

پیشوندهای متریک

واحدهای پایه در علوم زیستی شامل:

متر، گرم، مول، و لیتر

پیشوندهای متریک شامل:

نام	گیگا	مگا	کیلو	میلی	میکرو	نانو	پیکو	فمتو	آتو
نماد	G	M	K	m	μ	n	p	f	a
عدد	10^9	10^6	10^3	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}

از بین موارد فوق پیشوندهای میلی، میکرو و نانو کاربرد زیادی در آزمایشگاههای علوم زیستی دارد به عنوان مثال میلی متر، میکرو متر و نانومتر یا میلی مول، میکرومول و نانومول

نما:

عدد کوچکی است که در سمت راست و بالای یک عددی بنام پایه نوشته می شود.

$$10^{-3} = 0.001 \text{ و } 10^3 = 1000$$

ضرب، تقسیم، جمع و تفریق پذیری نماها

$$(8 \times 10^4) + (7 \times 10^5) = 78 \times 10^4$$

تغییر و تبدیل و واحدها به یکدیگر

به عنوان مثال ۱ لیتر مساوی است با ۱۰۰۰ میلی لیتر و ۱۰۰۰۰۰۰ میکرولیتر و یک میکرولیتر برابر است با ۰.۰۰۱ میلی لیتر و ۰.۰۰۰۰۰۱ لیتر



واحدهای جرم مولکولها

(۱) جرم اتمی (Atomic mass)

جرم ایزوتوپ خاصی از اتم است و مجموع جرم نوترون‌ها، پروتون‌ها و الکترونهای آن اتم می‌باشد.

واحد جرم اتمی^۱ ($\text{amu}=\text{u}$) یا دالتون (Da) می‌باشد و عبارت است از $1/12$ جرم یک اتم کربن-۱۲. از آنجاییکه آزمایشات تجربی وزن یک اتم کربن را 1.9926×10^{-23} گرم برآورد کرده‌اند بنابراین یک u برابر یک دوازدهم آن یا 1.6606×10^{-24} گرم می‌باشد.

(۲) جرم مولکولی (m): جرم یک مولکول از ترکیب می‌باشد و واحد آن دالتون می‌باشد. به عنوان مثال جرم

مولکولی آلبومین انسانی ۶۶۴۶۳ دالتون می‌باشد.

از نظر عددی جرم مولکولی با وزن مولکولی یا جرم مولکولی نسبی برابر است و در عمل محققان واژه‌های وزن و آنها را به اشتباه بجای یکدیگر نیز استفاده می‌کنند.

(۳) وزن مولکولی (MW) یا جرم مولکولی نسبی ($Mr=MM$)

از نظر تئوری عبارت است از نسبت جرم یک مولکول از ترکیب به جرم یک دوازدهم اتم کربن ۱۲ و واحد ندارند. به عنوان مثال وزن مولکولی یا جرم مولکولی نسبی آلبومین انسانی ۶۶۴۶۳ می‌باشد. در عمل به مجموع جرم یا وزن اتم‌های تشکیل دهنده مولکول گفته می‌شود.

(۴) وزن فرمولی (FW) یا جرم فرمولی نسبی (FM)

عبارت است از مجموع جرم یا وزن اتم‌های تشکیل دهنده ترکیب. این واژه بیشتر در مورد ترکیباتی گفته می‌شود که از مولکول ساخته نشده‌اند مثل ترکیبات یونی و الکترولیت‌های قوی مثل MgCl_2 و Na_2CO_3

مثال: وزن یا جرم مولکولی آمونیوم سولفات با فرمول مولکولی $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ برابر

$$\begin{aligned}\text{Molecular Mass (MM)} &= (2 \times 14.01) + (8 \times 1.008) + 32.06 + (4 \times 16.00) \\ &= 28.02 + 8.064 + 32.06 + 64.00 \\ &= 132.144 \text{ g/mole}\end{aligned}$$

در جداول زیر مثال‌های بیشتر از نحوه محاسبه جرم مولکولی و فرمولی آورده شده است.

جرم مولکولی CO_2	جرم مولکولی $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$
$\text{C} = 12.0 \text{ u} \times 1 \text{ atom} = 12.0 \text{ u}$	$\text{C} = 12.0 \text{ u} \times 6 \text{ atoms} = 72.0 \text{ u}$
$\text{O} = 16.0 \text{ u} \times 2 \text{ atoms} = 32.0 \text{ u}$	$\text{H} = 1.01 \text{ u} \times 12 \text{ atoms} = 12.1 \text{ u}$
-----	$\text{O} = 16.0 \text{ u} \times 6 \text{ atoms} = 96.0 \text{ u}$
Total = 44.0 u	-----
	Total = 180.1 u



جرم فرمولی		جرم فرمولی	
CuSO ₄		Ca(OH) ₂	
Cu = 63.5 u x 1 atom = 63.5 u		Ca = 40.1 u x 1 atom = 40.1 u	
S = 32.1 u x 1 atom = 32.1 u		O = 16.0 u x 2 atoms = 32.0 u	
O = 16.0 u x 4 atoms = 64.0 u		H = 1.01 u x 2 atoms = 2.02 u	
	-----		-----
Total =	159.6 u	Total =	74.1 u

غلظت محلول‌ها (Concentration of solutions)

از حل کردن جسم حل‌شونده در حلال، محلول حاصل می‌شود. مقدار جسم حل‌شونده در محلول را **غلظت** آن جسم می‌نامند. اگر مقدار کمی از جسم در حجم زیادی از حلال حل گردد محلول را **رقیق** می‌نامند. محلول اشباع محلولی است که جسم تا ماکزیمم حلالیت خود در حلال حل گردیده است. محلول مافوق اشباع محلولی است که مقدار جسم حل‌شونده خیلی بیشتر از قدرت حلالیت حلال در محلول وجود دارد.

۱. مول

به تعداد یا عدد آووگادرو از ذره (اتم، مولکول یا یون.....) گفته می‌شود. یک مول از هر ذره دارای جرمی برابر جرم آن ذره می‌باشد به عنوان مثال یک مول منیزیم دارای جرمی برابر ۲۴/۳۰۵ g می‌باشد. به همین ترتیب ۰/۱ مول منیزیم دارای جرم ۲/۴۳ g می‌باشد.

۲. محلول‌های مولار (Molar solutions)

محلول‌هایی هستند که در هر لیتر آن یک مولکول گرم جسم مورد نظر حل شده است. برای ساختن محلول یک مولار NaOH مقدار ۴۰ گرم از آن را برداشته در مقدار کمی آب حل نموده حجم کامل را به یک لیتر می‌رسانیم. یا برای اسیدسولفوریک ۹۸ گرم و برای اسیدکلریدریک ۳۶/۵ گرم لازم است. بنابراین مولکول‌های یک ظرفیتی دارای محلول‌های نرمال و مولار هم غلظت می‌باشند اما مولکول‌های دو ظرفیتی مثل SO₄H₂ و سه ظرفیتی مثل PO₄H₃ محلول‌های مولارشان به ترتیب دو برابر و سه برابر از محلول‌های نرمال آن‌ها قوی‌تر می‌باشد. محلول‌های مولار را با حرف M نشان می‌دهند.



بطور کلی به کمک معادله زیر می‌توان غلظت مشخصی از مولکولی با وزن مولکولی مشخص و در حجم مشخصی تهیه کرد.

$$M = \frac{\frac{X}{Mw}}{V}$$

که در آن M مولاریته مورد نظر بر حسب مولار، V حجم مورد نظر بر حسب لیتر، Mw وزن مولکولی مولکول بر حسب گرم و X مقدار ماده مورد نیاز بر حسب گرم می‌باشد.

۳. وزن اکی والان

مقدار ماده ای است که بتواند با یک مول H^+ یا یک الکترون واکنش دهد و یا یک مول H^+ یا یک الکترون تولید کند. به عبارتی این واژه بیشتر در مورد یونها استفاده می‌شود و نمایانگر تعداد بارهای آن یون می‌باشد. در مورد یونهای تک ظرفیتی یک مول معادل یک اکی‌والان می‌باشد ولی در مورد یونهای چند ظرفیتی مول بایستی به ظرفیت تقسیم شود. در یک اکی‌والان گرم ماده به تعداد عدد آوگادرو بار وجود دارد.

به عنوان مثال 1mmol/L سدیم معادل 1mEq/L ولی در مورد منیزیم 2 mEq/L می‌باشد.

مولاریته الکترولیت‌های خون مثل Na^+ ، K^+ و Ca^{2+} به ترتیب 142 mM، 4.3 mM و 2.5 mM می‌باشد در حالیکه نرمالیه آنها به ترتیب 143، 4.3 و 5 mEq/L می‌باشد.

۴. محلول‌های نرمال (Normal solutions)

محلول‌هایی هستند که در هر لیتر آن برابر با یک اکی‌والان گرم (نسبت وزن مولکولی به ظرفیت جسم)، از آن جسم در حلال حل شده باشد. محلول یک نرمال HCl برابر با $\frac{36.5}{1}$ گرم و محلول یک نرمال SO_4H_2 برابر با $\frac{98}{2} = 49$ گرم از اسید در هر لیتر دارد. محلول 2N، 3N، $\frac{N}{10}$ و $\frac{N}{2}$ محلول‌هایی هستند که به ترتیب دارای دو برابر، سه برابر، یک‌دهم برابر و نصب مقدار $\frac{\text{وزن مولکولی}}{\text{ظرفیت}}$ آن ماده را در هر لیتر دارد.

آزمایش ۱- ۲۰ ml محلول N (نرمال) از NaCl را درست کنید. (وزن مولکولی NaCl = ۵۸/۵)

N نشان دهنده میزان نرمالیه محلول می‌باشد. برای ساختن نرمال‌های ضعیف از محلول‌های قوی‌تر از فرمال زیر استفاده می‌شود:

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

N_1 و V_1 به ترتیب نرمالیتی و حجم محلول اولیه و N_2 و V_2 نرمالیتی و حجم محلول ثانویه می‌باشند.



آزمایش ۲- چند میلی‌لیتر از محلول ۵N اسید کلریدریک لازم است تا ۲۵ml محلول ۰/۲N آن ساخته شود؟ این محلول را تهیه نمایید.

آزمایش ۳- چند میلی‌لیتر از محلول ۲/۵N اسید سولفوریک لازم است تا ۲۵ml محلول ۰/۱ نرمال آن ساخته شود؟ این محلول را تهیه نمایید.

نحوه محاسبه مولاریته و نرمالیه اسیدهای غلیظ

غلظت اغلب اسیدهای تجاری بصورت درصد وزنی بیان می‌شود. برای محاسبه حجم مورد نیاز برای تهیه غلظت مشخص جدید اسید بایستی دانسیته آن را نیز اعمال کنیم.

به کمک فرمول زیر می‌توان غلظت مولی و یا نرمالیه اسید قوی را بدست آورد و سپس به کمک معادله $N_1V_1 = N_2V_2$ غلظت و حجم مورد نظر را تهیه کرد.

$$M = 1000ad / Mw$$

که در آن M بر حسب مولار، a درصد خلوص، d دانسیته و Mw وزن مولکولی اسید مورد نظر می‌باشد. به عنوان مثال مولاریته و نرمالیه اسید سولفوریک با وزن مولکولی ۹۸ گرم، درصد خلوص ۹۶٪ و دانسیته ۱/۸۴ گرم بر میلی‌لیتر (1 liter = 1840 gm) به ترتیب برابر است با ۱۸ M و ۳۶ N. فرمول فوق بیان دیگر معادلات زیر می‌باشد:

Sulfuric Acid = 18 Molar (36 Normal)

Strength = 96. %, Density = 1.84, Mol Wt = 98.08

1 liter = 1840 gm = 1766 gm H₂SO₄ (@96%) = 18.0 moles = 18.0 Molar

رابطه بین مولاریته و نرمالیه: مولاریته برابر است با نرمالیه تقسیم بر ظرفیت مولکول و یا نرمالیه برابر است با مولاریته ضربدر ظرفیت مولکول. به عنوان مثال نرمالیه اسید سولفوریک ۱۰ مولار برابر است با ۲۰.

$$N = M * n \quad M = N / n$$

آزمایش ۴- ۵۰ ml محلول ۰/۰۲M KCl را تهیه نمایید. (وزن مولکولی ۷۴/۵۶ KCl)

آزمایش ۵- ۱۰ ml محلول ۲/۵M NaOH را تهیه نمایید. (وزن مولکولی ۴۰ NaOH)



فراکشن مولی (Mole fraction)

به مقدار مول از یک مولکول خاص در یک مخلوط گفته می‌شود. به عنوان مثال در محلول دارای n_1 مول از ترکیب یک، n_2 مول از ترکیب دوم و n_3 مول از ترکیب سوم، فراکشن مولی ترکیب n_1 برابر است با:

$$MF1 = n_1 / n_1 + n_2 + n_3$$

مثال: مولالیت و فراکشن مولی اسید HCl ۳۷٪ را محاسبه کنید.

محلول دارای ۳۷٪ HCl دارای ۳۷ گرم HCl در ۶۳ گرم آب می‌باشد. در نتیجه در یک لیتر یا ۱۰۰۰ گرم آب دارای $(37/63) \times 1000$ یعنی ۵۸۷ گرم می‌باشد. مولالیت یا تعداد مول‌های موجود در آن هم برابر است با

$$mole / Mw = \frac{587}{36.5} = 16$$

مول فراکشن:

در ۱۰۰ گرم از محلول HCl ۳۷٪ داریم: برای HCl $37/36.5 \text{ g/mole} = 1.01$ و برای آب $63/18 \text{ g/mole} = 3.5$. از فرمول $MF = n_1 / n_1 + n_2$ داریم $MF = 1.01/4.51 = 0.22$

محلول‌های درصد (Percent solutions)

این محلول‌ها سه نوعند:

- ۱- درصد وزنی یا وزن در وزن (W/W): شامل گرم یا میلی گرم از جسم حل‌شونده در حلال، در صورتی که وزن کل صد گرم باشد.
- ۲- وزن در حجم (W/V): شامل گرم یا میلی گرم از جسم حل‌شونده در حلال، در صورتی که حجم کل صد میلی لیتر باشد.
- ۳- درصد حجمی یا حجم در حجم (V/V): شامل مقدار میلی لیتر از جسم در حلال به طوری که حجم کل صد میلی لیتر باشد. مثلاً ۱۰ ml از یک مایع در ۹۰ ml حلال.

تبدیل درصد وزنی به مولالیت

مولالیت HCl ۳۷٪ را محاسبه کنید.

Density: 1.29 g/ml = 1190 g/L , Mw of HCl = 36.44 g



مقدار HCl موجود در هر لیتر HCl برابر است با:

$1190 \times 37\% = 440 \text{ g/L}$ و توسط فرمول $M = \text{Mole/Liter}$ داریم $M = 440/36.44/1$ که نتیجه آن 12.07 مولار می‌باشد. به این معنی که در هر لیتر اسید ۳۷٪ مقدار ۴۴۰ گرم اسید وجود دارد.

مثال ۱- مولاریتی یک محلول ۵٪ (W/V) کلوروسدیم چقدر است؟ (وزن مولکولی $\text{NaCl} = 58.5$)

مثال ۲- نرمالیتی یک محلول ۲۲٪ (W/V) سولفات دو سود چقدر است؟ (وزن مولکولی $\text{SO}_4\text{Na}_2 = 142$)

آزمایش ۶- محلول ۵N اسید کلریدریک را از HCl متراکم تهیه نمایید.

$\text{HCl} = 36.5$ وزن مولکولی $1 \text{ lit} = 1/19 \text{ kg}$ ۳۷٪

رقیق کردن محلول‌ها

در آزمایشگاه احتیاج به ساختن محلول‌های رقیق از محلول‌های غلیظ می‌شود. برای تهیه چنین محلولی، مقدار معینی از محلول غلیظ را گرفته به آن آب یا حلال دیگر اضافه می‌کنیم تا محلول رقیق‌تر مورد نظر در حجم مناسب به دست آید. رقت محلول‌ها را با علامت (:) نشان می‌دهند. مثل ۱:۱۰ که عبارت است از یک حجم از محلول غلیظ و ۹ حجم از حلال. محلول حاصل ده برابر از محلول اولیه رقیق‌تر است. برای محاسبه غلظت محلول رقیق غلظت محلول اولیه را در معکوس رقت ضرب می‌کنند. به عنوان مثال برای تهیه ۱۰۰ میلی‌لیتر الکل ۷۰٪ بایستی ۳۰ ml از الکل مطلق را با افزودن ۷۰ ml آب مقطر به حجم نهایی ۱۰۰ سی سی برسانیم. بطور کلی به کمک این معادله نیز می‌توان رقت سازی را انجام داد.

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

که در آن M_1 مولاریته معلوم محلول غلیظ و V_1 حجم مجهول و M_2 و V_2 به ترتیب مولاریته و حجم مورد نیاز می‌باشد.

ppm یا Part per million و ppb یا Part per billion

گاهی اوقات اجزای یک محلول بصورت ppm یا ppb بیان می‌شود که به معنی گرم از ماده به میلیون و یا بیلیون گرم از محلول نهایی است.

معمولاً ۱ گرم آب ۱ سی سی در نظر گرفته می‌شود و می‌توان ppm یا ppb را بصورت حجمی هم بیان کرد.



$$1 \text{ ppm} = 1 \mu\text{g} / \text{ml} = 1 \text{ mg} / \text{L}$$

$$1 \text{ ppb} = 1 \text{ ng} / \text{ml} = 1 \mu\text{g} / \text{L}$$

در مورد گازها به عنوان مثال اتمسفر 380 ppm دی‌اکسید کربن دارد که به معنی این است که در یک لیتر هوا 380 μl CO₂ وجود دارد.

• تبدیل ppm به مولاریته

ابتدا بایستی ppm را بصورت گرم بر لیتر تبدیل کرد و سپس با استفاده از معادله محاسبه مولاریته، غلظت مولی آن را به دست آورد.

اسمولاریته

مولاریته ذرات در یک محلول گفته می‌شود.

به عنوان مثال یک مولار از ذره غیر تفکیک شونده دارای یک اسمولار می‌باشد. اما یک مولار از ذره تفکیک شونده دارای n اسمولار می‌باشد. مثلاً 0.03 مولار KCl دارای اسمولاریته 0.06 می‌باشد. اسمولاریته یک واژه فیزیولوژیک می‌باشد. به عنوان مثال اسمولاریته پلاسما 0.308 می‌باشد که برابر با غلظت 0.154 مولار NaCl می‌باشد. گلیکول قرمز در این غلظت نه آب جذب می‌کند (آماس) و نه آب از دست می‌دهد (چروکیده). به این نوع محلول نمکی محلول ایزوتونیک گفته می‌شود. به محلول‌هایی که غلظت آنها از این غلظت بیشتر و کمتر باشد به ترتیب محلول‌های هایپرتونیک و هایپوتونیک گفته می‌شود.

فشار اسمزی: نیروی لازم برای جلوگیری از حرکت مولکول‌های آب می‌باشد و از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\pi = iCRT$$

$$\pi = RT (i_1C_1 + i_2C_2 + \dots)$$

π: فشار اسمزی

i: ضریب وانتهوف که معرف تعداد ذرات حاصل از تفکیک است

C: غلظت مولی ماده حل شونده

R: ثابت گازها

T: دمای مطلق

iC: اسمولاریته



قدرت یونی (Ionic strength)

قدرت یونی یک محلول نشاندهنده غلظت بارهای موجود در یک محلول می‌باشد. زمانی که قدرت یونی یک محلول افزایش می‌یابد ضریب فعالیت یک یون کاهش می‌یابد.

$$I = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n c_i z_i^2$$

که در آن C_i غلظت مولی یون، و Z_i تعداد بارهای یون می‌باشد. همان طور که از معادله فوق پیدا است قدرت یونی بستگی به غلظت و بار الکتریکی بافرها و الکترولیت‌ها دارد.

ضریب فعالیت یک یون مقدار غلظت فعال یون می‌باشد. معمولاً با افزایش غلظت مولکول‌های حل شونده میانگینش بین آنها باعث کاهش فعالیت آنها می‌شود و فعالیت آنها کمتر از واحد می‌شود.

به عنوان مثال محلول HCl $0.1 M$ که کاملاً یونیزه می‌شود بطور واقعی دارای H^+ $0.086 M$ می‌باشد زیرا ضریب فعالیت (γ) آن 86% می‌باشد. فعالیت یک ماده برابر است با حاصلضرب ضریب فعالیت آن با غلظت مولی ماده می‌باشد:

$$a = \gamma[M]$$

مثال: در زیر قدرت یونی بافر $20mM$ سولفات آهن محاسبه شده است.

$$I = \frac{1}{2} \sum M_i Z_i^2 = \frac{1}{2} [M_{Fe^{3+}} Z_{Fe^{3+}}^2 + M_{SO_4^{2-}} Z_{SO_4^{2-}}^2]$$

The $0.02 M Fe_2(SO_4)_3$ yields $0.04 M Fe^{3+}$ and $0.06 M SO_4^{2-}$.

$$\begin{aligned} &= \frac{(0.04)(3)^2 + (0.06)(-2)^2}{2} = \frac{(0.04)(9) + (0.06)(4)}{2} \\ &= \frac{(0.36) + (0.24)}{2} = \frac{0.60}{2} \end{aligned}$$

و یا

$$I = \frac{1}{2} \sum 0.02[(2 \cdot 3^2) + (3 \cdot (-2)^2)] = \frac{1}{2} \sum 0.02 \cdot 30 = 0.3$$