>
ثابت آووگادرو	$N_A$	$6,02214076 \times 10^{23}$	mol
شدت روشنایی	$K_{cd}$	683	Lm W <sup>-1</sup>

### 3 ماهیت هفت ثابت بنیادی

ماهیت ثابت‌های بنیادی، گستره‌ای است از ثابت‌های بنیادی طبیعت تا ثابت‌های فنی. وقتی از یک ثابت برای تعریف یک یکا استفاده می‌شود، تعریف آن یکا از پدیدآوری آن جدا خواهد شد. در این صورت این امکان فراهم می‌شود که پدیدآوری عملی یکاها همگام با پیشرفت علوم و فنون به صورت‌های متفاوت، جدید و پیشرفته‌تر و بدون نیاز به تغییر تعریف، انجام پذیرد. این هفت ثابت بنیادی به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند یک مرجع بنیادین، پایدار و جهانی برای پدیدآوری عملی یکاها با کمترین عدم قطعیت باشند.

- ثابت پلانک **h** و سرعت نور در خلاء **c**: ثابت‌های بنیادین هستند که به ترتیب اثرات کوانتومی و خواص فضا-زمان را تعیین می‌کنند و همه ذرات و میدان‌ها را در تمامی مقیاس‌ها و در همه محیط‌ها تحت تاثیر قرار می‌دهند.
- بار بنیادی **e**: به قدرت اتصال نیروی الکترومغناطیسی از طریق ثابت ساختار ریز  $\alpha = e^2(2c\epsilon_0 h)$  که در آن  $\epsilon_0$  ثابت الکترونیک یا گذردهی الکتریکی خلاء می‌باشد، اشاره دارد. بعضی از نظریه‌ها تغییراتی برای  $\alpha$  در طول زمان پیش‌بینی می‌کنند. محدودیت‌های آزمایشی و تجربی برای تعیین حداکثر تغییرات احتمالی  $\alpha$  بسیار کم است و هر گونه اثری در اندازه‌گیری‌های عملی قابل پیش‌بینی را می‌توان کنار گذارد.
- ثابت بولتزمن **k**: یک فاکتور تبدیل بین مقادیر دما (با یکای کلوین) و انرژی (با یکای ژول) است که در آن مقدار عددی از مشخصات مقیاس دما (دمای یک سیستم با انرژی گرمایی، اما نه لزوماً با انرژی داخلی سیستم) به دست می‌آید. در فیزیک آماری، ثابت بولتزمن آنتروپی **S** را به تعداد  $\Omega$  حالت‌های کوانتوم- مکانیکی در دسترس ارتباط می‌دهد  $S = k \ln \Omega$ .



- **فرکانس سزیم  $\Delta v_{CS}$ :** فرکانس گذار فوق ظریف حالت پایه غیراختلالی اتم سزیم 133، که نقش یک پارامتر اتمی را دارد، ممکن است تحت تاثیر عوامل محیطی مانند میدان‌های الکترومغناطیسی قرار بگیرد. با این حال، گذارهای لایه‌های زیرین که به خوبی درک می‌شوند و پایدار نیز هستند، می‌تواند انتخاب مناسبی برای تعیین یک گذار مرجع تحت ملاحظات عملی باشند. انتخاب یک پارامتر اتمی مانند  $\Delta v_{CS}$  تعریف و پدیدآوری یکا را (مانند  $e, c, h$  یا  $k$  که تعریف و پدیدآوری را از هم جدا کرده‌اند) از هم جدا نکرده اما با این حال مرجع را مشخص می‌کند.
  - **ثابت آووگادرو  $N_A$ :** یک فاکتور تبدیل بین مقدار کمی یک ماده (با یکا مول) و کمیتی برای شمارش (با یکای 1، نماد 1) می‌باشد. بدین ترتیب آووگادرو نقش یک ثابت نسبتی مانند ثابت بولتزمن دارد.
  - **شدت روشنایی  $K_{cd}$ :** یک ثابت فنی است که یک رابطه‌ای دقیق عددی بین ویژگی‌های صرفاً فیزیکی توان تابشی که باعث تحریک چشم انسان (W) می‌شود و پاسخ فوتوبیولوژیکی تعریف شده با شار نوری حاصل از پاسخ طیفی یک ناظر استاندارد (Im) در فرکانس  $540 \times 10^{12}$  Hz، می‌باشد.
- جزئیات تعاریف جدید در ویرایش نهم بروشور سیستم بین المللی یکاها (SI) از طریق پورتال دفتر بین المللی اوزان و مقیاس ها به آدرس [www.bipm.org](http://www.bipm.org) قابل دسترسی است.

#### 4 تعاریف یکاهای SI

با آغاز بازتعریف SI جدید بر مبنای مقادیر عددی ثابت‌های بنیادی، تعاریف هر یک از هفت یکای پایه استنتاج شد که بر اساس این ثابت‌ها به شکل زیر بازتعریف می‌گردند.

#### 1-4 کیلوگرم

کیلوگرم، با نماد kg، یکای جرم در SI است. این تعریف بر اساس مقدار عددی ثابت پلانک  $h$ ، برابر با  $6,62607015 \times 10^{-34}$  بر حسب یکا J.s (که برابر با  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$  است) تعریف می‌شود که در آن متر و ثانیه برحسب  $c$  و  $\Delta v_{CS}$  تعریف شده‌اند. این تعریف رابطه دقیق Js  $h = 6,62607015 \times 10^{-34}$  را ارائه می‌دهد که با معکوس کردن آن، عبارت دقیقی برای کیلوگرم بر حسب ثابت‌های بنیادی  $h$ ،  $\Delta v_{CS}$  و  $c$  به دست می‌آید:

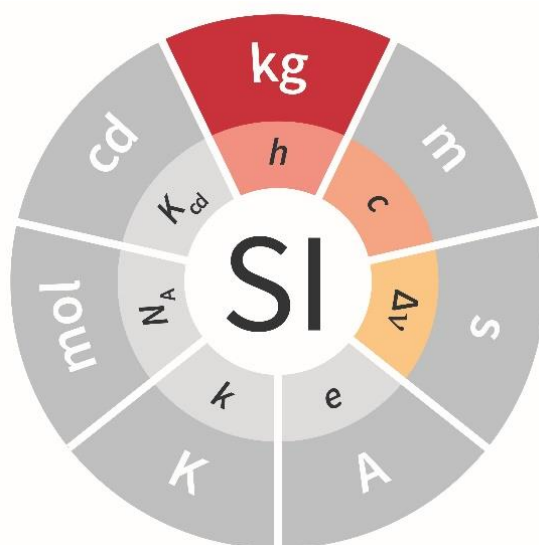
$$1\text{kg} = \left( \frac{h}{6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}} \right) m^{-2} s$$

که برابر است با:

$$1\text{kg} = \frac{(299\ 792\ 458)^2}{(6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34})(9\ 192\ 631\ 770)} \frac{h \Delta v_{CS}}{c^2} \approx 1.475\ 5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta v_{CS}}{c^2}$$

نتیجه این تعریف، به تعریف یکای  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$  (یکای کمیت‌های فیزیکی و اندازه حرکت زاویه‌ای) می‌انجامد. همراه با تعریف ثانیه و متر، تعریف یکای جرم نیز بر حسب مقدار ثابت پلانک  $h$  به دست می‌آید.

تعریف قبلی کیلوگرم، مقدار جرم نمونه اولیه بین‌المللی کیلوگرم  $m(K)$  را برابر دقیقاً یک کیلوگرم در نظر می‌گرفت و مقدار ثابت پلانک باید به صورت تجربی به دست می‌آمد. تعریف کنونی مقدار عددی  $h$  را دقیقاً تعیین می‌کند و اکنون جرم نمونه اولیه را باید به صورت تجربی معین نمود. عدد انتخاب شده برای مقدار عددی ثابت پلانک در این تعریف به گونه‌ای است که در زمان پذیرش، جرم نمونه اولیه بین‌المللی کیلوگرم  $m(K)=1$  با عدم قطعیت استاندارد نسبی  $1 \times 10^{-8}$  می‌باشد که عدم قطعیت استاندارد مرکب، بهترین برآورد عددی مقدار ثابت پلانک در آن زمان بود. باید به یاد داشت که در تعریف حاضر، پدیدآوری اولیه را اصولاً در هر نقطه از مقیاس جرمی می‌توان پدید آورد.



#### 2-4 آمپر

آمپر، با نماد  $A$ ، یکای جریان الکتریکی در SI است. این تعریف بر اساس مقدار عددی ثابت بار بنیادی،  $e$ ، برابر با  $1.602176634 \times 10^{-19}$  برحسب یکای  $C$  (که برابر با  $As$  است) تعریف می‌شود که در آن ثانیه برحسب  $\Delta v_{cs}$  تعریف شده است. این تعریف رابطه دقیق  $1A \cdot s^{-1} = 1.602176634 \times 10^{-19} e$  را ارائه می‌دهد که با معکوس کردن آن، عبارت دقیقی برای یکای آمپر برحسب ثابت‌های بنیادی  $e$  و  $\Delta v_{cs}$  به دست می‌آید:

$$1A = \left( \frac{e}{1.602176634 \times 10^{-19}} \right) s^{-1}$$

که برابر است با:

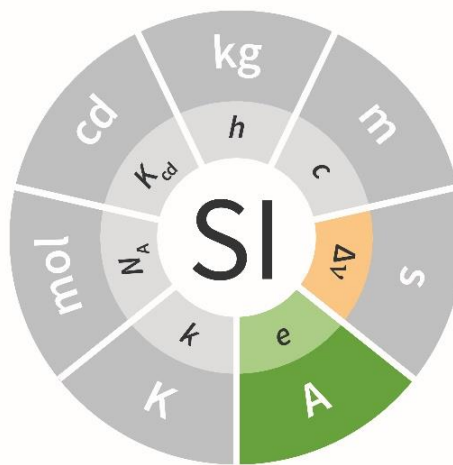
$$1A = \frac{1}{(9192631770)(1.602176634 \times 10^{-19})} \Delta v_{cs} e \approx 6.789687 \times 10^8 \Delta v_{cs} e$$

نتیجه این تعریف این است که یک آمپر، جریان الکتریکی متناظر با شار  $(1/(1.602176634 \times 10^{-19}))$  از بار بنیادی در ثانیه است. تعریف قبلی آمپر بر مبنای نیروی بین دو هادی حامل جریان بود و مقدار تراوایی مغناطیسی در خلاء،  $\mu_0$ ، (به آن ثابت مغناطیسی نیز گفته می‌شد)



شود) دقیقاً برابر با  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$  در نظر گرفته می شد که در آن  $H$  و  $N$  به ترتیب برحسب یکاهای فرعی هنری و نیوتون می باشد.

تعریف جدید آمپر به جای  $\mu_0$ ، مقدار  $e$  را ثابت در نظر می گیرد. در نتیجه  $\mu_0$  را باید به شکل تجربی به دست آورد. از آنجا که گذردهی الکتریکی در خلاء،  $\epsilon_0$ ، (که به آن ثابت الکتریکی نیز گفته می شود)، امداننس مشخصه خلاء  $Z_0$  و ادمیتانس خلاء  $Y_0$  که به ترتیب برابر با  $1/\mu_0 c$  و  $\mu_0 c$  می باشد، پس مقادیر  $\epsilon_0$ ،  $Z_0$  و  $Y_0$  باید به صورت تجربی به دست آیند و از آنجا که  $c$  دقیقاً معلوم است، تحت تاثیر همان عدم قطعیت استاندارد نسبی  $\mu_0$  قرار می گیرند. حاصل ضرب  $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$  و کسر  $Z_0/\mu_0 = c$  دقیق باقی می ماند. با پذیرش تعریف کنونی آمپر،  $\mu_0$  برابر با  $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$  و عدم قطعیتی نسبی  $2.3 \times 10^{-10}$  خواهد بود.



#### 3-4 کلونین

کلونین، با نماد  $K$ ، یکای دمای ترمودینامیکی در SI است. این تعریف بر اساس مقدار عددی ثابت بولتزمن،  $K$ ، برابر با  $649 \times 10^{-23}$   $\text{J k}^{-1}$  که برابر با  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{k}^{-1}$  است، تعریف می شود که در آن کیلوگرم، متر و ثانیه برحسب  $h$ ،  $c$  و  $\Delta v_{CS}$  تعریف شده اند. این تعریف رابطه دقیق:

$k = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{k}^{-1}$  را ارایه می دهد که با معکوس کردن آن، عبارت دقیقی برای کلونین برحسب ثابت های بنیادی  $h$ ،  $c$  و  $\Delta v_{CS}$  به دست می آید:

$$1K = \left( \frac{1.380\,649}{k} \right) \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2}$$

که برابر است با:

$$1K = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23}}{(6.626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{\Delta v_{CS} h}{K} \approx 2.226\,6653 \frac{\Delta v_{CS} h}{K}$$

نتیجه این تعریف این است که یک کلون برابر با آن میزان تغییر دمای ترمودینامیکی که منجر به تغییر در انرژی گرمایی  $kT$  به اندازه  $J$   $1.380649 \times 10^{-23}$  می شود. تعریف قبلی کلون به این صورت بود که دمای نقطه سه گانه آب  $T_{TPW}$  باید به گونه ای تنظیم می شد که دقیقاً برابر  $273,16 \text{ K}$  باشد. از آنجا که تعریف کنونی کلون مقدار عددی  $k$  را بجای  $T_{TPW}$  ثابت در نظر می گیرد، پس اکنون مقدار  $T_{TPW}$  را باید به صورت تجربی تعیین کرد. با پذیرش تعریف کنونی کلون،  $T_{TPW}$  برابر با  $273,16 \text{ K}$  با عدم قطعیت استاندارد نسبی  $3.7 \times 10^{-7}$  بر مبنای اندازه گیری های  $k$  می باشد که قبل از بازتعریف انجام شده اند.

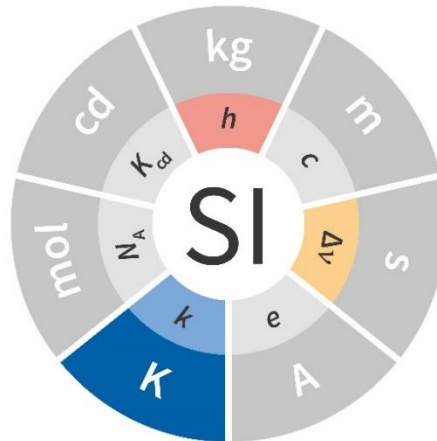
با توجه به شیوه ای که برای تعریف مقیاس های دمایی استفاده شده، بیان دمای ترمودینامیکی با نماد  $T$ ، هنوز به صورت اختلاف آن از دمای مرجع  $T_0 = 273.15 \text{ K}$  نزدیک به نقطه ذوب یخ، می باشد. این اختلاف دمایی، دمای سلسیوس (با نماد  $t$ ) نامیده می شود که توسط معادله کمیتی زیر تعریف می گردد:

$$t = T - T_0$$

یکای دمای سلسیوس، درجه سلسیوس با نماد  $^{\circ}\text{C}$  است. یک اختلاف یا بازه دما را می توان برحسب کلون یا درجه سلسیوس بیان کرد، در حالی که مقدار عددی اختلاف دما در هر دو حالت یکسان است. البته مقدار عددی دمای سلسیوس برحسب درجه سلسیوس با مقدار عددی دمای ترمودینامیکی برحسب کلون با رابطه زیر به یکدیگر مرتبط می شوند:

$$t/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$$

کلون و درجه سلسیوس هر دو یکاهای مقیاس بین المللی دما (1990) هستند که در سال 1989 در مصوبه 5، مورد پذیرش CIPM قرار گرفت. ITS-90 دو کمیت  $T_{90}$  و  $t_{90}$  را تعریف می کند که تخمین های بسیار نزدیکی به دماهای ترمودینامیکی متناظر با  $T$  و  $t$  هستند. باید به یاد داشت که با تعریف کنونی، پدیدآوری اولیه کلون را می توان اصولاً در هر نقطه ای از مقیاس دمایی محقق ساخت.



#### 4-4 مول

مول، با نماد  $\text{mol}$ ، یکای مقدار ماده در SI است. یک مول دقیقاً حاوی تعداد  $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  ذره بنیادین است. این عدد، مقدار عددی دقیق ثابت آووگادرو،  $N_A$ ، برحسب یکای  $\text{mol}^{-1}$  است که عدد آووگادرو نامیده می شود. مقدار ماده در یک سیستم، با نماد  $n$ ، معیاری از تعداد ذرات بنیادین است. یک ذره بنیادی می تواند یک اتم، یک مولکول، یک یون، یک الکترون یا هر جزء و یا گروه معینی از اجزای دیگر باشد. این تعریف رابطه دقیق  $N_A = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$  را ارائه می دهد که با معکوس کردن آن، عبارت دقیقی برای مول برحسب ثابت بنیادی  $N_A$  به دست می آید:

$$1 \text{ mol} = \left( \frac{6.022 \ 140 \ 076 \times 10^{23}}{N_A} \right)$$

نتیجه این تعریف این است که مول، مقدار ماده در یک سیستم است که حاوی تعداد  $6,022 \ 140 \ 76 \times 10^{23}$  ذرات بنیادی معین می‌باشد. تعریف قبلی مول، مقدار جرم مولی کربن 12،  $M(^{12}\text{C})$ ، را دقیقاً برابر  $0.012 \text{ kg/mol}$  تعیین نمود. مطابق تعریف کنونی  $M(^{12}\text{C})$  دیگر دقیقاً معلوم نیست و باید به صورت تجربی تعیین شود. مقدار انتخابی برای  $N_A$  به گونه‌ای است که با تعریف کنونی مول،  $M(^{12}\text{C})$  برابر با  $0.012 \text{ kg/mol}$  با عدم قطعیت نسبی  $4.5 \times 10^{-10}$  خواهد بود. جرم مولی هر اتم یا مولکول  $X$  را هنوز می‌توان از جرم اتمی نسبی آن از معادله زیر به دست آورد:

$$M(X) = A_r(X) [M(^{12}\text{C})/12] = A_r(X) M_u$$

و نیز جرم مولی هر اتم یا مولکول  $X$  را می‌توان از جرم ذره بنیادی  $m(X)$  از طریق رابطه زیر بدست آورد:

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u$$

در این معادلات  $M_u$  ثابت جرم مولی، برابر با  $M(^{12}\text{C})/12$  و  $m_u$  ثابت جرم اتمی برابر با  $m(^{12}\text{C})/12$  می‌باشد. این دو ثابت از طریق رابطه زیر به ثابت آووگادرو مرتبط می‌شوند:

$$M_u = N_A m_u$$

در عبارت «مقدار ماده» برای تعیین ماده مورد نظر در هر کاربرد خاصی کلمه «ماده» معمولاً با کلماتی مانند «مقدار هیدروژن کلراید، HCL» یا «مقدار بنزین،  $\text{C}_6\text{H}_6$ » جایگزین می‌شود. بسیار اهمیت دارد که تعریف دقیقی برای ذره مورد بحث ارائه شود (همان‌طور که در تعریف مول تاکید گردید)، این امر ترجیحاً باید با تعیین فرمول شیمیایی مولکولی ماده مورد نظر انجام گیرد. اگرچه کلمه "مقدار" معنای عمومی‌تری دارد، خلاصه عبارت کامل «مقدار ماده» را می‌توان برای اختصار به صورت «مقدار» به کار برد. این موضوع را همچنین می‌توان به کمیت‌های فرعی مانند «غلظت مقدار ماده» تعمیم داد که می‌توان آن را به سادگی «غلظت مقدار» نامید. در حوزه شیمی بالینی، نام «غلظت مقدار ماده» عموماً به صورت «غلظت ماده» خلاصه می‌شود.

## 5. نتیجه‌گیری

از مزایای بازتعریف سیستم SI می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

- تکرارپذیری تحقق یکاهای بازتعریف شده؛
- پایداری و عدم تغییر یکاهای بازتعریف شده؛
- امکان مقایسه یکاهای بازتعریف شده با یکدیگر مانند کیلوگرم؛
- بهبود پذیری روش تحقق یکاهای بازتعریف شده با توجه به پیشرفت‌های علم و فناوری

در حال حاضر عموم مردم در زندگی عادی خود اثرات این بازتعریف‌ها را احساس نخواهند کرد اما این تغییرات در فناوری‌های جدید و ساخت حسگرها و تجهیزات اندازه‌گیری جدیدتر اثرات خود را خواهد گذاشت.





1.The International System of Units(SI) ,Bureau International des Poids et Mesures,9<sup>th</sup> edition 2019

## Redefinition of international System of Units (SI)

Author: Ahad Mohammadi Livari  
Director of National Metrology Center of Iran(ISIRI-NMCI)

### ABSTRACT

The International System of Units, the SI, has been used around the world as the preferred system of units, the basic language for science, technology, industry and trade since it was established in 1960 by a resolution at the 11th meeting of the CGPM (General Conference on Weights and Measures). The definition of the SI units is established in terms of a set of seven defining constants. The complete system of units can be derived from the fixed values of these defining constants, expressed in the units of the SI. These seven defining constants are the most fundamental feature of the definition of the entire system of units. These particular constants were chosen after having been identified as being the best choice, taking into account the previous definition of the SI, which was based on seven base units, and progress in science.

**Keywords:** The International System of Units(SI), *base unit, fundamental constant, kilogram, amper, kelvin, mole*