

## پیوست (الف)

### یکاهای دستگاه بین‌المللی

می‌سازند. یکاهای هر کمیتی ترکیبی از یکاهای اصلی است که با استفاده از فرمول‌های فیزیک و هندسه، که کمیت مورد نظر را به کمیت‌های اصلی مربوط می‌کنند، به دست می‌آید. برای مثال، یکای مساحت «متر مربع» ( $m^2$ ) است؛ این یکا از دو عامل «متر» تشکیل شده است زیرا مساحت‌ها اساساً از ضرب کردن دو عامل طول به دست می‌آیند - که نمونه‌اش ضرب کردن طول و عرض در مستطیل، یا مجذور کردن شعاع در فرمول مربوط به مساحت دایره به صورت  $A_c = \pi r^2$  است.

یکاهای مربوط به کمیت‌های مختلف در تمام زمینه‌ها از قبیل الکتریسیته، گرما، مکانیک، و غیره، بخشی از این دستگاه بین‌المللی یکاها به شمار می‌روند.

برای هر نوع کمیتی فقط با یک یکا در این دستگاه سروکار داریم. درست برعکس یکاهای متعددی که مثلاً برای طول در دستگاه یکاهای رایج ایالات متحد آمریکا وجود دارند (مانند اینچ، فوت، یارد، مایل، فورلانگ، فاتوم، چین، و غیره) که با ضرایب تبدیل مختلفی به هم مرتبط می‌شوند. اگر همیشه از یکاهای SI استفاده کنیم، یکای هر کمیت محاسبه شده‌ای برای ما معلوم است (ویژگی سازگاری). مثلاً برای محاسبه‌ی کار لازم برای متراکم کردن یک گاز، فشار را (که برای سادگی ثابت فرض می‌شود) در تغییر حجم ضرب می‌کنیم. در این مورد اگر یکای فشار را اتمسفر (atm) و یکای حجم را لیتر بگیریم، یکای آشنایی برای انرژی به دست نخواهیم آورد؛ اما اگر فشار را برحسب پاسکال و حجم را برحسب متر مکعب بگیریم، کار لازم یا انرژی را برحسب ژول به دست خواهیم آورد.

سرنام SI از عبارت Le Système International d'Unités گرفته شده که در زبان فرانسه به معنی دستگاه بین‌المللی

یکها است، و گاهی آن را دستگاه متری نوین هم می‌گویند. بین‌المللی شدن دستگاه متری از پیمان‌نامه‌ای درباره‌ی متر حاصل شده است که در سال ۱۸۷۵ به امضای هفده کشور عضو رسید. دستگاه بین‌المللی SI در سال ۱۹۶۰ و اساساً به دنبال اصلاحاتی پدید آمد که در یکی از دستگاه‌های متر - کیلوگرم - ثانیه (MKS) صورت گرفت.

یکاهای اندازه‌گیری مورد قبول عموم، برقراری ارتباط و تجارت را در سطح فراملی آسان می‌کنند. دانشمندانی که نیاز به برقراری ارتباط در سطح بین‌المللی دارند، جز در مواردی خاص، همیشه یکاهای دستگاه متری را به کار می‌برند. شرکت‌های فعال در زمینه‌ی تجارت بین‌المللی نیز SI را به کار می‌برند. یکاهای رایج در برخی کشورها نیز براساس SI مشخص می‌شوند. اینچ و پوند برحسب متر و کیلوگرم تعریف می‌شوند؛ و یکاهای دیگر مانند یکاهای الکتریکی هم مستقیماً از SI گرفته شده‌اند.

### ویژگی‌های اصلی SI

یکاهای SI از بسیاری جهات واقعاً از یکاهای دیگر برترند، و بسیاری از کاربران بعد از کمی کار کردن با آن سادگی‌اش را تحسین می‌کنند.

یکاهای اصلی SI هفت یکا هستند (جدول ۱)، و تمام یکاهای دیگر به اصطلاح فرعی را هم با استفاده از آن‌ها

جدول ۱- یکای اصلی SI

نماد یکا	نام یکا	کمیت
m	متر	طول
kg	کیلوگرم	جرم
s	ثانیه	زمان
A	آمپر	جریان الکتریکی
K	کلوین	دما
mol	مول	مقدار ماده
cd	شمع	شدت درخشش

جدول ۲- پیشوندهای SI

نماد	پیشوند	عامل
Y	یوتا	$10^{24}$
Z	زتا	$10^{21}$
E	اِگزا	$10^{18}$
P	پِتا	$10^{15}$
T	ترا	$10^{12}$
G	گیگا	$10^9$
M	مگا	$10^6$
k	کیلو	$10^3$
h	هکتو	$10^2$
da	دکا	$10^1$
d	دسی	$10^{-1}$
c	سنتی	$10^{-2}$
m	میلی	$10^{-3}$
$\mu$	میکرو	$10^{-6}$
n	نانو	$10^{-9}$
p	پیکو	$10^{-12}$
f	فمتو	$10^{-15}$
a	آتو	$10^{-18}$
z	زپتو	$10^{-21}$
y	یوکتو	$10^{-24}$

اجزا و اضعاف یکاها، یکاهای معادل کوچک تر و بزرگ تر را برای کمیت مورد نظر به دست می دهند. این اجزا و اضعاف با پیشوندهایی مشخص می شوند که می توان آن ها را در کنار هر یکایی که نام خاصی داشته باشد به کار برد. این پیشوندها ضریب هایی را نشان می دهند که بین اجزا و اضعاف مورد نظر و خود یکا وجود دارند، و در نتیجه ممیز اعشاری چند رقم باید جابه جا شود.

از آن جا که پیشوندها و دستگاه معمولی اعداد هر دو ماهیت ددهمی دارند، داده های حاصل از اندازه گیری را بلافاصله می توان در محاسبات به کار برد. برای ترکیب یکاها و به دست آوردن کمیتی معین، نیازی به حذف کسره های متعارفی یا استفاده از ضرایب تبدیل مختلف نیست.

با بیان داده ها و محاسبات به شکل ددهمی به راحتی می شود دقت تقریبی اطلاعات را به کمک تعداد ارقام حاصل نمایش داد. مثلاً اگر طول میزی به صورت ۲m داده شده باشد، نمی شود فهمید که این اندازه گیری تقریبی است یا این که با دقت انجام شده است. اما اگر این طول را به صورت ۲/۰۰ m نمایش بدهیم، می شود نشان داد که اندازه گیری آن با دقت سانتی متر انجام شده است.

نکات خاص معدودی را که لازمی استفاده از SI هستند می توان در سه چهار جدول ارائه کرد، و کاربردهای متداول در تمام شاخه های علوم، فناوری، تجارت، و غیره را پوشش داد. برای کاربردهای معمولی، مواردی که در جدول های ۱ و ۲ با حروف سیاه چاپ شده اند غالباً کفایت می کنند؛ و کمتر پیش می آید که کاربران عادی به بیش از چند تا از یکاهای مندرج در جدول های ۳ و ۴ نیاز داشته باشند.

### پیشوندها

جدول ۲ فهرستی از پیشوندها، نمادهای آن ها، و معادل های توان ده این پیشوندها را نشان می دهد. بخش اعظم اجزا و اضعاف یکاها با گام  $10,000$  از یکدیگر فاصله دارند. اما برای انعطاف پذیری بیشتر در کاربردهای روزمره، پیشوندهای با گام های  $10$  را هم در نظر گرفته اند.

با استفاده از نمایش توان ده می شود از کاربرد پیشوندها اجتناب کرد. مثلاً ۲km را می توان به صورت  $2 \times 10^3 m$  نوشت. برای تبدیل به اجزا و اضعاف مختلف جابه جا کردن ممیز اعشاری کفایت می کند. خوب است توجه کنیم که با نزول به پایین جدول و حرکت به طرف مضارب کوچک تر با مقادیر عددی بزرگ تری سرو کار پیدا می کنیم که به معنی جابه جاشدن ممیز اعشاری به طرف راست عدد است، مثل مورد  $2/345 km = 2345 m$ .

پیشوند به بخشی از اجزا یا اضعاف یکای جدید تبدیل می شود، و نباید نام یا نماد آن را با فاصله یا خط تیره از یکا جدا کرد. این نکته وقتی اهمیت پیدا می کند که مثلاً یکای پیشوند داری به توان می رسد. در این مورد می توان منظور را با استفاده از پراتز روشن کرد، که نمونه ی آن چنین است.

$$5 cm^2 = 5 (cm)^2 = 5 (10^{-2} m)^2 = 5 \times 10^{-4} m^2$$

موقع جاگذاری داده ها در معادله ممکن است با پیشوندها و عامل های توان ده متعددی روبه رو بشویم. معمولاً باید تمام این قبیل عوامل را ترکیب کنیم و نتیجه ی نهایی را به صورت یک عامل توان ده یا یک پیشوند تنها بنویسیم. برای مثال، برای محاسبه ی نیروی گرانشی میان دو کره ی سربی به جرم های  $M = 4 kg$  و  $m = 9 g$  که مرکزهاشان به فاصله ی  $d = 7 cm$  از هم باشند ممکن است به صورت معادلات زیر عمل کنیم، که در این جا مقدار ثابت گرانشی برابر با  $G = 6/7 \times 10^{-11} m^3 / (kg.s^2)$  است :

$$F = \frac{G.M.m}{d^2} = \frac{6/7 \times 10^{-11} m^3}{kg.s^2} \times \frac{4/0 kg \times 9/0 g}{(7cm)^2}$$

با ضرب کردن این معادله در ضرب های تبدیل  $1 kg / 10^3 g$  و  $(10^2 cm / m)^2$  خواهیم داشت.

$$F = \frac{6/7 \times 4/0 \times 9/0 \times 10^{-11} m.kg}{49s^2} = 4/9 \times 10^{-11} N = 0/49 nN$$

به منظور استفاده از یکاهایی که قبلاً در دستگاه های متری قدیمی تر به کار می رفتند، یکای کیلوگرم را به رغم پیشوندی که هنوز هم در آن دیده می شود، به عنوان یکای اصلی انتخاب کردند. پیشوندها را معمولاً با یکاهای اصلی به کار می برند، ولی در مورد یکای جرم، پیشوندها را در کنار «گرم» به کار می برند که نمونه اش میلی گرم (mg) است. هر وقت که در محاسبه ای پیشوندها و توان های ده متعدد را، مانند مثال قبلی، در هم ادغام می کنیم باید یکاهای جرم را به «کیلوگرم» تبدیل کنیم.

### نام گذاری یکاهای خاص

جدول ۳ فهرستی از تمام یکاهای فرعی و نام های خاص شان را نشان می دهد. معادل هایی را هم که برای این یکاها بر حسب یکاهای فرعی دیگر یا یکاهای اصلی بیان شده اند، می توان به کار گرفت. چنین کاری معمولاً وقتی ضرورت پیدا می کند که بخواهیم یکاها را حذف یا ترکیب کنیم.

در بعضی موارد، این نام ها خیلی به درد می خوردند. وقتی پیشوندها را به کار می بریم، نام ها از عبارت هایی که بر حسب یکاهای اصلی هستند ساده ترند. در مواردی که با یکاهای مربوط به رشته های مختلف روبه رو می شویم و در مواقعی که ارتباط با یکاهای اصلی مهم نیست، نام ها را ترجیح می دهیم. بعضی از نام ها ریشه دار و قدیمی اند، و بقیه نام هایی هستند که جای یکاهای منسوخ را گرفته اند.

ژول (J) یکای انرژی است، و در بسیاری از رشته ها کاربرد دارد. ژول را برای متمایز سازی یکای انرژی از یکای گشتاور نیرو نیز به کار می برند، چون هر دو را بر حسب  $N.m$  یا  $m^2.kg.s^{-2}$  می سنجند.

هرتز (Hz) یکای بسامد فرایندهای دوره ای است. وقتی لازم باشد که پیشوند به کار ببریم، این نام را از عنوان معادلش که «دور در ثانیه» است، بهتر درک می کنیم (مثل یک مگاهرتز که معادل یک دور در هر میکروثانیه است).

بکرل (Bq) هم یکای عکس زمان دیگری است. این یکا فعالیت پرتوزایی را می سنجد که برابر با تعداد «واپاشی در ثانیه» در مواد پرتوزاست.

جدول ۳- یکای فرعی SI با نام های خاص شان

کمیت	نام	نماد	معادل برحسب یکاهای اصلی SI	بعضی معادل ها برحسب سایر یکاهای SI
نیرو	نیوتون	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$	
انرژی، کار، گرما	ژول	J	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$	N.m
توان	وات	W	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$	J/s
فشار، تنش	پاسکال	Pa	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$	$N/m^2$
بسامد (دوره ای)	هرتز	Hz	1/s	
فعالیت (آهنگ واپاشی در پرتوزایی)	بکرل	Bq	1/s	
دُز جذب شده	گری	Gy	$m^2 \cdot s^{-2}$	J/kg
دُز معادل	سیورت	Sv	$m^2 \cdot s^{-2}$	J/kg
بار الکتریکی	کولن	C	s.A	W/A, J/C
پتانسیل الکتریکی	ولت	V	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	V/A
مقاومت الکتریکی	اهم	$\Omega$	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	A/V, $\Omega^{-1}$
رسانایی الکتریکی	زیمنس	S	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^2 \cdot A^2$	C/V
ظرفیت	فاراد	F	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$	Wb/A
القابوری	هانری	H	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	V.s
شار مغناطیسی	وبر	Wb	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	Wb/m <sup>2</sup> , N.m <sup>-1</sup> .A <sup>-1</sup>
چگالی شار مغناطیسی	تسلا	T	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	
زاویه ی مسطحه	رادیان	rad	m/m=1	
زاویه ی فضایی	استرادیان	sr	$m^2/m^2=1$	
شار درخششی	لومن	lm	cd.sr	lm/m <sup>2</sup>
چگالی شار درخششی	لوکس	lx	$m^{-2} \cdot cd \cdot sr$	
دمای سلسیوس	درجه ی سلسیوس	°C	K	

برای دو یکای پرتوشناختی دیگر، یعنی یکای دُز جذب شده یا گری (Gy) و یکای دُز معادل یا سیورت (Sv)، به دلیل مسائل ایمنی نام‌های خاصی در نظر گرفته شده است. این نام‌ها را به منظور متمایزسازی این کمیت‌ها باید به جای J/kg، که انرژی جذب‌شونده از تابش یوننده در هر کیلوگرم از ماده‌ی تحت تابش است. به کار ببریم. اثر زیست‌شناختی تابش هم به مقدار انرژی‌ای که تابش از خود بر جای می‌گذارد بستگی دارد، و هم به نوع تابش و انرژی فوتون‌ها یا ذرات دیگری که گسیل می‌شوند. دز معادلی که (برحسب سیورت) در یک رویداد تابش‌گیری معلوم دریافت می‌شود، از ضرب کردن مقدار دز (برحسب گری) در یک عامل کیفیت به دست می‌آید که (به آن اثرگذاری نسبی زیست‌شناختی هم می‌گویند و) دارای مقادیری از ۱ تا ۲۰ است.

بسیاری از یکاهای الکتریکی و مغناطیسی نام‌های خاصی دارند که پیش از به وجود آمدن SI کاربرد داشته‌اند. همان‌طور که در جدول ۳ هم می‌توان دید، رابطه‌ی این یکاها با سایر یکاهای الکتریکی و مغناطیسی آشکارتر و خیلی وقت‌ها هم مهم‌تر از رابطه‌ای است که آن‌ها با یکاهای اصلی دارند.

رادیان و استرادیان، به ترتیب، یکاهای زاویه‌ی مسطحه و زاویه‌ی فضایی‌اند. این یکاها را گاهی متفاوت با بقیه تلقی می‌کنند. خصوصیت آن‌ها این است که بیان‌شان برحسب یکاهای اصلی برابر با «یک» می‌شود ( $m^2/m^2=1$  و  $m/m=1$ ). یکاهای اخیر را می‌شود هر جا که به روشن‌تر کردن موضوع کمک می‌کنند به کار برد، و مواقعی که ضرورتی نداشته باشد کنار گذاشت. در تمام مواردی که کمیت مورد نظر شامل زاویه با تعریف متداول آن است، این یکاها را باید صریحاً به کار برد. نمونه‌های این موارد عبارت‌اند از: زاویه (rad)، سرعت زاویه‌ای (rad/s)، شتاب زاویه‌ای ( $rad/s^2$ )، ثابت پیچش (N.m/rad)، و چند کمیت وابسته به تابش مثل شدت تابندگی (W/sr).

## سفرارش‌ها و قاعده‌های نگارش

در نوشتن یکاهای ترکیبی که با ضرب و تقسیم نمادها همراه است، باید دقیقاً معلوم کنیم که چه عملی مورد نظر است و مشخص کنیم که هر کدام از نمادها نماینده‌ی یک یکا است یا

این که پیشوندی را نشان می‌دهد. برای این منظور، در عملیات ریاضی می‌توان علامت‌های ضرب و تقسیم را به کار برد، از پراتنز استفاده کرد، یا این که توان‌های مثبت و منفی را به کار گرفت.

هر چند که بین نمادها می‌توان علامت ضرب را حذف کرد و به جای آن فاصله گذاشت، یا حتی فاصله هم نگذاشت، اما معمولاً توصیه می‌شود که از نقطه‌ی وسط (یا نقطه‌ی ضرب) استفاده شود. مثلاً، با توجه به این که m می‌تواند نماینده‌ی پیشوند میلی یا نماینده‌ی یکای متر باشد، بهتر است که به جای نوشتن m N بنویسیم m.N یا Nm، چون این احتمال هست که فاصله دیده نشود و این یکای ترکیبی به غلط mN (میلی نیوتون) برداشت بشود.

بعد از خط مایل (علامت تقسیم) نباید علامت‌های ضرب و تقسیم و مخصوصاً علامت تقسیم را به کار ببریم، مگر این که پراتنرها تکلیف عملیات را روشن کنند. برای مثال، باید بنویسیم (m/s)/s یا  $m/s^2$  و نه m/s/s. درست است که بعضی‌ها  $kg/ms^2$  را مجاز می‌دانند اما بهتر است  $kg/(ms^2)$  یا  $m^{-1}.kg.s^{-2}$  یا  $N/m^2$  یا Pa را به کار ببریم.

هیچ وقت نباید دو پیشوند را با هم برای یکای واحدی به کار ببریم. مثلاً، به جای nm (نانومتر) نباید بنویسیم mmμm (میلی میکرومتر).

پیشوندها را نباید بدون یکا به کار ببریم؛ یعنی نباید بنویسیم ۱K یا ۱ Kilo و آن‌را به جای ۱Kg به کار ببریم، و همچنین به جای  $1/\mu s = 1MHz$  نباید بنویسیم M/s. پیشوندها را نباید همراه با یکاهای فرعی ترکیبی به کار ببریم؛ مثلاً،  $1mN = 10^{-3}m.kg/s^2$  را نباید به صورت  $m(m.kg/s^2)$  نوشت.

تعداد دیگری از قواعد و سفارش‌های مربوط به استفاده‌ی صحیح از یکاهای اندازه‌گیری از این قرارند:

- نمادهای مربوط به پیشوندها و یکاها را باید با حروف عادی و غیرایتالیک نوشت، و هیچ چیز دیگری نباید به آن‌ها افزود.
- همه‌ی نمادها را فقط به همان شکل حروف کوچک یا بزرگ تصویب شده، به صورتی که در جدول‌های ۱ تا ۴ نشان داده شده است، باید به کار برد.
- برای جداسازی اعدادی که در هر یک از دو طرف ممیز

## یکاهای خارج از دستگاه بین‌المللی

چند یکای تعریف نشده در دستگاه بین‌المللی را هم رسماً در این دستگاه به کار می‌برند (جدول ۴). البته استفاده از این یکاها به بعضی از مزایای SI، مانند ویژگی سازگاری و وجود یکای منحصر به فرد برای هر کمیت، آسیب می‌رساند. یکاهایی هم هستند که فقط بعضی وقت‌ها با SI به کار می‌روند، اما کاربردشان ضرورتی ندارد، چون یکاهای SI را می‌توان به جای آن‌ها به کار برد.

اعشاری بیش از چهار رقم دارند، می‌توان نیم‌فاصله به کار برد و آن‌ها را سه رقم سه جدا کرد.

● اگر فقط ارقام اعشاری داشته باشیم باید قبل از ممیز یک صفر گذاشت (مثل  $454 \text{ kg} / 0$ ).

● بین مقدار عددی کمیت و نماد یکای آن، جز در مورد زاویه‌های مسطحه (مثل  $1^\circ / 4' = 1^\circ 24'$ )، باید فاصله گذاشت.

● املا و تلفظ نمادها در کشورهای مختلف یکی نیست، ولی تعریف‌شان در تمام دنیا یکی است.

جدول ۴— یکاهایی که در SI هم به کار می‌روند.

مقدار معادل برحسب یکاهای SI	نماد یکا	نام یکا	کمیت
$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$	min	دقیقه	زمان
$1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$	h	ساعت	
$1 \text{ d} = 86400 \text{ s}$	d	روز	
$1^\circ = (\pi / 180) \text{ rad}$ $1' = [x / (180 \times 60)] \text{ rad}$ $1'' = [x / (180 \times 60 \times 60)] \text{ rad}$	° ' "	درجه دقیقه ثانیه	زاویه‌ی مسطحه
$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$	L	لیتر	حجم
$1 \text{ t} = 1000 \text{ kg}$	t	تن	جرم
$1 \text{ eV} \approx 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}$	eV	الکترون ولت	انرژی (اتمی)
$1 \text{ u} \approx 1.660 \times 10^{-27} \text{ kg}$	u	یکانی جرم اتمی	جرم (اتمی)

کردند که نور در خلأ در مدت زمان مشخصی می‌پیماید. این مدت زمان طوری انتخاب شد که متر جدید به طولی که قبلاً تعریف شده بود تا حد ممکن نزدیک باشد؛ به این ترتیب، نیازی به تصحیح اندازه‌گیری‌های قبلی نیست.

کیلوگرم را به صورت جرم پیش نمونه‌ی کیلوگرم که در سور فرانسه نگه‌داری می‌شود، تعریف می‌کنند. این تنها یکای اصلی باقی مانده است که هنوز برحسب فرایندهای فیزیکی تعریف نشده است.

ثانیه را به صورت مدت زمان متناظر با تعداد مشخصی از دوره‌های تابش مربوط به گذاری خاص در اتم‌های سزیم  $133$

## توضیحاتی درباره‌ی یکاهای اصلی

به ندرت پیش می‌آید که کاربران SI بخواهند از تعریف یکاهای اصلی (جدول ۱) سر در بیاورند؛ آن‌ها به جای این خواسته، معمولاً به سنجش ابزارهای مدرج شده اتکا می‌کنند.

علی‌الاصول، تعریف بعضی از یکاهای اصلی به ظاهر ساده است، اما استفاده‌ی مستقیم از آن‌ها در عملیات آزمایشگاهی کار فوق‌العاده پیچیده‌ای است. معمولاً در عمل برای مدرج کردن ابزارها از آزمایش‌های ساده‌تری استفاده می‌شود، اصلاحات و تصحیح‌های نظری و تجربی هم انجام می‌شوند.

متر را در سال ۱۹۸۳ به صورت طول مسیری تعریف

تعریف می‌کنند. ساعت‌های اتمی از حرکت زمین، که مبنای اولیه‌ی تعریف ثانیه بود، هماهنگ‌ترند. به منظور هماهنگ‌سازی این دو شیوه‌ی زمان‌سنجی، به هنگام لزوم دوبار در هر سال، چند ثانیه‌ای به سال نجومی اضافه یا از آن کم می‌کنند.

آمپر را برحسب نیروهای مغناطیسی بین جریان‌های موازی تعریف می‌کنند، و بدین‌سان این امکان فراهم می‌شود که تمام یکاهای الکتریکی و مغناطیسی به صورت بخشی از این دستگاه درآیند.

کلوین یا مقیاس «دمای ترمودینامیکی» را با این رابطه تعریف می‌کنند که نسبت دماهایی که یک ماشین گرمای ایده‌آل (با چرخه‌ی کارنو) بین آن‌ها کار می‌کند برابر است با نسبت مقدار گرمای ورودی به مقدار گرمای خروجی. برای تکمیل این تعریف، یک مقدار دما را باید مشخص کرد. دمای نقطه‌ی سه‌گانه‌ی آب را  $T_T = 273.16 \text{ K}$  در نظر گرفته‌اند. به این ترتیب، مقیاس صفر مطلق هم مشخص می‌شود که با صفر مطلق مربوط به قانون گازهای ایده‌آل مطابقت می‌کند. صفر مقیاس سلسیوس را به صورت دمای  $273.15 \text{ K}$  تعریف می‌کنند. با این تعریف‌ها نقطه‌ی انجماد آب و نقطه‌ی جوش آب در فشار  $101.325 \text{ kPa}$ ، به ترتیب، تقریباً برابر  $0^\circ \text{C}$  و  $100^\circ \text{C}$  می‌شود. فاصله‌ی دمایی  $1 \text{ K}$  با  $1^\circ \text{C}$  یکی است. هم دماها و هم فاصله‌های دمایی را برحسب کلوین (K) یا درجه‌ی سلسیوس ( $^\circ \text{C}$ ) اندازه می‌گیرند.

مول یکای اصلی «مقدار ماده» است. این یکا وسیله‌ای

برای اندازه‌گیری مقدار «ماده» (اتم‌ها، یا مولکول‌ها، یا الکترون‌ها، و غیره) برحسب تعداد ذرات موردنظر است. یک مول از هر ماده برابر با مقداری از آن ماده است که تعداد ذراتش برابر با تعداد ذرات موجود در  $12 \text{ kg}$  از کربن  $^{12}\text{C}$  است. این عدد که به عدد آووگادرو  $N_A$  معروف شده است، تقریباً برابر با  $6.022137 \times 10^{23}$  ذره بر مول به دست آمده است.

شمع را برحسب چشمه‌ی نور تکفامی با طول موج مشخص و با توان تابش مشخص در هر استرادیان تعریف می‌کنند. برای اندازه‌گیری چشمه‌های با رنگ‌های مختلف باید به منحنی‌های حساسیت طیفی متوسطی که برای تطابق چشم انسان با تاریکی و روشنایی پذیرفته شده است، مراجعه کرد.

### نتیجه‌گیری

تقاضای روزافزون برای دقت‌های بیشتر و امکاناتی که پیشرفت فناوری برای این منظور فراهم می‌کند، یا رهیافت‌های سازگارتری که پیشرفت‌های نوین علم اندازه‌گیری به ارمغان می‌آورند، باعث می‌شوند که یکاهای دستگاه بین‌المللی به‌طور مداوم در دست اصلاح و بازنگری باشند. آخرین گزارش‌های رسمی وضعیت SI را می‌توان در کتابچه‌ای که توسط کمیته‌های بین‌المللی دستگاه متری منتشر و مکرراً روزآمد می‌شود، پیدا کرد.

# پیوست (ب)

## آنگستروم

آنگستروم (A یا Å؛  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ) یکایی است که طیف‌شناسان آن را با سابقه‌ی تاریخی برای اندازه‌گیری طول موج تابش واقع در گستره‌ی مرئی و نزدیک به آن به کار می‌برند. این یکا به افتخار فیزیکدان سوئدی، آندرس یوناس آنگستروم، نام‌گذاری شده و فعلاً همراه با SI برای استفاده پذیرفته شده است.

## اتم‌سفر

اتم‌سفر استاندارد، یکای قدیمی فشار است. این یکا تقریباً همان فشار متوسط جو در سطح دریاست. این یکا بنا به تعریف برابر است با  $1\text{atm} = 101325\text{kPa}$  که آن را به صورت  $760\text{mmHg}$  یا  $760\text{tor}$  هم بیان می‌کنند. این همان مقداری است که در «فشار و دمای استاندارد یا متعارف» به عنوان مرجع پذیرفته شده است.

## ارگ

ارگ ( $1\text{erg} \equiv 1\text{cm}^2 \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-2} \equiv 1\text{dyn} \cdot \text{cm} \equiv 10^{-7}\text{J}$ ) یکای انرژی در دستگاه قدیمی شده‌ی CGS است.

## اسب بخار

اسب بخار (hp) یکایی است که در تعدادی از دستگاه‌های قدیمی اندازه‌گیری توان به کار برده می‌شود. اغلب مقادیر اسب بخار در حدود مقدار مربوط به اسب بخار «الکتریکی» اند، که بنا به تعریف عبارت است از  $1\text{hp}_{\text{el}} = 746\text{W}$ .

## استرادیان

استرادیان (sr) یکای اندازه‌گیری زاویه‌ی فضایی در دستگاه بین‌المللی است. زاویه‌ی فضایی را می‌توانیم با یک نسبت توصیف کنیم و بگوییم که زاویه‌ی فضایی برابر است با نسبت مساحت ناحیه‌ای از سطح یک کره، که متقابل باشد با زاویه‌ی موردنظر واقع در مرکز آن کره، به مساحت سطحی که با مجذور شعاع کره مشخص می‌شود: (مجذور شعاع) / (مساحت روی کره) = (زاویه‌ی فضایی).

زاویه‌ای فضایی که برای آن این دو مساحت یکی باشند، مقدارش  $1\text{sr}$  است. هنگامی که آن را برحسب یکاهای اصلی بیان کنیم، داریم  $1\text{sr} = 1\text{m}^2 / \text{m}^2 = 1$ . برای نمونه، زاویه‌ی فضایی یک کره‌ی کامل برابر  $4\pi\text{sr}$  است. یکای «استرادیان» را در مواردی برای روشن‌تر کردن موضوع باید به کار برد، و در غیر این صورت باید آن را حذف کرد. برای مثال، کاربرد این یکا برای تمایز میان دو یکای دستگاه SI، شمع (cd) به عنوان یکای شدت درخشش و لومن (lm) به عنوان یکای شار درخشش، می‌تواند کمک کند:  $1\text{lm} = 1\text{cd} \cdot \text{sr}$ . هر چشمه‌ی نور شدت درخشش خاصی خواهد داشت، اما این چشمه می‌تواند فقط در بعضی جهت‌ها تابش داشته باشد. در این صورت، شار برابر با حاصل ضرب شدت در زاویه‌ای فضایی است که چشمه در آن تابش می‌کند.

## اسلاگ

اسلاگ یکای جرم در دستگاه یکاهای «گرانشی» (یا

دستگاه مهندسی) است. این یکا را به خاطر اجتناب از نیاز به ثابت‌های عددی خاص در معادله‌ها (مثلاً قانون نیوتون  $F = ma$ ) معرفی کردند. از آن‌جا که پاوند - نیرو به پاوند - جرم شتابی حدود  $g = 32 \text{ ft/s}^2$  می‌دهد، یکای جرم باید طوری انتخاب می‌شد که  $g$  برابر پاوند - جرم باشد تا آن که بر اثر یک نیروی ۱-lbf شتاب حرکتش برابر  $1 \text{ ft/s}^2$  شود. بنابراین، داریم  $1 \text{ slug} \approx 32 \text{ lbfm}$ . با استفاده از مقدار استاندارد  $g$  و تعریف پاوند - جرم، نتیجه می‌شود  $1 \text{ slug} = 14 / 5939 \text{ kg}$ .

## بار

بار ( $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ kPa}$ ) یکای فشاری است که فقط به طور موقت برای استفاده همراه با دستگاه SI پذیرفته شده است. مقدار یکا در حدود همان اتمسفر استاندارد است، اما تبدیل آن به یکای SI راحت‌تر است. به جای میلی‌بار مستقیماً می‌توان هکتوپاسکال را به کار برد.

## پاسکال

پاسکال (Pa) را، که یکای فشار در دستگاه SI است، می‌توان برحسب یکاهای اصلی یا به صورتی بیان کرد که ارتباط آن با نیرو را بهتر نشان بدهد:  $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2} = 1 \text{ kg.s}^{-2} \text{ m}^{-2}$ . این یکا، که آن را برای اشکال دیگر تنش هم به کار می‌برند، به افتخار فیزیکدان فرانسوی بلز پاسکال نام‌گذاری شده است.

## پاوند

نام «پاوند» (lb) را هم برای یکای جرم و هم برای یکای نیرو به کار می‌برند. با توجه به استفاده از استانداردهای فیزیکی و مطرح نبودن هیچ محل خاصی، و از آن‌جا که این یکا را در تجارت به کار می‌برده‌اند، می‌شود فرض کرد که این واژه به لحاظ سابقه‌ی تاریخی به عنوان یکایی برای جرم معرفی شده بود. برای جلوگیری از درک غلط این یکا باید آن را پوند - جرم (lbfm) نامید. در ایالات متحده آمریکا، پاوند در سال ۱۸۹۳ مجدداً برحسب کیلوگرم تعریف شد. مقدار فعلی این کمیت برابر است

با  $1 \text{ lbfm} \equiv 0.45359237 \text{ kg}$ . در زبان معمولی، این واژه را اغلب به عنوان یکای نیرو به کار می‌برند (یعنی نیرویی که برای نگه‌داری جسمی به جرم ۱ lbfm در روی زمین باید به آن وارد شود). موقع استفاده از این یکا به این معنی، برای وضوح بیشتر باید آن را پاوند - نیرو (lbf) نامید. بیش‌تر وقت‌ها این شاخص‌ها حذف می‌شوند، که در این صورت کار تشخیص جرم از نیرو و وزن هم مشکل می‌شود. از آن‌جا که نیروی لازم برای نگه‌داری هر جسم به اندازه‌ی شتاب گرانی در محل مورد نظر بستگی دارد، دستگاه یکایی را که این یکای نیرو در آن به عنوان یکای اصلی به کار می‌رود، دستگاه گرانشی نامیده‌اند. چون یکایی که از محلی به محلی دیگر تغییر می‌کند مورد قبول واقع نمی‌شود، با استفاده از مقدار استاندارد شتاب گرانی ( $g_s = 9.80665 \text{ m/s}^2$ ) برای این یکای نیرو مقدار ثابتی به دست آورده‌اند که عبارت است از  $1 \text{ lbf} \equiv 4.4482216152605 \text{ N}$ .

## توان

توان آهنگ زمانی (۱) انجام کار، (۲) انتقال انرژی، یا (۳) تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر است.

## تور

تور ( $1 \text{ Torr} = 133.3224 \text{ Pa}$ ) یکای قدیمی فشار است که به افتخار فیزیکدان ایتالیایی، اوانجلیستا تورچلی، نام‌گذاری شده است. تور نامی است که به فشار متناظر با هر میلی‌متر جیوه (mmHg) در دمای متعارف ( $0^\circ \text{C}$ ) یا  $1/760$  اتمسفر استاندارد داده شده است.

## ثابت نیرو

ثابت نیرو، که ثابت فنر هم نامیده می‌شود، بیانگر میزان سفتی فنر است. این کمیت نیروی لازم برای افزایش یا کاهش طول واحد در حالت کشیدگی یا فشردگی است، و از تقسیم نیروی وارد بر فنر بر تغییر طول حاصل در فنر به دست می‌آید. یکای SI آن نیوتون بر متر (N/m) است.

## ثانیه

قیاس با بار و میدان الکتریکی در دستگاه یکاهای الکتروستاتیکی پیش گفته) تعریف کردند و سپس یکای جریان الکتریکی را جریانی در نظر گرفتند که چنین میدان مغناطیسی ای را، مثلاً، در مرکز حلقه‌ای به شعاع ۱cm تولید می‌کند. این یکاها را یکاهای الکترومغناطیسی (emu) نامیدند و با پیشوند «آب» به کار می‌بردند (مثل آب آمپر و آب ولت).

ترکیبی از این یکاهای الکتروستاتیکی و الکترومغناطیسی CGS را که به یکاهای گاوسی معروف‌اند، به خاطر تقارن یکاهای الکتریکی و مغناطیسی، هنوز هم در محاسبات نظری الکترومغناطیس به کار می‌برند. تفاوت این دو دستگاه یکاها، موجب می‌شود که برای معادله‌های الکترومغناطیسی ضریب‌های مختلف c به دست آید، که در آن‌ها c همان سرعت نور است.

در تبدیل یکاهای الکتریکی دستگاه‌های مختلف CGS و یکاهای SI، باید این مقادیر مختلف را در نظر گرفت و به این هم توجه داشت که گاهی این یکاها در دستگاه‌های مختلف ابعاد متفاوتی دارند. از آن‌جا که اندازه‌ی یکاهای الکترومغناطیسی نامناسب به نظر می‌رسیدند، یکاهای «عملی» را با استفاده از آمپر به عنوان یکای جریان، برابر با ۱/۱۰ آب آمپر، تعریف کردند.

وقتی که معلوم شد یکاهای الکتریکی عملی را می‌شود به راحتی در دستگاه یکاهای اندازه‌گیری گنجانند، همان‌طور که برای نمونه در معادله‌ی  $W = (IA) \times (V)$  می‌بینیم، دستگاه یکاهای مکانیکی MKS که مبتنی بر متر و کیلوگرم و ثانیه است، به‌طور گسترده رایج شد.

در میان دستگاه‌های الکتریکی مختلف نسخه‌های به اصطلاح گویا شده‌ای هست که در آن‌ها معادله‌های معرفت کمیته‌ها در عبارت‌شان یک ضریب  $4\pi$  دارند که ممکن است در ساده‌ترین صورت این معادله ظاهر نشود، ولی وجود آن به خاطر پیکربندی هندسی (مثلاً در قانون کولن که سروکارش با بارهای نقطه‌ای با تقارن کروی است) قابل قبول به نظر می‌رسد. این امر در موارد زیادی که ظهور  $\pi$  می‌تواند عجیب به نظر برسد، مثل مورد ظرفیت خازن صفحه موازی، به معادله‌های ساده‌تری می‌انجامد. این البته تأثیر چندانی بر یکاها نمی‌گذارد، زیرا تغییر معادله‌ها از طریق اصلاح دو مقدار ثابت (یعنی ثابت‌های گذرده‌ی

ثانیه (با نماد s در SI و sec که غالباً در دستگاه‌های دیگر به کار می‌رود) یکای اندازه‌گیری زمان در تمام دستگاه‌های اندازه‌گیری علمی است. ثانیه مدت زمان معادل  $9192631770$  دوره‌ی تناوب تابش مربوط به گذار میان دو تراز فوق ریز حالت پایه اتم سزیوم ۱۳۳ است.

## دستگاه‌های متری

«دستگاه متری» نامی است که آن را برای دستگاه‌های گوناگونی که به طریقی بر پایه‌ی متر بنا شده‌اند (و همه‌شان دهنده‌ی هستند) به کار می‌برند. نخستین دستگاه متری دستگاهی بود که بعد از انقلاب فرانسه در سال ۱۷۹۵ پیشنهاد و مورد قبول واقع شد، اما با معرفی دستگاه بین‌المللی SI در سال ۱۹۶۰ همه‌ی دستگاه‌های متری دیگر منسوخ شدند.

در همه‌ی این دستگاه‌های متری تلاش‌هایی برای حصول سازگاری در زمینه‌ای وسیع‌تر صورت می‌گرفت، به این معنی که بین یکاها هم همان روابط میان کمیت‌های فیزیکی برقرار بشود. دستگاه‌های CGS مبتنی بر سانتی‌متر، گرم، و ثانیه بودند. استفاده از قانون نیوتون بدون هیچ ثابت عددی خاص که در آن نیروی وارد بر هر جسم برابر است با حاصل ضرب جرم جسم در شتاب حرکت، به یکایی برای نیرو به نام دین ( $1 \text{ dyn} \equiv 1 \text{ cm.g.s}^{-1}$ )، و یکایی برای انرژی به نام ارگ ( $1 \text{ erg} \equiv 1 \text{ dyn.cm}$ ) می‌انجامد. برای گنجاندن یکاهای الکتریکی، با استفاده از قانون کولن که می‌گوید نیروی میان دو بار نقطه‌ای متناسب با حاصل ضرب این بارها و متناسب با عکس مجذور فاصله‌ی میان آن‌هاست، یکای بار چنان تعریف شد که ثابت تناسب در این قانون برابر  $1 \text{ dyn.cm}^2 \cdot \text{statcoulomb}^{-2}$  شود. یکاهای کمیت‌های الکتریکی را در دستگاه CGS یکاهای الکتروستاتیکی (esu) می‌نامند و با پیشوند «استات» به کار می‌برند (مثلاً می‌گویند استات کولن و استات آمپر).

در رهیافتی دیگر برای گنجاندن یکاهای الکتریکی و مغناطیسی در دستگاه CGS، ابتدا یک قطب مغناطیسی پنداری و نظری و هم چنین میدان مغناطیسی ناشی از چنین قطبی را (در

الکتریکی خلأ و تراوایی مغناطیسی خلأ) که وارد همان معادله‌ها می‌شوند جبران می‌شود.

برای ساخت دستگاه SI یکاهای الکتریکی عملی را در دستگاه MKS گویا شده‌ای گنجانند، آمپر را یکای اصلی اختیار کردند، و سه یکای اصلی دیگر (کلون، مول، و شمع) را برای گسترش این دستگاه به آن افزودند. یکاهایی را که تا این‌جا از آن‌ها نام بردیم گاهی مطلق یا سراسری می‌نامند تا از یکاهایی که بستگی به شرایط محلی دارند متمایز شوند؛ شکل‌های اولیه‌ی یکاهای به اصطلاح گرانسی که بستگی به مقدار شتاب گرانی در محل خاصی دارند نمونه‌ای از این نوع یکاها هستند. با آن‌که اکنون دیگر برای شتاب گرانی مقدار استاندارد را به کار می‌برند. نام مطلق هم چنان باقی مانده است.

دستگاهی متری که مبتنی بر نیروی گرانی وارد بر جرم  $1\text{ kg}$  بود، دستگاه مورد استفاده‌ی مهندسان بود. این نیرو را کیلوگرم نیرو می‌نامیدند، اما معمولاً واژه‌ی نیرو را نمی‌آوردند. این کاربرد کیلوگرم به عنوان یکای نیرو، ضربی به اندازه‌ی شتاب گرانی را وارد قانون نیوتون می‌کرد. برای رفع این مشکل، یکای جرم جدیدی را که  $|g|$  برابر کیلوگرم بود معرفی کردند. نام‌های مختلفی از جمله اسلاگ متری و یکای فنی جرم را برای این یکا به کار می‌بردند. این یکاها را نباید همراه با SI به کار برد.

## دین

دین  $(1\text{ dyn} \equiv 1\text{ cm.g.s}^{-2} \equiv 10^{-5}\text{ N})$  یکای نیرو در دستگاه‌های قدیمی شده‌ی CGS است.

## رادیان

رادیان (rad) یکای دستگاه SI برای اندازه‌گیری زاویه‌ی مسطحه است. هر زاویه‌ای را می‌توان، پس از استقرار رأس آن در مرکز یک دایره، به صورت نسبت کمانی از این دایره که متقابل با زاویه است به شعاع دایره توصیف کرد:  $\frac{\text{کمان}}{\text{شعاع}} = \text{زاویه}$ . با توجه به حذف شدن یکاهای طول در این نسبت، اندازه‌ی زاویه به صورت عدد محض بدون یکا بیان می‌شود. زاویه‌ای را که این دو طول

برای آن با هم مساوی باشند، معادل  $1$  رادین می‌گیرند. برحسب یکاهای اصلی داریم  $1\text{ rad} = 1\text{ m} / 1\text{ m} = 1$ . زاویه‌ی هردایره‌ی کامل برابر  $2\pi$  رادین است. یکای «rad» را می‌توان نوشت یا حذف کرد اما هر جا که به روشن‌تر شدن موضوع کمک بکند، مثلاً در بیان اندازه‌ی زاویه یا توصیف سرعت زاویه‌ای (rad/s)، باید آن را آورد. نمونه‌های دیگرش، ذکر آن در یکاهای شتاب زاویه‌ای (rad/s<sup>2</sup>) و ثابت پیچش (N/rad) است. در محاسبات غالباً نماد رادین را می‌آورند تا معلوم باشد چه کمیتی را جایگزین می‌کنیم، اما در مراحل بعدی محاسبه که «rad» دیگر هیچ نقشی در روشن‌تر کردن موضوع ندارد باید آن را حذف کرد.

## ژول

ژول یکای دستگاه SI برای اندازه‌گیری انرژی است که برای همه‌ی انواع آن (مانند انرژی‌های گرمایی و الکتریکی) قابل استفاده است. ژول بنا به تعریف برابر است با کار انجام شده توسط نیرویی به اندازه‌ی  $1\text{ N}$  وقتی که نقطه‌ی اثر این نیرو به اندازه‌ی  $1\text{ m}$  در جهت نیرو جابه‌جا می‌شود:  $1\text{ J} = 1\text{ N.m}$ . با استفاده از واژه‌ی «ژول» می‌توانیم بین کمیتی که برحسب ژول اندازه‌گیری می‌شود و گشتاور نیرو که دارای همان ابعاد است، به روشنی تمایز قائل شویم.

## سال نوری

سال نوری ( $1\text{ ly} = 9.46 \times 10^{15}\text{ m}$ ) یکایی برابر اندازه‌گیری فاصله‌های نجومی است. این یکا مسافتی است که نور در خلأ در طول یک سال،  $365/25$  روز، می‌پیماید.

## شتاب گرانی

شتاب گرانی (یعنی شتاب اولیه‌ی اجسامی که سقوط آزاد می‌کنند) در نزدیکی سطح زمین، به دلیل توزیع جرم زمین و شتاب مرکزگرایی که قابل اندازه‌گیری نیست، از محلی به محل دیگر تغییر می‌کند. با توجه به دخیل بودن شتاب گرانی در تعریف بعضی از یکاهای اندازه‌گیری، مقداری را که در عرض جغرافیایی  $45^\circ$  اندازه‌گیری شده و تصحیح مربوط به سطح دریا هم در

مورد آن انجام شده است به عنوان مقدار استاندارد پذیرفته اند :  
 $g_s = 9.80665 \text{ m/s}^2$

## طول

جابه جایی است. در نمادگذاری برداری، کار را می توان به صورت حاصل ضرب نقطه ای بردارهای نیرو و جابه جایی توصیف کرد :  
 $W = F \cdot d$ . اگر زاویه  $\theta$  منفرجه باشد، کار انجام شده توسط نیرو منفی است. انجام کار در سیستم های مکانیکی را گاهی به صورت فرایند تبدیل شکلی از انرژی به شکل دیگر توصیف می کنند. یکای اندازه گیری کار در دستگاه SI ژول (J) است.

## کالری

کالری (Cal) یکایی قدیمی برای اندازه گیری انرژی گرمایی است، و بنا به تعریف عبارت است از مقدار گرمای لازم برای بالا بردن دمای ۱g آب به اندازه  $1^\circ\text{C}$ . کالری را همراه با دستگاه های متری قدیمی به کار می بردند، اما این یکا جزو هیچ یک از آن دستگاه ها نبود. از آن جا که مقدار کالری بستگی به دما و سایر شرایط آب دارد، این امر موجب شده است که کالری های متفاوت متعددی تعریف شوند، که البته همه در همان حدود مقدار تعریف شده در جدول های بین المللی  $1 \text{ cal} \equiv 4.1868 \text{ J}$  هستند. در علوم تغذیه، «کالری بزرگ» (با نماد Cal) را که معادل ۱kcal است به کار می برند، اما پیش تر وقت ها این یکا را هم کالری می نامند و یا صورت اختصاری Cal نشان می دهند.

## کلوین

تعریف کلوین (K)، که یکای اصلی SI برای اندازه گیری دماست، مبتنی بر مقادیر محاسبه شده ی انتقال گرما برای ماشین گرمای ایده آلی است که بین دو دما در حال فعالیت است : یکی همان دمای مورد نظر است و دیگری دمای نقطه ی سه گانه ی آب (که به صورت  $273.15 \text{ K}$  یا  $0^\circ\text{C}$  تعریف می شود). هم کلوین و هم درجه ی سلسیوس را برای مشخص کردن دما ( $K = ^\circ\text{C} + 273.15$ ) و فاصله های دما ( $1 \text{ K} = 1^\circ\text{C}$ ) به کار می برند.

تعیین طول (مثلاً فاصله ی میان دو نقطه) معمولاً نیازمند فرایندی است که در آن با استفاده از اندازه ی یک جسم (وسيله ی سنجش)، به عنوان «یکای طول»، تعداد دفعاتی را که این جسم از یک سر به سر دیگر به طور کامل در فاصله ی میان این دو نقطه می گنجد تعیین می کنند. این فرایند معمولاً در امتداد خطی راست انجام می شود مگر آن که تصریح شده باشد که منظور پیدا کردن طول در مسیر معینی است. در مورد مسیر منحنی، یکای مورد استفاده باید به اندازه ی کافی کوچک (وسيله ی سنجش کوتاه) باشد تا گنجاندن سر به سر آن انحراف قابل ملاحظه ای از مسیر پیدا نکند. اگر مسیر روی یک سطح قرار داشته باشد، می توان ریسمان ناکشایندی را روی این مسیر خواباند و سپس آن را صاف کرد و طول آن را اندازه گرفت.

## فوت — پاوند

فوت — پاوند یکای کار در دستگاهی است که یکای نیرو در آن پاوند — نیرو (lbf) است. با توجه به این که تمام عوامل دخیل در معادلات و قوانین برحسب یکاهای SI تعریف می شوند، ضرب تبدیل تا هفت رقم با معنی عبارت است از  $1 \text{ ft lbf} = 1.355818 \text{ J}$ .

## کار

کار بنا به تعریف عبارت است از حاصل ضرب بزرگی نیروی F وارد بر سیستم در مسافت d جابه جا شدن نقطه ی اثر نیرو در جهت این نیرو :  $W = F \cdot d$ . مؤلفه ی عمود بر جابه جایی نیرو هیچ سهمی در انجام کار ندارد. کار را به صورت حاصل ضرب جابه جایی در مؤلفه ی (عمودی) نیرو در جهت جابه جایی هم می توان تلقی کرد :  $W = F_s \cdot d$ . به طور کلی داریم

## کیلوگرم

است. متر را در ابتدا ۱/۱۰۰۰۰۰۰۰ مسافت قطب شمال تا استوا روی نصف‌النهاری تعریف کردند که از پاریس می‌گذرد. کمی بعد، طول یک میله‌ی پلاتینی خاص جای این مقدار را گرفت؛ این تعریف هم در سال ۱۸۸۹ جای خودش را به فاصله‌ی میان دو خط نشان روی میله‌ای از جنس پلاتین - ایریدیوم داد. در سال ۱۹۸۳ تعریف متر عوض شد، و طبق تعریف جدید متر فاصله‌ای است که نور در خلأ در بازه‌ی زمانی  $1/299792458$  ثانیه می‌پیماید.

## مقدار سرعت

مقدار سرعت هر نقطه‌ی متحرک، آهنگ تغییر طول مسیر آن نسبت به زمان است. متوسط مقدار سرعت را می‌شود از تقسیم طول مسیر پیموده شده در هر بازه‌ی زمانی بر طول مدت این بازه به دست آورد. اگر مقدار سرعت در حال تغییر باشد، مقدار سرعت لحظه‌ای در هر نقطه را می‌توان از روی حد نسبت مسافت به زمان وقتی که بازه‌ی زمانی به سمت صفر میل می‌کند، به دست آورد. مقدار سرعت در هر نقطه همان اندازه‌ی بردار سرعت (لحظه‌ای) است. اما، به طور کلی، مقدار سرعت اندازه‌ی هیچ بردار سرعت متوسطی نیست.

## مول

مول (mol)، که یکای اصلی دستگاه SI برای اندازه‌گیری مقدار ماده است، هر ماده‌ای را با تعداد معینی از ذرات آن می‌سنجند. این یکا برابر با تعداد ذرات موجود در  $12 \text{ kg}$  کربن ۱۲ است. کربن ۱۲ را به این دلیل انتخاب کردند که جرم اتمی نسبی آن (که قبلاً وزن اتمی نامیده می‌شد)، با استفاده از مقیاسی که در ابتدا براساس جرم اتمی نسبی مخلوط طبیعی ایزوتوپ‌های اکسیژن بنا شده بود، بسیار نزدیک به ۱۲ است؛ به این ترتیب نیازی به تغییر جدول‌های قدیمی جرم اتمی نبود. برای به دست آوردن این تعداد ذره از هر ماده (که به عدد آووگادرو معروف است) می‌توان مقدار ماده برحسب گرم را برابر با جرم اتمی (یا مولکولی) نسبی ماده گرفت. این یکا را برای ذراتی غیر از اتم‌ها و مولکول‌ها، مثلاً برای

کیلوگرم (kg) که یکای اصلی دستگاه SI برای اندازه‌گیری جرم است، به طور تاریخی به صورت جرم یک دسی‌متر مکعب آب تعریف شده بود. در این تعریف اصلاحاتی به عمل آمد، و طولی نکشید که آن را به صورت جرم قطعه‌ی استاندارد در نظر گرفتند که از جنس آلیاژ بدون خوردگی بود. نمونه نهایی کیلوگرم استاندارد در سال ۱۸۸۹ ساخته شد، و نسخه بدل‌های آن را هم برای کشورهای امضاکننده‌ی پیمان‌نامه‌ی متر (Convention du Mètre) فرستادند.

## کیلووات ساعت

کیلووات ساعت

$[1 \text{ kWh} = (1000 \text{ J/s}) \cdot (3600 \text{ s}) = 3/6 \times 10^6 \text{ J} = 3/6 \text{ MJ}]$   
یکای خارج از دستگاه SI برای اندازه‌گیری انرژی است. این یکا را غالباً برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی (برق مصرفی) به کار می‌برند.

## لیتر

لیتر (l یا L) یکایی برای اندازه‌گیری حجم است. این یکا را در سال ۱۹۶۴ به عنوان نام تازه‌ای برای دسی‌متر مکعب باز تعریف کردند. لیتر اگرچه جزو یکاهای دستگاه SI نیست، اما برای استفاده همراه با آن مجاز دانسته شده است. لیتر را بنا به تعریف برای مدتی به صورت حجم اشغال شده توسط  $1 \text{ kg}$  آب در دمای متناظر با حداکثر چگالی (در  $4^\circ \text{C}$ ) در نظر می‌گرفتند، که کمی بیش‌تر از  $1 \text{ dm}^3$  بود. برای جلوگیری از اشتباه، توصیه می‌شود که آن را در شاخصه‌های دقیق به کار نبریم. این یکا را بیش‌تر برای اندازه‌گیری حجم مایعات و گازها به کار می‌برند. در استفاده از لیتر در محاسبات همراه با یکاهای دستگاه SI، باید در قرار دادن توان ده یا پیشوند مناسب برای نتیجه دقت خاصی به عمل آورد.

## متر

متر (m) یکای اصلی اندازه‌گیری طول در دستگاه SI

الکترون‌ها، هم می‌شود به کار برد.

## نیوتون

نیوتون (N)، یکای نیرو در دستگاه SI، بنا به تعریف نیرویی است که بتواند جسمی به جرم ۱ kg را با شتاب  $1 \text{ m/s}^2$  به حرکت درآورد.

## وات

وات ( $W = 1 \text{ J/s}$ ) یکای دستگاه SI برای توان است. در واژگان الکتریکی مربوط به مدارهای جریان مستقیم (dc)، وات حاصل ضرب اختلاف پتانسیل (برحسب V) و جریان (برحسب A) است:  $1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A}$ . در مدارهای جریان متناوب (ac)، توان تلف شده به اندازه‌ی ضرب  $\cos\theta$ ، که به ضرب توان معروف

است، از حاصل ضرب ولتاژ مؤثر در جریان مؤثر کم‌تر است. این ضرب از اختلاف فاز میان جریان و ولتاژ (به اندازه‌ی زاویه‌ی  $\theta$ ) ناشی می‌شود. این یکا را به افتخار مهندس اسکاتلندی، جیمزوات، نام‌گذاری کرده‌اند.

## یکای انگلیسی گرما

یکای انگلیسی گرما (BTU یا Btu) یکایی برای اندازه‌گیری انرژی گرمایی است. این یکا بنا به تعریف گرمای لازم برای بالا بردن دمای ۱ lbm آب به اندازه‌ی  $1^\circ \text{F}$  است. چون این مقدار با دما و شرایط دیگر تغییر می‌کند، مقادیر متعددی را برای Btu به کار می‌برند که قدری با هم تفاوت دارند. تعاریف امروزی را معمولاً برحسب کالری بیان می‌کنند. مقدار گرد شده‌ی تعریف Btu در جدول‌های بین‌المللی عبارت است از  $1 \text{ Btu} = 1055/056 \text{ J}$ .