

# شیمی ۳ انواع مواد (از نظر ساختار)

شیمی جلوه‌ای از هنر، زیبایی و ماندگاری

فصل ۳

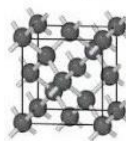


Metallic solids

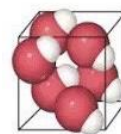


Ionic solids

## Types of Solids



Covalent-network solids



Molecular solids

استاد: دکتر حسن پلویی



● نمونه‌ای از نقشکند روی سنگ در (آ) تنگ آبخوری دوره ساسانی (ب) سفالینه‌ای از ایران باستان (پ) مجسمه موآی در جزیره ایستر (ت) مجسمه‌ای در شهر یثرب مشگین شهر گنجانده همدان.

شکل ۱- نمونه‌های فلزی، سفالی و سنگی به جای مانده از گذشتگان

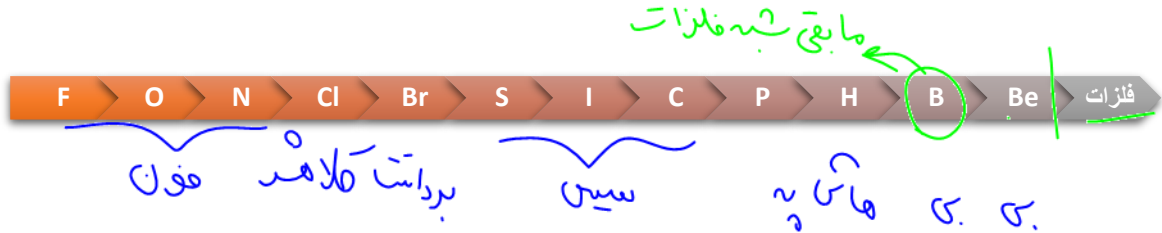
۱- انسان‌ها از دیرباز مواد ضروری برای زندگی خود را از طبیعت تامین کرده و برای رفع نیاز آن‌ها را تغییر دادند. در تغییر این مواد عواملی مانند محیط و شیوه زندگی، آیین، آداب و رسوم، ادبیات و حتی افسانه‌ها نقش داشتند بنا بر این، این آثار نمادی از هنر خویش بوده که افزون بر زیبایی، بازتابی از ماندگاری آن اثر است.

۲- مواد اولیه برای ساخت این آثار علاوه بر فراوانی و در دسترس بودن می‌بایست استحکام و پایداری زیاد داشته و واکنش پذیری کم دارا باشند.

۳- امروزه شیمی دان‌ها برای درک مقدار، ساختار و رفتار سازنده این آثار، به مواد جدیدتر با خواص ویژه و کاربردهای معین دست یافته‌اند

**یادآوری:** عناصر به طور کلی به ۳ دسته: فلز، نافلز و شبه فلز دسته‌بندی می‌شوند. خاصیت نافلزی یعنی تمایل به جذب الکترون، بنا بر این هرچه جاذبه هسته بر روی الکترون‌های لایه آخر اتم بیشتر باشد، عنصر خاصیت نافلزی بیشتر و هرچه این جاذبه (بار موثر هسته یا الکترونگاتیوی) کمتر باشد عنصر خاصیت فلزی بیشتری دارد. (خاصیت فلزی یعنی تمایل به از دست دادن الکترون)

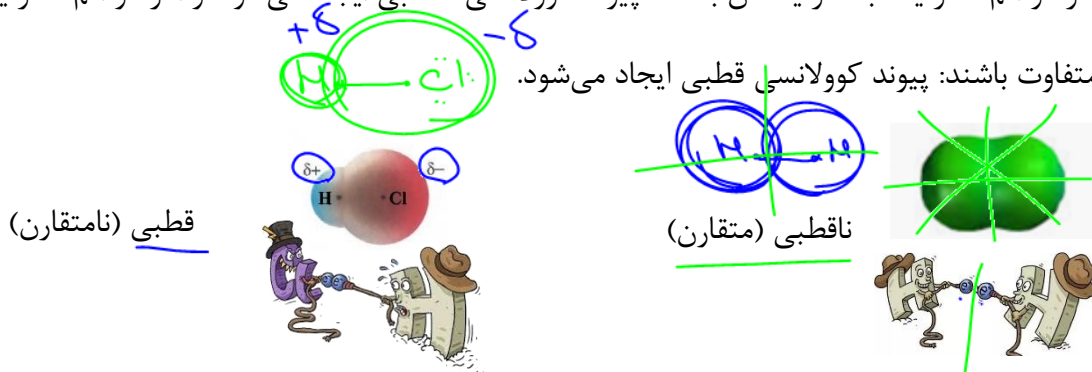
ترتیب الکترونگاتیوی نافلزات و شبه فلزات:



انواع پیوند (اتصال) اتمها

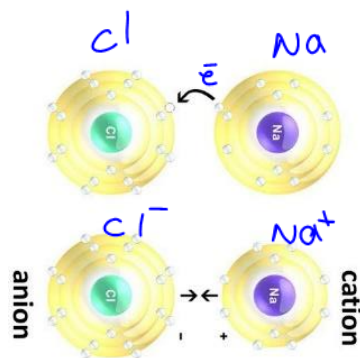
۱) پیوند کووالانسی: در اثر اشتراک الکترون‌های منفرد بین دو اتم نافلز یا شبه فلز جفت الکترون پیوندی ایجاد می‌شود که این جفت الکترون با حرکت به دور هر دو اتم باعث اتصال (پیوند) اتمها می‌شود.

اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز یکسان باشند: پیوند کووالانسی ناقطبی ایجاد می‌شود. و اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز متفاوت باشند: پیوند کووالانسی قطبی ایجاد می‌شود.



در پیوند کووالانسی قطبی، تراکم ابر الکترونی به دور اتمی که الکترونگاتیوتر است، بیشتر بوده. ( $\delta^-$ ) و اتم دیگر ( $\delta^+$ ) خواهد شد.

نکته: پیوند داتیو نوعی کووالانسی است.



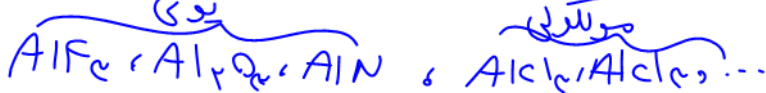
۲) پیوند یونی: در اثر انتقال کامل الکترون از فلز به نافلز، کاتیون و آنیون ایجاد می‌شود که به جاذبه حاصل پیوند یونی گویند.

$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$$

نکته ۱: Be (بریلیم) با آن که فلز است اما پیوند یونی ایجاد نمی‌کند و فقط پیوند کووالانسی تشکیل می‌دهد. (Be تبدیل به کاتیون نمی‌شود).

نکته ۲: C (کربن) فقط پیوند کووالانسی ایجاد می‌کند (تبدیل به آنیون نمی‌شود)

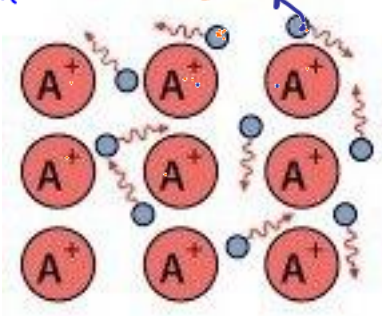
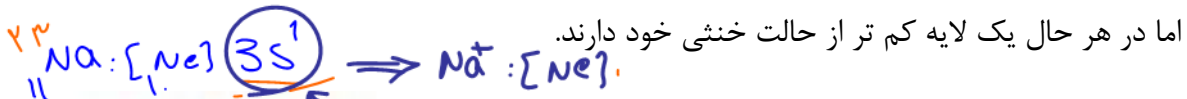
نکته ۳: نافلزات (غیر از کربن)، هم امکان تشکیل پیوند کووالانسی دارند و هم در واکنش با فلزات تبدیل به آنیون شده و پیوند یونی می‌دهند.



نکته ۴: Al (آلومینیوم) فقط با ۳ نافلز، F, O, N، تبدیل به کاتیون شده و پیوند یونی می‌دهد و در اتصال با بقیه نافلزات، کووالانسی می‌دهد.

نکته ۵: همه آنیون‌های تک اتمی، ( $P^{3-}, O^{2-}, F^-$  و ...) به آرایش گاز نجیب همان دوره می‌رسند و تعداد لایه آن‌ها تغییر نمی‌کند. اما کاتیون‌ها ممکن است به آرایش گاز نجیب دوره قبل برسند

(.... و  $AL^{3+}, Ca^{2+}, Na^{+}$ ) و یا ممکن است به آرایش الکترونی گاز نجیب نرسند. ( $Cu^{+}, Fe^{3+}$  و ...).



**۳) پیوند فلزی:** اتم‌های فلزی توسط پیوندی به نام فلزی به هم متصل می‌شوند و چون بار موثر فلزات بسیار کم است، الکترون‌های لایه ظرفیت آزادانه بین یون‌های مثبت فلز حرکت کرده و این الکترون‌های آزاد باعث اتصال اتم‌ها و یا به عبارت دیگر کاتیون‌های فلز می‌شوند.

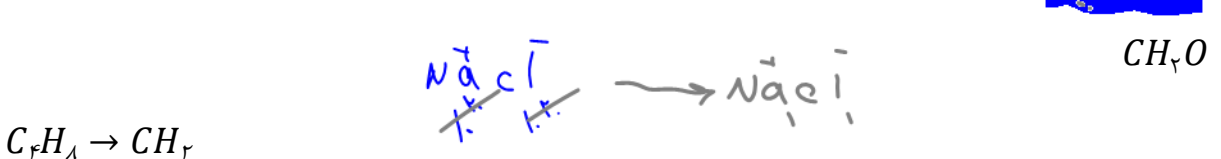
**نکته:** ماهیت پیوند فلزی همانند پیوند کووالانسی، مادی است و الکترون باعث اتصال اتم‌ها می‌شود.

اما پیوند یونی و نیروهای بین مولکولی و نیز جاذبه یون - مولکول، ماهیت مادی نداشته و نیروی الکتروستاتیک باعث اتصال ذرات می‌شود.

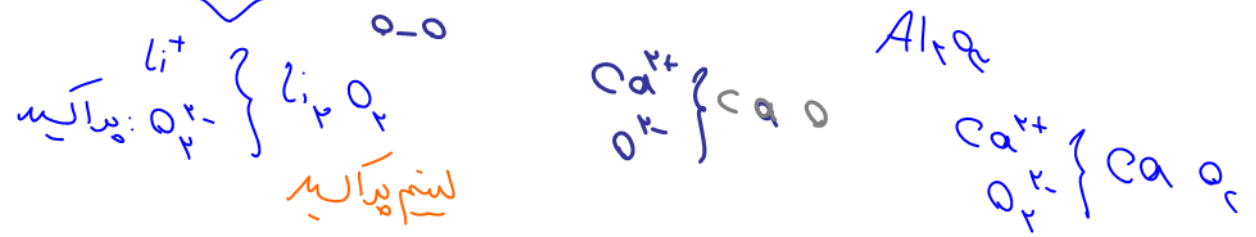
**جمع‌بندی پیوندها:**

نافلز و نافلز: کووالانسی	فلز و نافلز: یونی	شبه‌فلز و شبه‌فلز: کووالانسی
شبه‌فلز و شبه‌فلز: کووالانسی	فلز و فلز: فلزی	شبه‌فلز و فلز: فلزی

**فرمول مولکولی:** در ترکیبات مولکولی می‌توان نوع و تعداد دقیق عناصر را بیان کنیم که به این فرمول، فرمول مولکولی می‌گویند:

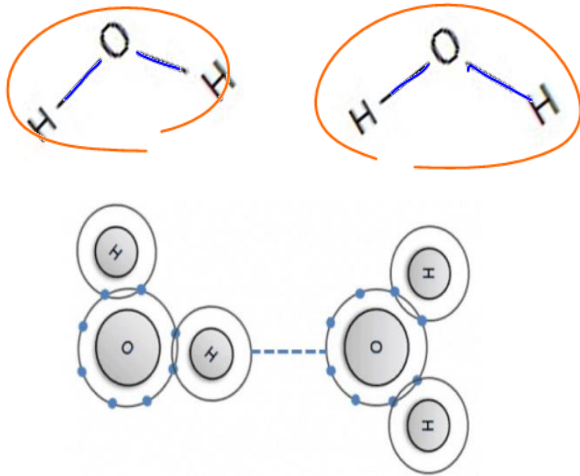


**فرمول شیمیایی:** در ترکیبات مولکولی، فرمول شیمیایی همان فرمول مولکولی مولکول می‌باشد. اما در ۳ دسته دیگر موارد، فرمول شیمیایی فرمول تجربی است (غیر از دسته‌ای از ترکیبات یونی)



انواع مواد (جامدات)

۱- جامدات مولکولی:



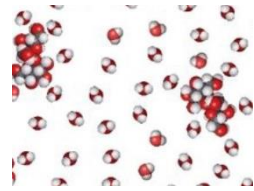
از مولکول‌های مشخص ساخته شده‌اند (غیر از گازهای نجیب) در درون مولکول اتصال اتم‌ها توسط پیوند کووالانسی است و بین مولکول‌ها، نیروهای بین مولکولی (هیدروژنی یا واندروالسی) مولکول‌ها را به هم متصل می‌کنند.

تشخیص: هر جسم جزو سه دسته دیگر نباشد، ترکیب مولکولی است. به عبارتی جسمی که فاقد فلز باشد، احتمالاً ترکیب مولکولی است.

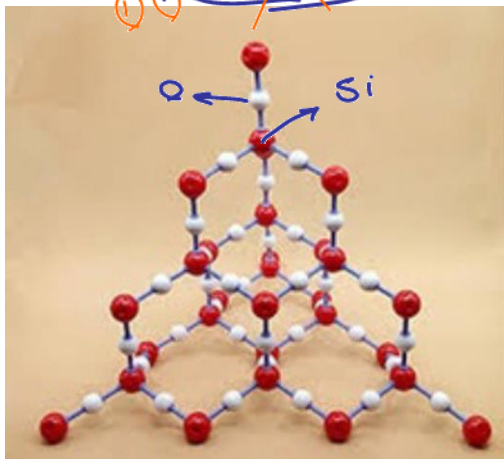
نکته ۱: دمای ذوب و جوش بسیار پایین دارند در دمای معمولی گاز یا مایع یا جامدند.

نکته ۲: مولکول‌ها می‌توانند قطبی یا ناقطبی باشند و یا هر دو قسمت را دارا باشند.

نکته ۳: مولکول‌های قطبی در آب حل می‌شوند. حل شدن این مولکول‌ها در آب اکثراً مولکولی است و محلول غیرالکترولیت ایجاد می‌کنند. البته حل شدن اسیدها در آب ممکن است یونی یا مولکولی. یونی باشد (الکترولیت قوی و غیرالکترولیت)



۲- جامدات کووالانسی



واحد سازنده بلور از اتصال تعداد بسیار زیادی از اتم‌ها توسط پیوند کووالانسی به وجود می‌آید. (غول آسا)

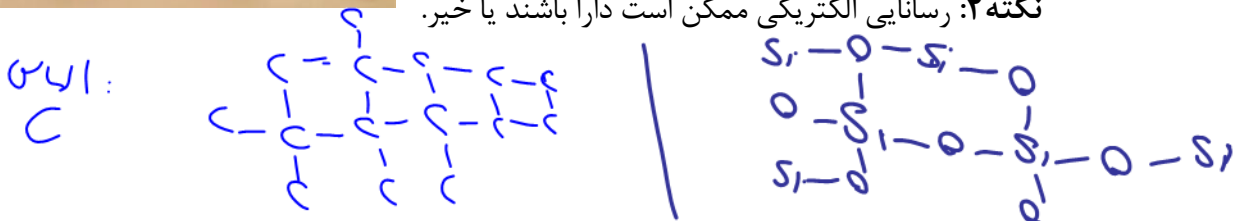
تشخیص:  $\text{SiO}_2, \text{SiC}, \text{Ge}, \text{Si}, \text{C}$  و مابقی شبه فلزات

و مابقی شبه فلز (عضوی)

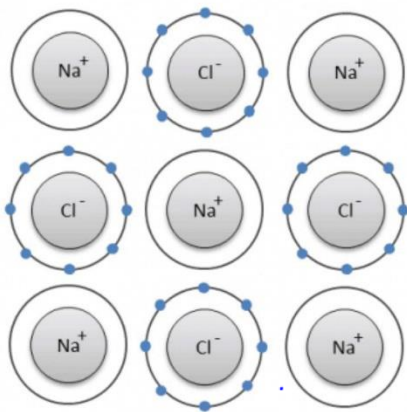
نکته ۱: دمای ذوب و جوش بسیار بالا دارند. (در دمای معمولی جامد هستند.)

معمولی جامد هستند.

نکته ۲: رسانایی الکتریکی ممکن است دارا باشند یا خیر.



### ۳- جامدات یونی



از آرایش سه بعدی کاتیون‌ها و آنیون‌ها ایجاد می‌شوند.

تشخیص: نافلز + فلز

انواع جامدات یونی:

(A) بازها: آنیون آن‌ها  $OH^-$  می‌باشد.  $Fe(OH)_2, NaOH$

(B) اکسید فلزات: آنیون آن‌ها  $O^{2-}$  می‌باشد:  $Fe_2O_3, Na_2O$

(C) نمک‌ها: آنیون آن‌ها هر یون تک اتمی یا چند اتمی غیر از:  $OH^-$  و  $O^{2-}$  می‌تواند باشد:

$Fe_2(SO_4)_3, NaNO_3, NaCl$

$NaCl$   $NH_4Cl$

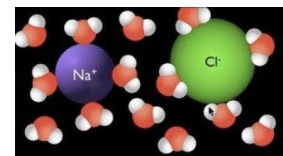
نکته ۱: به جای کاتیون فلزی،  $NH_4^+$  هم می‌تواند با اتصال به آنیون، جامد یونی تشکیل دهد.

نکته ۲: دمای ذوب و جوش بالا دارند (در دمای معمولی جامدند)

نکته ۳: جامدات یونی در مولکول‌های ناقطبی حل نمی‌شوند و در مولکول‌های

قطبی مانند آب ممکن است حل شوند مانند  $NaCl$  یا نامحلول بوده و حل نشوند

مانند  $AgCl$



### ۴- جامدات فلزی:

دارای کاتیون فلزی در دریای شناور الکترون‌ها.

تشخیص: فلز تنها یا آلیاژ چند فلز

نکته ۱: فلزات واسطه دمای ذوب و جوش بالاتری از

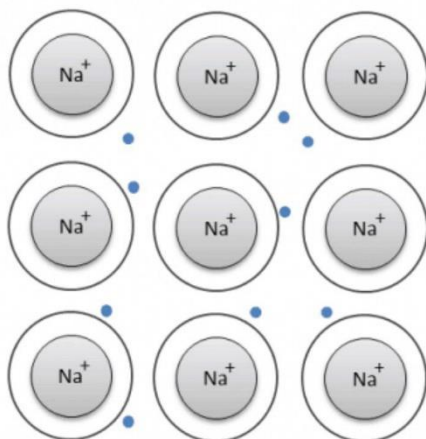
فلزات اصلی دارند. (غیر از جیوه)

نکته ۲: دمای ذوب و جوش بالا دارند و در دمای معمولی

جامدند. (غیر از جیوه)

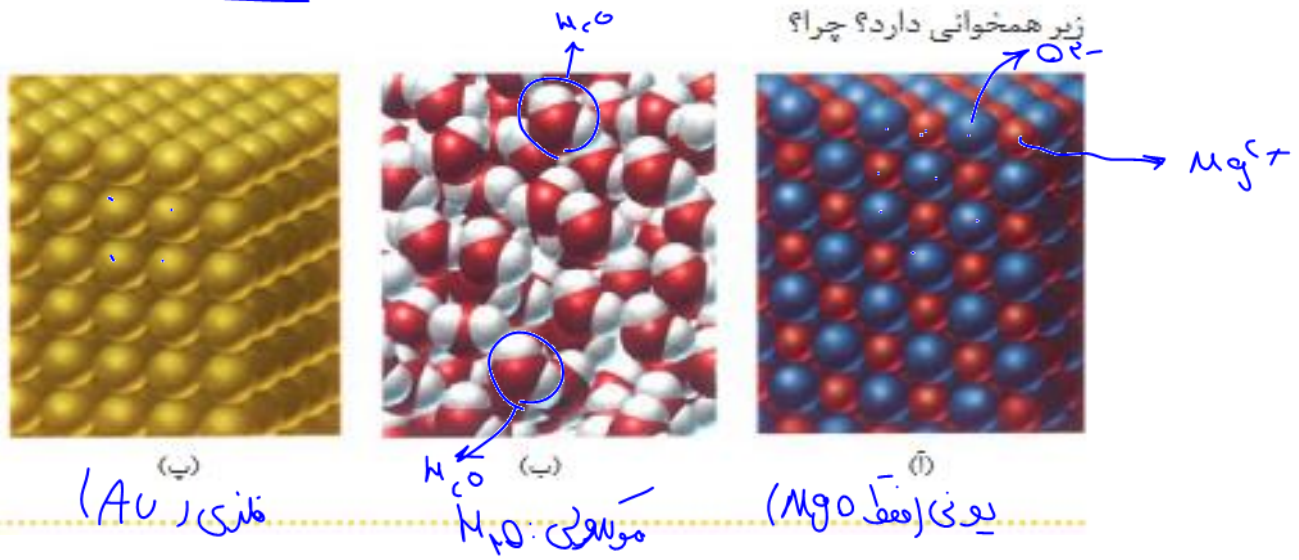
نکته ۳: به دلیل داشتن الکترون‌های شناور، رسانای

الکتریکی بالا دارند.





۲- اگر اجزای این مخلوط نخست جداسازی شده سپس خالص سازی شوند، پیش بینی کنید ساختار ذره‌ای هریک از این اجزا در حالت خالص و جامد (به جز  $\text{SiO}_2$ ) با کدام الگوی

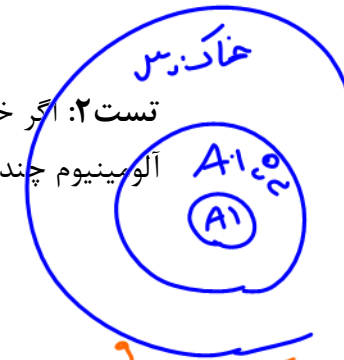


تست ۱: در نمونه‌ای خاک رس درصد جرمی  $\text{SiO}_2$  (سیلیس) برابر ۴۶٪ و درصد جرمی آب ۱۴٪ می‌باشد، اگر در اثر حرارت ۵۰٪ آب آن جدا شود، درصد جرمی سیلیس در خاک باقی‌مانده چند درصد خواهد بود؟

۴۹.۵۱٪ (۱۰۰٪ فرض کنیم)  $\frac{46 \times 100}{93} = 49.51\%$   
 در آن زمان ۴۶٪ دارد، در آن زمان ۱۰۰٪  $\frac{46}{100} = 0.46$   
 ۵۱.۵۳٪  $\frac{51.53}{100} = 0.5153$   
 ۵۳.۴٪  $\frac{53.4}{100} = 0.534$   
 ۱۰۰٪ - ۷٪ = ۹۳٪  
 ۴۹.۵۱٪  $\frac{49.51}{100} = 0.4951$   
 ۴۶٪ سیلیس دارد

$$\text{درصد جرم سیلیس در خاک پس حرارت دیده} = \frac{\text{درصد سیلیس}}{\text{جرم کل}} \times 100 = \frac{46}{93} \times 100 = 49.5\%$$

تست ۲: اگر خاک رس مطرح شده با درصد جرمی زیر را با گرما دادن کاملاً خشک کنیم، درصد جرمی فلز آلومینیوم چند درصد افزایش می‌یابد؟ (Al = ۲۷، O = ۱۶، H = ۱)  $\text{SiO}_2 = 46\%$ ،  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38\%$ ،  $\text{H}_2\text{O} = 13\%$



۱(۴) ۱.۵(۳) ۳(۲) ۶(۱)

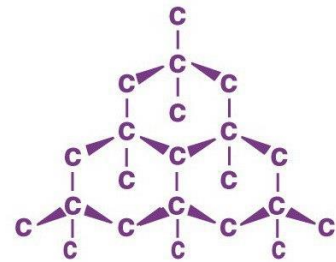
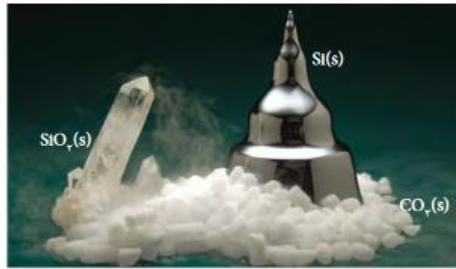
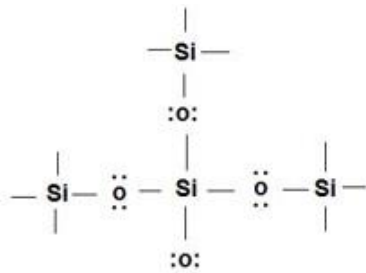
درصد جرمی Al در خاک رس =  $\frac{\text{درصد جرمی Al}_2\text{O}_3}{\text{درصد جرمی Al}_2\text{O}_3} \times \frac{\text{جرم Al}}{\text{جرم Al}_2\text{O}_3} = \frac{38}{100} \times \frac{2 \times 27}{102} = 20.15\%$

جرم خاک رس را ... افوی  
 در صد جرمی Al در خاک رس اولیه

درصد جرمی Al در نمونه دوم:  $\frac{20.15}{100-13} \times 100 = 23.15\%$   
 تغییر درصد جرمی Al:  $23.15 - 20.15 = 3\%$

Dr. Hassan Palooi

## جامدات کووالانسی



شکل ۲. نمونه‌ای از سیلیسیم، سیلیس و یخ خشک

۱- واحد سازنده بلور مواد کووالانسی «اتم» می‌باشد که این مجموعه ی بسیار زیاد از اتم‌ها توسط پیوند قوی کووالانسی به یکدیگر متصل شده و شبکه‌ای غول‌آسا و سه بعدی ایجاد می‌کنند. (غیر از گرافیت که دو بعدی است).

۲- فرمول شیمیایی که در جامدات کووالانسی استفاده می‌شود، فرمول تجربی است.

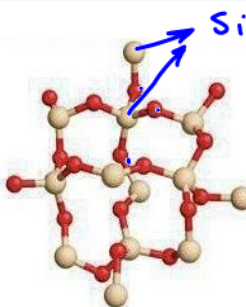
۳- تشخیص: الماس (C)، گرافیت (C)، Si (سیلیسیم)، Ge (ژرمانیم)، SiC (سیلیسیم کربید) و  $SiO_2$  (سیلیس) (شبه فلزات دیگر نیز در حالت عنصری ساختار کووالانسی دارند)

۴- غیر از گرافیت، بقیه ی جامدات کووالانسی سه بعدی می‌باشند.

۵- دمای ذوب و جوش و سختی: چون اتصال همه اتم‌ها توسط پیوند قوی کووالانسی است، دمای ذوب و جوش و سختی بسیار بالایی دارند و بالاترین سختی و دمای ذوب و جوش را در میان مواد دارا هستند.

۶- کربن و سیلیسیم عنصرهای اصلی سازنده‌ی جامدات کووالانسی هستند عنصرهایی که تا کنون از آنها یون تک اتمی در هیچ ترکیبی شناخته نشده است و هر دو با تشکیل پیوند کووالانسی به آرایش هشت تایی می‌رسند.

**نکته:** عنصر سیلیسیم پس از اکسیژن دومین عنصر پوسته جامد زمین است. ترکیبات این دو عنصر بیش از ۹۰ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهند.

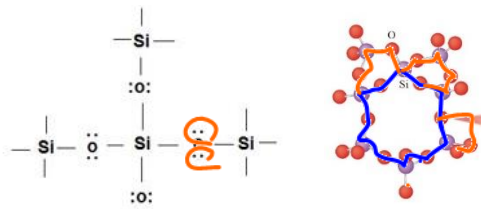
سیلیس ( $SiO_2$ )

۱- فراوان‌ترین ترکیب شیمیایی موجود در پوسته زمین است.

۲- خالص آن: کوارتز و ناخالص آن: خاک رس می‌باشد که در ساختار بسیاری از سنگ‌ها مانند سنگ پخت نان، بیشتر جرم سنگ را تشکیل می‌دهد.

۳- جامد کووالانسی با شبکه سه بعدی و غول‌آسا

۴- شبکه‌ای دوازده ضلعی که توسط شش ضلعی احاطه شده است.



۵- هر واحد سازنده آن  $SiO_2$  دارای چهار جفت الکترون ناپیوندی است.

۶- نام علمی: سیلیسیم دی اکسید

۷-  $SiO_2$  و  $CO_2$  به ترتیب جامد کووالانسی و مولکولی هستند. بنابراین دمای ذوب و جوش و سختی  $CO_2$  به مراتب کمتر از  $SiO_2$  می‌باشد.

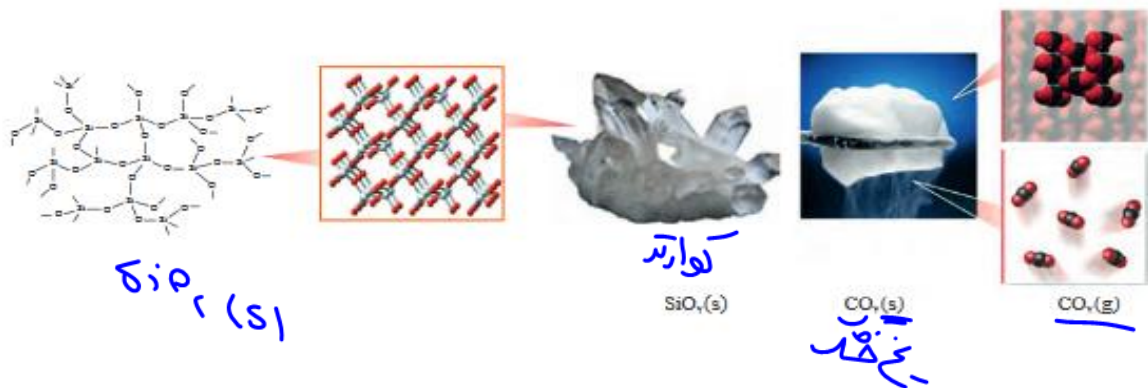
پخت نان سنگک بر روی دانه‌های سنگ، نشانه‌ای از مقاومت گرمایی بالایی سیلیس است

۸- سیلیس به دلیل داشتن خواص نوری ویژه، در ساخت منشور و عدسی به کار می‌رود.

$SiO_2$

با هم بیندیشیم

۱- با توجه به شکل‌های زیر به پرسش‌های داده شده پاسخ دهید.



آ) از شیمی ۱ به یاد دارید که مواد مولکولی در ساختار خود مولکول‌های مجزا دارند. کدام ماده جزو مواد مولکولی است؟  $CO_2$

ب) ماده کووالانسی مجموعه‌ای از اتم‌های بسیاری است که با هم پیوندهای اشتراکی دارند. بر این اساس کدام ماده، کووالانسی است؟

۲- پیش‌بینی کنید کدام ماده:

آ) سخت‌تر است؟ چرا؟  $SiO_2$  چون اتصال (تمها فقط توسط پیوندهای کووالانسی) (ماده کووالانسی)  
 ب) نقطه ذوب پایین‌تری دارد؟ چرا؟  $CO_2$  زیرا ترتیب مولکولی است.

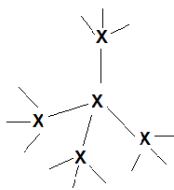
کربن (C)، سیلیسیم (Si) و ژرمانیم (Ge)

۱- هر سه عنصر به حالت عنصری جامد کووالانسی ایجاد می کنند و بعضی ترکیبات آن ها نیز جامد کووالانسی می باشد. ( $SiO_2$ ،  $SiC$ ) ولی بیشتر ترکیبات آن ها ماده مولکولی است.

۲- کربن دو دگر شکلی (آلوتروپ) الماس و گرافیت دارد.

۳- کربن تنها نافلزی است که یون تک اتمی ایجاد نمی کند و  $Si$  و  $Ge$  هم همانند سایر شبه فلزات یون ایجاد نمی کنند. (البته هر سه عنصر یون چند اتمی ایجاد می کنند  $CO_3^{2-}$  و  $SiO_4^{4-}$ ).

۴- کربن به دو شکل الماس و گرافیت می تواند به حالت آزاد (عنصری) و نیز خالص در طبیعت یافت شود ولی سیلیسیم فقط به حالت ترکیب (عمدتا  $SiO_2$ ) در طبیعت وجود دارد.



نکته: الماس (C)، گرافیت (C)، سیلیسیم (Si)، ژرمانیم (Ge) و سیلیسیم کربید ( $SiC$ ) جامد کووالانسی می دهند اما برخلاف  $SiO_2$  فاقد جفت الکترون ناپیوندی هستند غیر از گرافیت و  $SiO_2$  ما بقی جامدات کووالانسی ساختار روبرو را دارند: (البته  $SiC$  دارای ۲ نوع عنصر است)

Si



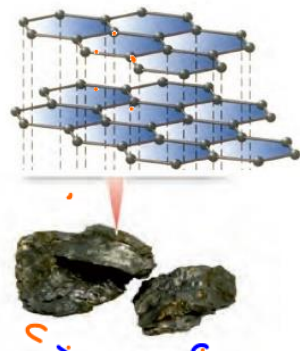
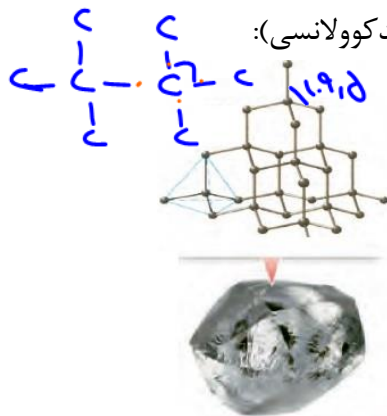
مقایسه جامدات کووالانسی:

جسم	فرمول شیمیایی	رسانایی الکتریکی	رسانایی گرمایی
الماس	C	X	دارد
گرافیت	C	دارد	X
سیلیسیم	Si	کم	دارد
ژرمانیم	Ge	کم	دارد
سیلیسیم کربید	SiC	X	دارد
سیلیس	SiO <sub>2</sub>	X	دارد

و مابقی در شبه فلزات

## مقایسه الماس و گرافیت ← تست با پلنگ

**دگرشکل آلوتروپ:** به اشکال مختلف بلوری یا مولکولی یک عنصر در طبیعت گویند. به عنوان مثال عنصر اکسیژن به دو شکل  $O_2$  و  $O_3$  وجود دارد. (هر دو مولکولی)



عنصر کربن نیز به دوشکل بلوری الماس (C) و گرافیت (C) وجود دارد (هر دو جامد کووالانسی):

۱- دگر شکل هم بوده و فرمول شیمیایی هر دو را به شکل C نمایش می‌دهیم. (۱۰۰٪ کربن)

۲- هر دو جامد کووالانسی بوده ولی الماس سه بعدی و گرافیت لایه لایه و دو بعدی است.

۳- در الماس هر کربن با چهار پیوند کووالانسی به سه اتم کربن متصل است.

۴- الکترون چهارم اتم کربن در گرافیت، بین سه کربن اطراف شناور است (رسانایی الکتریکی)

۵- زاویه پیوندی در الماس حدوداً  $109^\circ$  درجه است اما در گرافیت دقیقاً  $120^\circ$  درجه می‌باشد.

۶- در گرافیت شش ضلعی‌های منتظم وجود دارد و سطح و لایه لایه است. هر لایه متشکل از تعداد بسیار زیادی اتم کربن است. لایه‌ها به وسیله نیروهای واندروالسی به یکدیگر متصل می‌شوند. در نتیجه گرافیت برخلاف الماس، جامدی نرم است زیرا به راحتی لایه‌ها روی یکدیگر حرکت می‌کنند. بنابراین گرافیت به نوعی شبیه ترکیبات مولکولی است؛ زیرا هر لایه حکم یک مولکول بزرگ را داراست. اما در کل گرافیت را نیز جامد کووالانسی در نظر می‌گیریم.

۷- الماس دمای ذوب، سختی، طول پیوند C—C، سطح انرژی، چگالی و آنتالپی سوختن بیشتری از گرافیت دارد.

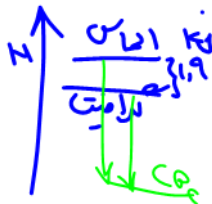
۸- الماس آنتالپی پیوند و پایداری کمتری از گرافیت دارد.

۹- الماس شفاف و سخت بوده و در جواهرسازی و ساخت مته و ابزار برش کاربرد دارد. اما گرافیت کدر و تیره بوده و در مغز مداد و الکتروود استفاده می‌شود.

۱۰- الماس رسانایی الکتریکی ندارد ولی رسانایی گرمایی دارد.

در صورتی که گرافیت به دلیل داشتن الکترون‌های آزاد (مانند فلزات) رسانایی الکتریکی بالایی داشته هر چند رسانایی گرمایی ندارد.

۱۱- فاصله اتم‌های کربن دو لایه مجاور در گرافیت زیاد بوده و باعث می‌شود چگالی گرافیت کمتر از الماس باشد.



**گرافن:**

تک لایه‌ای از گرافیت می‌باشد. به عبارتی همانند یک آبر مولکول بوده که دارای تعداد بسیار زیاد اتم‌های کربن در یک سطح (دو بعدی) می‌باشد. شفاف و انعطاف پذیر بوده و مقاومت کششی آن ۱۰۰ برابر فولاد است. و



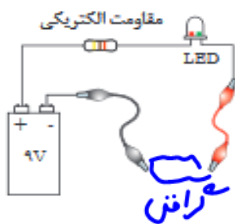
شکل ۴- تهیه گرافن با استفاده از نوار چسب



همانند گرافیت به دلیل دارا بودن الکترون‌های شناور، رسانایی الکتریکی بالایی دارد. ضخامت گرافن در حد یک اتم کربن

**کاوش کنید ۱**

درباره «رسانایی الکتریکی گرافن» کاوش کنید.



وسایل و مواد مورد نیاز: لامپ LED، باتری ۹ ولتی، سیم، سوکت، مقاومت ۳۳ اهمی، مداد و کاغذ.

- ۱- مدار مطابق شکل روبه‌رو بسازید.
- ۲- با یک مداد نرم، چهار گوشه‌ای ضخیم و تیره روی کاغذ بکشید، به طوری که حدود ۳ تا ۴ سانتی‌متر طول و حدود ۱/۵ سانتی‌متر عرض داشته باشد، سپس مستطیل را با مداد به طور کامل سیاه کنید.
- ۳- نوک فلزی دو سیم رابط را با مستطیل گرافیتی که ضخامتی در حدود چند نانومتر دارد تماس دهید سپس به لامپ نگاه کنید، چه رخ می‌دهد؟
- ۴- دو نقطه اتصال را به هم نزدیک یا از هم دور کنید، چه تغییری در شدت روشنایی لامپ پدید می‌آید؟

**عوامل موثر در شعاع اتم یا یون**

می‌باشد.

اولویت ۱: هرچه تعداد لایه الکترونی  $\uparrow$  شعاع  $\uparrow$

اولویت ۲: اگر تعداد لایه برابر بود: هرچه تعداد پروتون  $\downarrow$  شعاع  $\uparrow$

اولویت ۳: اگر تعداد لایه و تعداد پروتون برابر بود: هر چه تعداد الکترون  $\uparrow$  شعاع  $\uparrow$

**عوامل موثر در طول پیوند کووالانسی:**

اولویت ۱: هرچه شعاع اتم‌های درگیر در پیوند  $\uparrow$  طول پیوند کووالانسی  $\uparrow$   
 $CL - CL > H - CL > H - F$  اولویت ۲

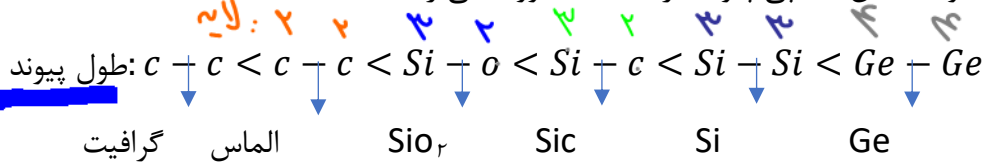
اولویت ۲: اگر دو پیوند فقط از نظر مرتبه پیوند تفاوت داشته باشند: مرتبه پیوند  $\downarrow$  طول پیوند  $\uparrow$   
 $C - C > C = C > C \equiv C$  اولویت ۱





**آنتالپی پیوند:** انرژی لازم جهت شکستن ۱ مول پیوند کووالانسی و تبدیل جسم به اتم های گازی را آنتالپی پیوند یا میانگین آنتالپی پیوند گویند:  $(\frac{Kj}{mol})$   
 ✓ نکته: آنتالپی پیوند با طول پیوند کووالانسی رابطه عکس دارد.

مثال: طول پیوند و میانگین آنتالپی پیوند در جامدات کووالانسی را مقایسه کنید.



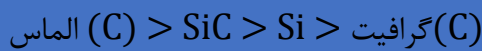
آنتالپی پیوند:  $c - c > c - c > Si - O > Si - c > Si - Si > Ge - Ge$

**نکته ۱:** در گرافیت چهارمین الکترون لایه ظرفیت با سه کربن اطراف خود پیوند می دهد، در نتیجه پیوند کربن-کربن در گرافیت بین یگانه و دوگانه بوده و طول پیوند کربن-کربن در آن کمتر از این پیوند در الماس می باشد.

**نکته ۲:** چون آنتالپی پیوند در سیلیسیم ( $Si$ ) کمتر از سیلیس ( $SiO_2$ ) می باشد، بنابراین سیلیسیم در طبیعت به حالت عنصری (آزاد) وجود نداشته و بیشتر به شکل ترکیب با اکسیژن ( $SiO_2$ ) یافت می شود.

مقایسه نقطه ذوب و سختی جامدات کووالانسی

هر چه آنتالپی پیوند در جامدات کووالانسی بیشتر باشد، دمای ذوب و سختی آن ها بیشتر می باشد.



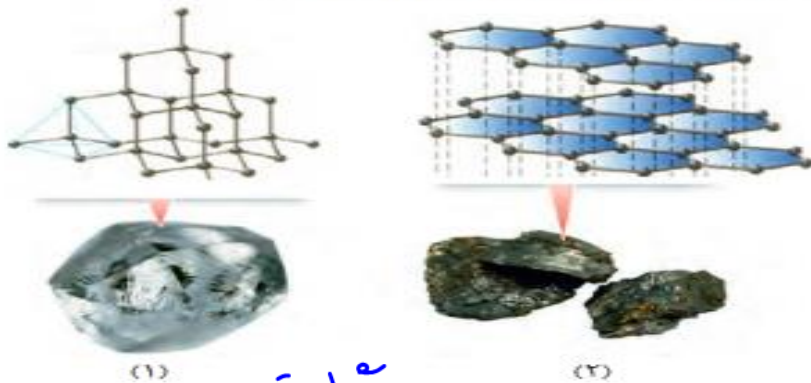
نقطه ذوب و سختی:

**نکته ۱:** علت پایین تر بودن دمای ذوب و سختی گرافیت نسبت به مابقی جامدات کووالانسی این است که برای ذوب کردن آن نیازی به شکستن پیوند کووالانسی درون لایه ها نبوده و فقط نیروهای واندروالسی بین لایه ها سست شده و لایه به راحتی روی هم حرکت می کنند.

**نکته ۲:** سختی یک کانی، میزان مقاومت آن را در برابر خراشیده شدن نشان می دهد و با یکای "موس" سنجیده می شود. الماس و کوارتز از سخت ترین مواد موجود در طبیعت هستند که سختی آن ها به ترتیب ۱۰ و ۷ است.

خود را بیازمایید

۱- گرافیت و الماس از جمله دگرشکل‌های طبیعی کربن بوده که جزو جامدهای کووالانسی هستند. با توجه به ساختارهای زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.



آ) کدام ساختار، جامد کووالانسی با چینش دو بُعدی اتم‌ها و کدام یک، جامد کووالانسی با چینش سه بُعدی اتم‌ها را نشان می‌دهد؟

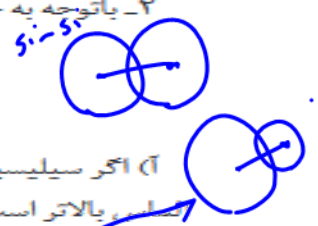
ب) با توجه به اینکه گرافیت موجود در مغز مداد بر روی کاغذ اثر به جا می‌گذارد، کدام ساختار با این ویژگی همخوانی دارد؟ توضیح دهید. **لایه لایه بودن**

پ) چرا در ساخت مته‌ها و ابزار برش شیشه از الماس استفاده می‌شود؟ **زیرا جامد کووالانسی و بالاترین سختی را دارد**

ت) کدام چگالی (۲/۲۷ یا ۳/۵۱ گرم بر سانتی متر مکعب) را به گرافیت می‌توان نسبت داد؟ چرا؟

۲- با توجه به جدول زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید:

Si	الماس	پیوند
Si-Si	C-C	میانگین آنتالپی (kJmol <sup>-1</sup> )
۲۲۶	۳۴۸	



آ) اگر سیلیسیم خالص ساختاری همانند الماس داشته باشد، پیش‌بینی کنید نقطه ذوب **الماس بالاتر است یا سیلیسیم؟ چرا؟** **الماس زیرا برای ذوب جامدات کووالانسی، باید کووالانسی شکست خورد، چون آسان‌تری پیوند**

ب) اگر آنتالپی پیوند Si-O بیشتر از پیوند Si-Si و ساختار Si(s) یا SiO<sub>2</sub>(s) مشابه باشد، توضیح دهید چرا سیلیسیم در طبیعت به حالت خالص یافت نشده و به‌طور عمده به شکل **C-C در الماس**

سیلیسی یافت می‌شود؟ **زیرا چون پیوندهای Si-Si به نسبت Si-O است هستند که در طول زمان این پیوندها Si-Si ضعیف‌ترند و تبدیل به Si-O شده‌اند تا آنتالپی کم**

تست ۱: چه تعداد از مطالب زیر درست است؟ **کمتر که پایدارتر شوند**

- فرمول شیمیایی جامدات کووالانسی فرمول تجربی است. ✓
- فرمول تجربی نشان‌دهنده نوع عناصر و ساده‌ترین نسبت آن‌ها در یک ترکیب است. ✓
- تنوع جامدات کووالانسی بیشتر از ترکیبات مولکولی است. ✗
- جامدات کووالانسی دمای ذوب و سختی بیشتری از جامدات مولکولی دارند. ✓
- هر چه طول پیوند کووالانسی در جامدات کووالانسی و مولکولی کمتر باشد، دمای ذوب و سختی آن‌ها بیشتر است. ✗

۴(۴)      ۳(۳)      ۲(۲)      ۱(۱)

تست ۲: کدام گزینه نادرست است؟

۱. سیلیسیم خالص در طبیعت یافت نمی‌شود
۲. سیلیسیم و سیلیس هر دو رسانای الکتریسته هستند

Dr. Hassan Sabaei

۳. آنتالپی پیوند در سیلسیم کمتر از سیلیس است

۴. گرافیت، سیلسیم و ژرمانیم رسانای برق هستند

تست ۳: کدام گزینه در مورد الماس و گرافیت صحیح نمی‌باشد؟

۱. فاصله اتم‌های کربن در الماس بیشتر از فاصله اتم‌های کربن در درون یک لایه گرافیت است.

۲. فاصله اتم‌های کربن در الماس بیشتر از فاصله اتم‌های کربن دو لایه مجاور است

۳. الماس چگالی، دمای ذوب و سختی بیشتری از گرافیت دارد.

۴. هر دو جامد کووالانسی هستند ولی گرافیت تا حدی ویژگی‌های جامد مولکولی و فلزی را نیز داراست

تست ۴: چه تعداد از عبارتهای زیر نادرست است؟ ( $Si = 28, O = 16$ )

- از سیلسیم در ساخت منشور و عدسی استفاده می‌شود.
- گرافن همانند گرافیت دارای حلقه‌های شش ضلعی منتظم بوده و کدر می‌باشد.
- در تبدیل گرافیت به الماس مصنوعی، طول پیوندهای کربن-کربن افزایش می‌یابد.
- در ۰/۶ گرم سیلیس، ۰/۰۴ مول الکترون ناپیوندی وجود دارد.
- جامدات کووالانسی را می‌توان دارای مولکول‌های غول‌آسا با فرمول مولکولی مشخص دانست.

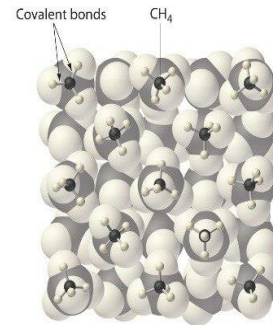
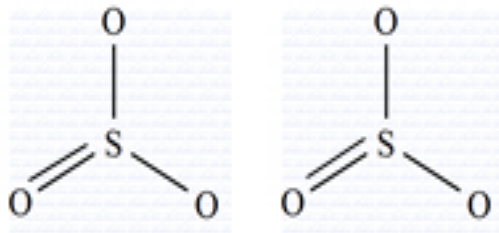
۵(۴)

۴(۳)

۳(۲)

۲(۱)

## جامدات مولکولی

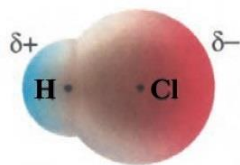
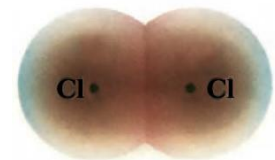


- ۱- مواد مولکولی دارای مولکول مشخص هستند که اتصال اتم‌ها در درون مولکول توسط پیوند کووالانسی و اتصال مولکول‌ها توسط نیروهای بین مولکولی است.
- ۲- تشخیص: جسمی که فلز و  $NH_4^+$  نداشته باشد و جزو ۶ جامد کووالانسی نباشد، جامد مولکولی است.
- ۳- تنوع ماده مولکولی بسیار بیشتر از سه دسته (جامد) دیگر است.
- ۴- اغلب ترکیبات آلی، بسیاری از مواد که در دمای معمولی جامدند و نیز هر جسمی که در دمای معمولی گاز یا مایع است (غیر از جیوه)، جامد مولکولی می‌باشند.
- ۵- پیوند کووالانسی هم در جامدات کووالانسی و هم در درون مولکول‌های مواد مولکولی (غیر از گاز های نجیب) وجود دارد. حتی در جامدات یونی که کاتیون یا آنیون چند اتمی دارند نیز اتصال اتم‌ها در درون یون‌ها توسط پیوند کووالانسی است:  $NH_4Cl, Fe(OH)_2, NaNO_3$  و...

**یادآوری:** پیوند کووالانسی به دو دسته تقسیم می‌شود:



**پیوند کووالانسی ناقطبی:** اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز یکسان (جور هسته) باشند، تراکم و توزیع الکترون‌ها در دو طرف پیوند یکسان بوده و پیوند متقارن و ناقطبی خواهد بود:



**پیوند کووالانسی قطبی:** اگر دو اتم نافلز یا شبه فلز متفاوت (ناجور هسته) باشند، تراکم و توزیع الکترون‌ها در اطراف اتم نافلزتر (الکترون‌گاتیوتر)، بیشتر بوده و بار جزئی منفی ( $-σ$ ) داشته و می‌توان آن را با رنگ قرمز و سمت دیگر بار جزئی مثبت ( $+σ$ ) داشته و می‌توان آن را با رنگ آبی نشان داد:

ترتیب قدرت نافلزی و الکترون‌گاتیوی:



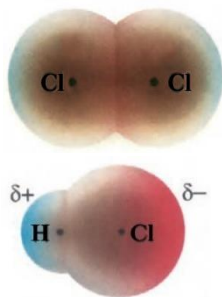
## مولکول ناقطبی و قطبی

- چنان چه مولکول متقارن بود، ناقطبی و گرنه مولکول قطبی است.
- برای سادگی تشخیص مولکول قطبی و ناقطبی می توان مولکول ها را چند دسته قرار داد:

دسته ۱: مولکول دو اتمی (فاقد اتم مرکزی)

قطبیت مولکول همانند قطبیت پیوند است؛ به عبارتی:

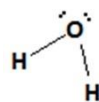
دو اتم یکسان (اتم ها جور هسته) ← پیوند ناقطبی ← مولکول ناقطبی:



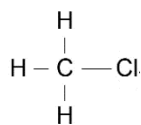
دو اتم متفاوت (اتم ها ناجور هسته) ← پیوند قطبی ← مولکول قطبی:

دسته ۲: مولکول چند اتمی (دارای یک اتم مرکزی)

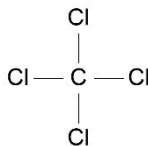
در صورتی که دو شرط زیر وجود داشته باشد، مولکول قطبی است:



۱- اتم مرکزی دارای جفت الکترون ناپیوندی باشد.



۲- به اتم مرکزی اتم های متفاوت متصل باشد.

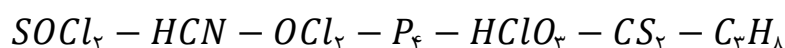
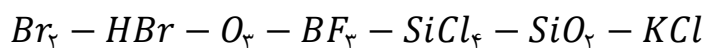


چنان چه هیچ کدام از دو شرط فوق موجود نباشد، مولکول ناقطبی است:

دسته ۳: مولکول چند اتمی (دارای بیش از یک اتم مرکزی)

در این مولکول ها اگر اتصال اتم ها یکسان باشد (مانند هیدروکربن ها): مولکول ناقطبی است.  $H-C \equiv C-H$

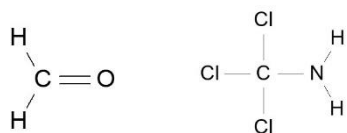
مثال: چه تعداد از اجسام زیر دارای مولکول قطبی و چه تعداد مولکول ناقطبی دارند:



**قلمرو الکترونی:** فضایی بادکنک مانند اطراف اتم مرکزی که در آن الکترون‌های ناپیوندی و



پیوندی حرکت می‌کنند:



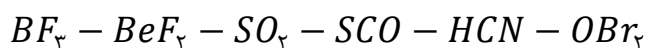
جفت الکترون ناپیوندی: ۱ قلمرو

پیوند یگانه، پیوند دوگانه، پیوند سه‌گانه: هر کدام ۱ قلمرو

شکل فضایی و زاویه پیوندی مولکول‌ها و بنیان‌ها

مدل فضا پر کن	مثال	زاویه پیوندی	شکل مولکول	جفت $e$ ناپیوندی	تعداد قلمرو
	$O = C = O$	$180^\circ$	خطی	۰	۲
		$120^\circ$	مثلث مسطح	۰	۳
		$\approx 120^\circ$	خمیده	۱	
		$109^\circ$	چهار وجهی منتظم	۰	۴
		$\approx 109^\circ$	هرمی	۱	
		$\approx 109^\circ$	خمیده	۲	

تست ۱: در چه تعداد از مولکول‌های زیر همه اتم‌ها در یک راستا قرار دارند؟ (خطی)



۴(۴)

۳(۳)

۲(۲)

۱(۱)

تست ۲: کدام مولکول مسطح نبوده و در میدان الکتریکی جهت گیری می کند؟

(۱) کلروفرم (۲) کربن دی سولفید

(۳) گوگرد تری اکسید (۴) متان

### ویژگی مولکول های قطبی

۱- در مولکول ها (حلال های) قطبی حل می شوند.	۴- در میدان الکتریکی جهت گیری می کنند.
۲- فاقد تقارن الکتریکی هستند.	۵- گشتاور دو قطبی آن ها بزرگتر از صفر است.
۳- نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی نامتقارن دارند.	۶- به سمت جسمی که بار القایی مثبت یا منفی دارد جذب می شود.

### نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی

ابزاری مناسب برای بررسی تراکم ابر الکترونی و بار الکتریکی یعنی توزیع الکترون ها روی اتم های سازنده یک گونه شیمیایی است. این نقشه به شیمی دان ها کمک می کند تا واکنش پذیری، قدرت اسیدی و بازی و... را برای گونه های شیمیایی پیش بینی و مقایسه کنند.

جایی که تراکم ابر الکترونی بیشتر است: رنگ قرمز یا دلتا منفی ( $\delta^-$ )

جایی که تراکم ابر الکترونی کمتر است: رنگ آبی یا دلتا مثبت ( $\delta^+$ )

### بررسی نقشه ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول های ۲ اتمی

#### مثبت

(ب) احتمال حضور جفت الکترون پیوندی در فضای بین دو هسته بیشتر است، گویی بیشتر وقت خود را آنجا می گذرانند، از این رو احتمال حضور آنها روی هسته ها، یکسان و متقارن است.

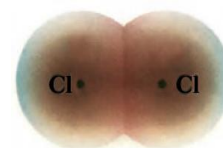
(آ) احتمال حضور جفت الکترون پیوندی پیرامون هسته اتم کلر بیشتر بوده زیرا خاصیت نافلزی آن بیشتر است، از این رو احتمال حضور الکترون های پیوندی روی هسته ها، یکسان و متقارن نیست.

شکل ۶- نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی برای نمایش احتمال حضور الکترون ها در مولکول های دو اتمی (آ) ناجور هسته (ب) جور هسته. رنگ سرخ تراکم بیشتر و رنگ آبی تراکم کمتر بار الکتریکی را نشان می دهد.

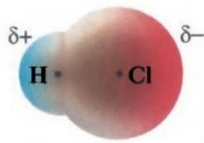
با توجه به اینکه ساده ترین مولکول ها دو اتمی هستند دو حالت متصور است:

مولکول های دو اتمی جور هسته: در میدان الکتریکی جهت گیری نمی کنند، زیرا گشتاور

دو قطبی آنها صفر بوده و مولکورهایی نا قطبی هستند (مانند  $\text{Cl}_2$ )




به عبارتی در نقشه پتانسیل الکتروستاتیک آنها توزیع یکنواخت و متقارن الکترون ها، نشانه ناقطبی بودن آنها است.

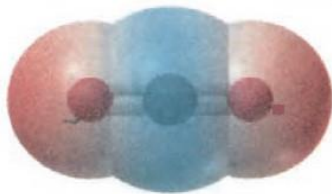


**مولکول های دو اتمی ناجور هسته:** در میدان الکتریکی جهت گیری می کنند، زیرا گشتاور دو قطبی آنها بزرگتر از صفر بوده و مولکول هایی قطبی هستند (مانند HCl)

به عبارتی در نقشه پتانسیل الکتروستاتیک آنها توزیع الکترون ها یکنواخت نبوده و تراکم ابر الکترونی روی اتم های سازنده آنها یکسان نیست و اتمی که تراکم ابر الکترونی روی آن بیشتر است باز جزئی منفی و با رنگ قرمز نمایش داده می شود و اتم دیگر بار جزئی مثبت داشته و با رنگ آبی نمایش داده می شود.

### بررسی نقشه ی پتانسیل الکتروستاتیک مولکول های دارای اتم مرکزی

**مثال ۱:** بررسی نقشه پتانسیل الکتروستاتیک مولکول کربن دی اکسید: 



در این مولکول خطی تراکم ابر الکترونی بر روی اتم های اکسیژن بیشتر از کربن است. از این رو به اکسیژن ها بار جزئی منفی و رنگ قرمز و به اتم کربن بار جزئی مثبت و با رنگ آبی نمایش می دهیم. هر چند هر دو پیوند قطبی می باشند، اما به دلیل توزیع متقارن بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی، این مولکول متقارن بوده و در میدان الکتریکی جهت گیری نکرده و گشتاور دو قطبی آن صفر است.

**مثال ۲:** بررسی نقشه پتانسی الکتروستاتیک مولکول آب:

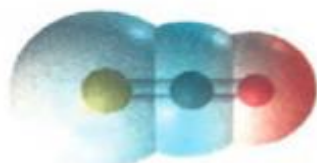


در این مولکول نیز تراکم ابر الکترونی روی اکسیژن بیشتر از اتم های هیدروژن می باشد (به ترتیب رنگ قرمز و آبی) و هر دو پیوند قطبی می باشند. اما این مولکول برخلاف CO<sub>2</sub> در میزان الکتریکی جهت گیری می کند و گشتاور دو قطبی بزرگتر از صفر دارد و مولکولی قطبی است. زیرا مولکولی خمیده بوده و توزیع بار الکتریکی پیرامون اتم مرکزی متقارن و یکنواخت نیست.

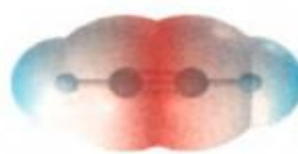
نکته: یکی از عواملی که می تواند تقارن و توزیع یکنواخت بارهای الکتریکی را در مولکول های چند اتمی به هم بزند، وجود جفت الکترون های ناپیوندی روی اتم مرکزی است.

### خود را بیازمایید

۱- شکل زیر نقشه پتانسیل مولکول های کربونیل سولفید (SCO) و اتین ( $C_2H_2$ ) را نشان می دهد. با توجه به آنها گشتاور دو قطبی کدام مولکول برابر یا صفر است؟ چرا؟



کربونیل سولفید

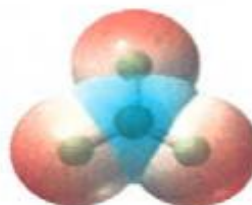


اتین

۲- با توجه به نقشه پتانسیل مولکول های آمونیاک و گوگرد تری اکسید به پرسش ها پاسخ دهید.



آمونیاک



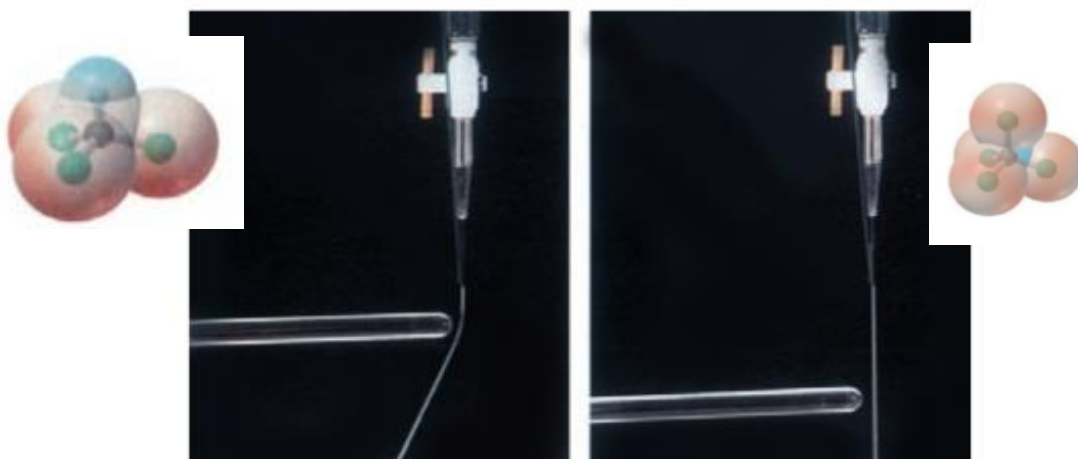
گوگرد تری اکسید

آ) با بیان دلیل، هر یک از اتم ها را در نقشه های بالا با  $(\delta^+)$  و  $(\delta^-)$  نشان دار کنید.

ب) کدام مولکول قطبی و کدام ناقطبی است؟ چرا؟

۳- با توجه به شکل های زیر با دلیل پیش بینی کنید کدام مایع، کلروفرم ( $CHCl_3$ ) و کدام یک

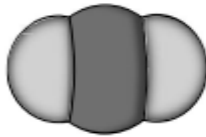
کربن تتراکلرید ( $CCl_4$ ) است؟





تست ۱: (ریاضی تیر ۱۴۰۳)

با توجه به مدل فضا پرکن مولکول‌های «آ» و «ب»، کدام موارد زیر درست است؟  
الف: علامت بار جزئی اتم مرکزی در مولکول‌های «آ» و «ب» می‌تواند مشابه باشد.  
ب: مولکول «آ»، را می‌توان به هریک از گونه‌های  $H_2O$ ،  $H_2S$  و  $Li_2O$  نسبت داد.  
پ: اگر مولکول «ب»،  $CO_2$  باشد و یکی از اتم‌های اکسیژن آن با گوگرد جایگزین شود، بار جزئی اتم مرکزی، تغییر می‌کند.  
ت: اگر مولکول «آ»،  $SO_2$  باشد و به ساختار آن، یک اتم اکسیژن اضافه شود، گشتاور دوقطبی مولکول، برابر صفر می‌شود.



«ب»



«آ»

- ۱) «ب» و «ت»
- ۲) «ب» و «پ»
- ۳) «الف» و «ت»
- ۴) «الف» و «ب»

تست ۲: (تجربی تیر ۱۴۰۳)

کدام مورد، عبارت زیر را از نظر علمی، به درستی کامل می‌کند؟  
«مولکول ..... ، ..... مولکول گوگرد تری‌اکسید .....»  
۱) آمونیاک - برخلاف - دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است  
۲) اکسیژن دی‌فلوئورید - برخلاف - هشت جفت الکترون ناپیوندی دارد  
۳) نیتروژن تری‌فلوئورید - همانند - سه جفت الکترون پیوندی دارد  
۴) هیدروژن سولفید - همانند - دارای اتم مرکزی با بار جزئی منفی است

تست ۳: چند مورد از مطالب زیر در مورد مولکول  $SiF_4$  درست است؟

- نسبت جفت الکترون ناپیوندی به پیوندی در آن ۳ می‌باشد.
- پیوندهای آن همانند مولکول قطبی هستند.
- در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی آن اطراف مولکول به طور یکنواخت قرمز رنگ می‌باشد.
- گشتاور دو قطبی آن حدود صفر بوده و در میدان الکتریکی جهت‌گیری می‌کند.
- شکل آن مشابه مولکول‌های  $NF_3$  و  $BF_3$  می‌باشد.

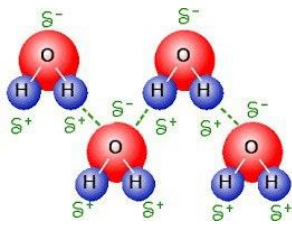
۴(۴)

۳(۳)

۲(۲)

۱(۱)

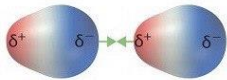
## نیروهای بین مولکولی



۱) پیوند هیدروژنی: اگر هر دو مولکول هیدروژن متصل به FON دارا باشند، بین دو مولکول پیوند هیدروژنی ایجاد می‌شود:

## ۲) نیروی واندروالسی:

چنان چه یک یا هر دو مولکول شرط پیوند هیدروژنی را نداشته باشند، نیروی بین آنها را واندروالسی گویند که خود به سه دسته تقسیم می‌شود:



الف) نیروی دو قطبی - دو قطبی، بین دو مولکول قطبی

ب) نیروی دو قطبی - دو قطبی القایی: بین مولکول قطبی و ناقطبی

پ) نیروی دو قطبی القایی - دو قطبی القایی: بین دو مولکول ناقطبی

نکته ۱: هر چه جرم و حجم مولکولها بیشتر باشد، نیروی واندروالسی بین مولکولها قوی تر می‌شود.

نکته ۲: به طور کلی پیوند هیدروژنی قوی تر از نیروی واندروالسی است.

نکته ۳: نیروهای بین مولکولی بسیار ضعیف هستند. از نظر قدرت و استحکام:



تست: در کدام گزینه امکان ایجاد پیوند هیدروژنی وجود ندارد؟

۲) بین مولکولی‌های آب و  $CH_2O$

۱) بین مولکولی‌های  $CH_3OH$

۴) بین مولکولی‌های آب و آمونیاک

۲) بین مولکولی‌های اتانوائیک اسید

## انحلال مواد مولکولی در آب

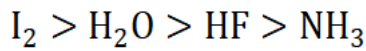
مولکولهای ناقطبی در آب انحلال ناپذیرند ( $CO_2$  و  $Cl_2$  و ...). مولکولهای قطبی در آب حل می‌شوند و اکثراً به حالت مولکولی حل شده و محلول آنها غیر الکترولیت است. (حل شدن مولکولی مانند: شکر، اتانول و...)

اما اسیدهای قوی در آب کاملاً یونیده شده و محلول الکترولیت قوی ایجاد می‌کنند. ( $HCl$  و ...). و اسیدهای ضعیف در آب مولکولی - یونی حل شده و محلول آنها الکترولیت ضعیف خواهد بود. ( $HF$  و...)

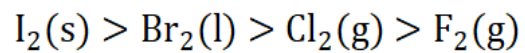
## نقطه ذوب و جوش جامدات مولکولی

برای ذوب کردن و یا به جوش آوردن ترکیبات مولکولی، کفایت نیروهای بین مولکولی سست یا شکسته شوند (نه پیوندهای محکم کووالانسی) و به دلیل ضعیف بودن این نیروها، دمای ذوب و جوش ترکیبات مولکولی بسیار پایین و کمتر از سه دسته جامد دیگر می‌باشد (در دمای معمولی جامد یا مایع یا گازند).

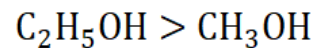
**اولویت (۱) پیوند هیدروژنی:** معمولاً مولکولی که امکان تشکیل پیوند هیدروژنی داشته باشد، نیروی بین مولکولی قوی-تر و در نتیجه دمای جوش بالاتر دارد.  
مقایسه دمای جوش:



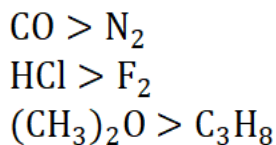
**اولویت (۲)** اگر دو مولکول مورد بررسی، هر دو هیدروژنی داشتند یا هر دو نداشتند، هر مولکولی که جرم و حجم بیشتر داشته باشد، نیروی بین مولکولی و دمای جوش بالاتری دارد.  
مثال ۱: مولکول‌های گروه ۱۷:



مثال ۲: دو الکل اتانول و متانول:



**اولویت (۳)** در صورتی که دو مولکول جرم و حجم تقریباً برابر داشته باشند، نیروی بین مولکولی و دمای جوش مولکول قطبی بیشتر از مولکول ناقطبی خواهد بود.



**نکته:** ید ( $I_2$ ) به دلیل داشتن جرم و حجم زیاد، دمای ذوب و جوش بالاتری از موادی مانند  $H_2O$  دارد.

**تست:** چه تعداد از مطالب زیر درست است؟

- از نظر دمای ذوب:  $C_6H_5OH > CH_3OH$
- از نظر دمای جوش:  $CO_2 > N_2 > CO$
- از نظر قدرت نیروهای بین مولکولی:  $I_2 > HF$
- نیروی بین مولکول‌های  $CO_2$  و  $SO_2$  از نوع دوقطبی القائی - دوقطبی القائی است.
- هر جسمی که در دمای معمولی مایع یا گاز است، حتماً ماده مولکولی است.

۴(۴)

۳(۳)

۲(۲)

۱(۱)

## نامگذاری جامدات مولکولی

به دلیل تنوع بسیار زیاد ترکیبات مولکولی، هر دسته نامگذاری خاص خود را دارد. مانند ترکیبات آلی (آلکان، آلکن، الکل و ...) و یا اسیدها ( $H_2SO_4$ ,  $HBr$  و ...)

برای نامگذاری مواد مولکولی دوتایی معمولی، ابتدا تعداد و نام عنصر سمت چپ و سپس تعداد و نام عنصر سمت راست را با پسوند «ید» می‌آوریم:

دی نیتروژن پنتا اکسید:  $N_2O_5$

کربن تترا برمید:  $CBr_4$

**نکته:** اصطلاحاتی مانند مولکول، فرمول مولکولی، نیروهای بین مولکولی صرفاً در مورد مواد مولکولی بیان می‌شود و در سه دسته جامد دیگر به دلیل نداشتن مولکول، قطعاً این واژه‌ها بی‌معنی است.

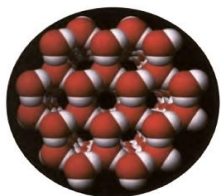
## خود را بیازمایید

۱- با خط زدن واژه نادرست در هر مورد، عبارت زیر را کامل کنید.

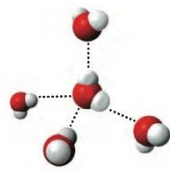
در ساختار یک جامد کوالانسی، میان همه مولکولی شمار معینی از اتم‌ها پیوندهای اشتراکی وجود دارد به همین دلیل چنین موادی نقطه ذوب بالایی دارند و دیرگداز هستند.

۲- واژه‌های شیمیایی رایج مانند ماده مولکولی، فرمول مولکولی و نیروهای بین مولکولی را برای توصیف کدام مواد زیر می‌توان به کار برد؟ چرا؟

$C_6H_4(l)$ ,  $SiO_2(s)$ ,  $NaCl(s)$ ,  $HF(g)$ ,  $C(s)$  (گرافیت),  $Cl_2(g)$

یخ ( $H_2O$ ) جامد:

• دانه برف یک سازه یخی طبیعی است که مبنای تشکیل آن حلقه‌های شش گوشه است.



۱- مشهورترین جامد مولکولی که در حالت جامد همانند جامدات کوالانسی شفاف، زیبا و سخت است.

۲- هر مولکول چهار پیوند هیدروژنی با چهار مولکول اطراف ایجاد می‌کند.

۳- هر اکسیژن با دو اتم هیدروژن (درون مولکول) پیوند اشتراکی با دو اتم هیدروژن از دو مولکول مجاور، پیوند هیدروژنی ایجاد می‌کند.

۴- هر اتم هیدروژن با یک پیوند کوالانسی به اکسیژن مولکول خود متصل شده و یک پیوند هیدروژنی با اکسیژن مولکول مجاور برقرار می‌کند.

۵- مولکول‌های آب در یخ و برف، حلقه‌های شش ضلعی ایجاد کرده و

شبکه‌ای همانند کندوی عسل را به وجود می‌آورند که در سه بُعد به طور منظم گسترش می‌یابد.



۲) در جامدات مولکولی همانند جامدات کووالانسی، هر چه طول پیوند کووالانسی کمتر باشد، دمای ذوب و جوش بالاتر می‌رود.

۳) ترتیب دمای ذوب:  $SiO_2 > I_2 > H_2O > SO_2$

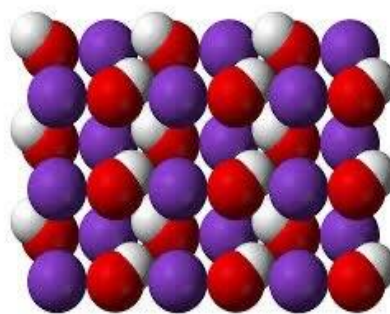
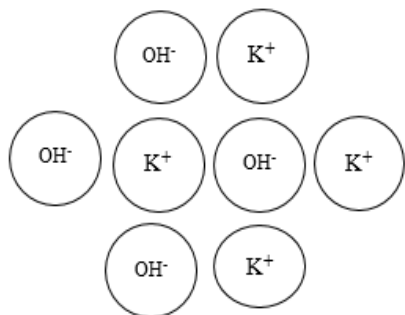
۴) شکل و نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی مولکول‌های  $CH_4$  و  $CCl_4$  مشابه یکدیگر است.

تست ۶: (تجربی اردیبهشت ۱۴۰۳)

کدام مورد دربارهٔ سیلیس و یخ درست است؟

- ۱) ساختار سیلیس، سه‌بُعدی و ساختار یخ، دو‌بُعدی است.
- ۲) در سیلیس هر اتم سیلیسیم، با دو اتم اکسیژن، پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهد.
- ۳) سیلیس خالص، کدر و یخ، شفاف است و هر دو، ساختار شش‌گوشه دارند.
- ۴) ساختار یخ منظم است و مولکول‌های آب، شبکه‌ای مانند کندوی زنبور عسل به وجود می‌آورند.

## جامدات یونی

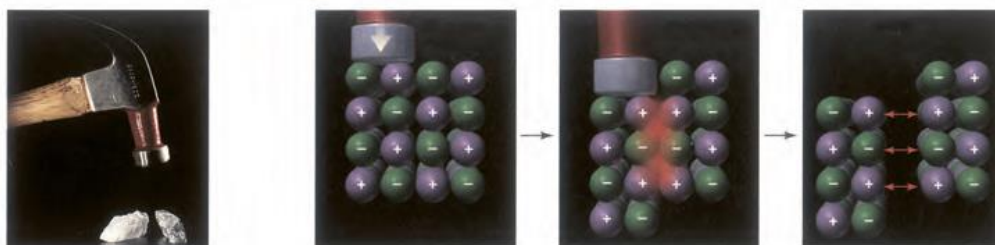


۱- شبکه بلور آن‌ها از چیدمان منظم کاتیون و آنیون تشکیل شده است.

۲- تشخیص: نافلز(ات) + فلز  
 ۳- انواع جامدات یونی } باز  
                                   } اکسید فلز  
                                   } نمک

۴- جامدات یونی با وجودی که از کاتیون و آنیون ساخته شده‌اند، در کل خنثی هستند.

۵- ترکیبات یونی شکننده بوده و در اثر ضربه به صورت دو سطح صاف جدا می‌شوند زیرا در اثر ضربه، یون‌های موافق در کنار یکدیگر قرار گرفته و یکدیگر را دفع می‌کنند.



۶- یون  $NH_4^+$  می‌تواند به جای فلز قرار گرفته و با آنیون‌های مختلف جامد یونی تشکیل دهد.

۷- اگر آنیون از یون چنداتمی (بنیان) ساخته شده باشد و یا کاتیون جامد یونی یون  $NH_4^+$  باشد، ترکیب یونی علاوه بر پیوند یونی دارای پیوند اشتراکی نیز خواهد بود.

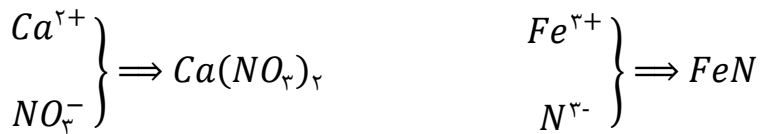
مانند:  $NH_4ClO_3$  ،  $NH_4Cl$  ،  $Fe(NO_3)_2$  ،  $KOH$  و ...

**رسانایی:** ترکیبات یونی در حالت مذاب و محلول رسانایی الکتریکی دارند (الکترولیت قوی). رسانایی این مواد باعث تغییر شیمیایی در آن‌ها می‌شود (برقکافت). در صورتی که رسانایی جامدات فلزی فرآیندی فیزیکی است.

۸- یون‌های منفی تک اتمی به آرایش گاز نجیب هم‌دوره خود می‌رسند. اما یون‌های مثبت (کاتیون) ممکن است به آرایش گاز نجیب قبل از خود برسند (گروه ۱، ۲،  $Al^{3+}$  ،  $Sc^{3+}$  و ...) و یا اصلاً به آرایش گاز نجیب نرسند (اکثر یون‌های فلزات واسطه).

۹- فرمول شیمیایی ترکیبات یونی فرمول تجربی است. (ساده ترین نسبت کاتیون و آنیون ترکیب یونی)

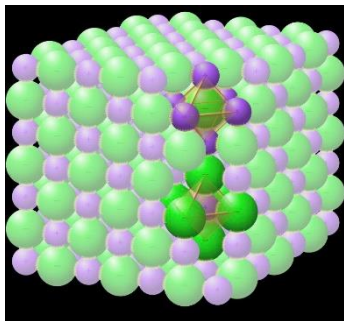
➤ **فرمول نویسی:** کاتیون را در سمت چپ و آنیون را در سمت راست نوشته و بار هر یک را اندیس دیگری قرار داده و در صورت امکان ساده می‌نماییم:



➤ **نام نویسی:** ابتدا نام کاتیون و سپس نام آنیون را می‌آوریم:

$K_2S$	پتاسیم سولفید	$Fe_2(SO_4)_3$	آهن III سولفات
$ZnCO_3$	روی کربنات	$NiPO_4$	نیکل III فسفات

👉 مثال: در  $0.39$  گرم کلسیم فلئورید چند مول یون وجود دارد و چند مول الکترون برای تشکیل این مقدار نمک مبادله شده است؟ ( $Ca = 40$ ,  $F = 19 \frac{g}{mol}$ )



**عدد کوئوردیناسیون:** به شمار نزدیک‌ترین یون‌های ناهمنام پیرامون هر یون در شبکه بلور، عدد کوئوردیناسیون آن یون می‌گویند.

✓ به عنوان مثال در سدیم کلرید که دارای شبکه بلوری مکعبی است، هر یون  $Na^+$  توسط ۶ یون  $Cl^-$  احاطه شده است (عدد کوئوردیناس  $Na^+$  برابر ۶ است) و هر یون  $Cl^-$  توسط ۶ یون  $Na^+$  محاصره شده است (عدد کوئوردیناس  $Cl^-$  برابر ۶ است).

✓ عدد کوئوردیناسیون ترکیبات یونی می‌تواند متفاوت باشد، اما نسبت عدد کوئوردیناسیون یون‌ها در یک جامد یونی را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

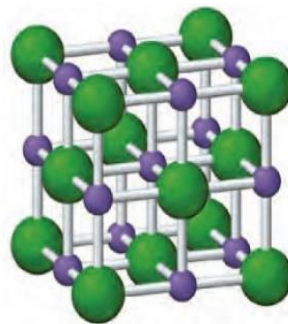
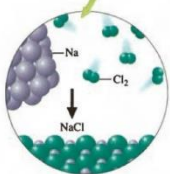
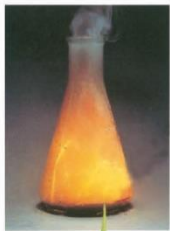
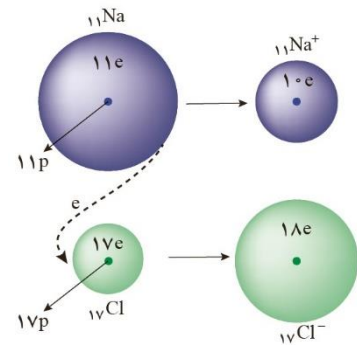
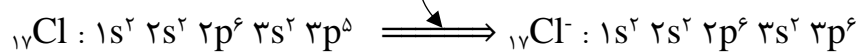
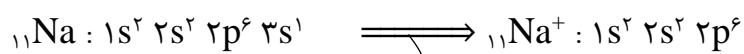
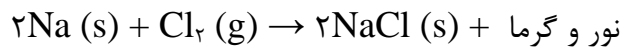
$$\frac{\text{عدد کوئوردیناسیون آنیون}}{\text{اندیس کاتیون}} = \frac{\text{اندیس آنیون}}{\text{عدد کوئوردیناسیون کاتیون}}$$

به عنوان مثال نسبت فوق برای  $Al_2O_3$  برابر با  $\frac{2}{3}$  است.

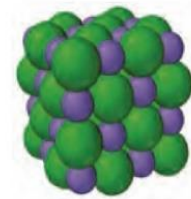
مثال: اگر عدد کوئوردیناسیون کاتیون در کلسیم فلئورید برابر ۸ باشد، عدد کوئوردیناسیون آنیون آن چند است؟

بررسی تشکیل NaCl از Na (جامد فلزی) و Cl<sub>2</sub> (جامد مولکولی)

سدیم فلزی نقره‌ای رنگ بوده و همانند دیگر فلزات جاذبه هسته آن بر الکترون لایه ظرفیت (3s<sup>1</sup>) کم می‌باشد. گاز کلر زرد رنگ بوده و دارای پیوند اشتراکی Cl - Cl می‌باشد و مانند مابقی نافلزات جاذبه هسته آن به الکترون‌های لایه ظرفیت (3s<sup>2</sup> 3p<sup>5</sup>) زیاد می‌باشد. در اثر مجاورت این دو با هم، ابتدا پیوند اشتراکی مولکولی کلر شکسته شده و اتم‌های کلر با یک الکترون منفرد ایجاد می‌شوند که این الکترون‌های منفرد الکترون لایه ظرفیت اتم‌های سدیم را جدا کرده و یون Na<sup>+</sup> و Cl<sup>-</sup> تولید می‌شود که با جاذبه یونی به یکدیگر متصل شده و جامدی سفید رنگ (نمک طعام) ایجاد می‌شود:



(ب)



(آ)

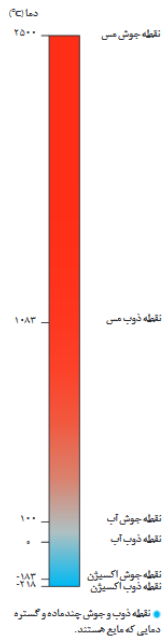
شکل ۹- آرایش یون‌ها در شبکه بلوری سدیم کلرید (آ) فضا پرکن (ب) گلوله و میله

در ترکیبات یونی نیروهای دافعه بین یون‌های هم‌نام و جاذبه بین یون‌های ناهم‌نام در تمام فاصله‌ها و جهت‌ها وجود دارد، اما نیروی جاذبه‌ی بین یون‌های ناهم‌نام در نیروهای دافعه‌ی بین یون‌های هم‌نام غلبه دارد.

مقایسه نقطه ذوب و جوش جامدات یونی، فلزی و مولکولی

۱- دمای ذوب و جوش جامدات یونی و فلزی بسیار بالاتر از جامدات مولکولی است. زیرا برای ذوب یا به جوش آوردن جامدات یونی و فلزی باید بر پیوند قوی یونی و فلزی غلبه کرد، اما در ترکیبات مولکولی کافی است نیروهای ضعیف بین مولکولی سست یا شکسته شوند.

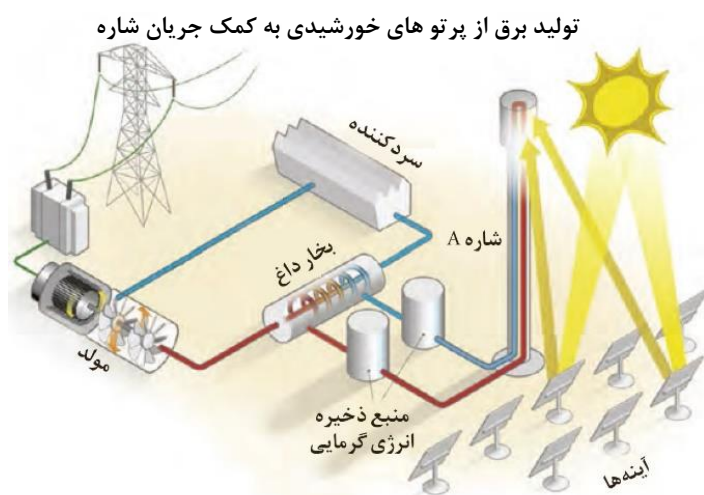
۲- مطابق یک قاعده کلی، هر چه نیروهای جاذبه میان ذرات سازنده یک ماده خالص قوی تر باشد، هم دمای ذوب و جوش جسم بالاتر می‌رود و هم تفاوت بین دمای ذوب و جوش آن بیشتر شده و در گستره (بازه‌ی) دمای بیشتری به حالت مایع باقی می‌ماند.



NaCl: بین گستره دمای  $801^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $1413^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.  
 Cu: بین گستره دمای  $1082^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $2500^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.  
 $H_2O$ : بین گستره دمای  $0^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $100^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.  
 HF: بین گستره دمای  $-83^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $19^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.  
 $O_2$ : بین گستره دمای  $-218^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $-183^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.  
 $N_2$ : بین گستره دمای  $-210^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه ذوب) تا  $-196^{\circ}$  سانتی‌گراد (نقطه جوش) مایع است.

ماده	نقطه ذوب ( $^{\circ}C$ )	نقطه جوش ( $^{\circ}C$ )
$N_2$	-210	-196
HF	-83	19
NaCl	801	1413

هنرنامی شاره (سیال) های مولکولی و یونی برای تولید برق



۱- آینه های منعکس کننده پرتو های خورشیدی، نور را در برج گیرنده متمرکز می‌کنند.

۲- در برج گیرنده پرتوهای خورشیدی که در آن لوله‌های سدیم کلرید مذاب عبور می‌کنند (شاره یا سیال) دمای سدیم کلرید مذاب از حدود  $850^{\circ}C$  تا حدود  $1350^{\circ}C$  بالا می‌رود.


۳- سدیم کلرید پیرانرژی در سیستمی بسته به سمت محفظه‌ی تولید کننده بخار آب حرکت

می‌کند، در این محفظه لوله‌های NaCl مذاب به دور لوله‌های حاوی آب (H<sub>2</sub>O) چرخیده و انرژی گرمایی NaCl به آب منتقل شده و باعث به جوش آمدن آب در لوله‌های سیستم بسته H<sub>2</sub>O می‌شود.

۴- بخار آب پر انرژی به سمت توربین (مولد) جریان الکتریکی رفته و باعث تولید جریان الکتریکی در مولد شده و دمای آب کاهش یافته و مجدد به سمت محفظه‌ی اولیه حرکت می‌کند تا توسط سدیم کلرید مذاب مجدداً به دمای جوش برسد.

۵- سدیم کلریدی که دمای آن از ۱۳۵۰ °C به حدود ۸۵۰ °C رسیده است، مجدداً به برج گیرنده پرتوهای خورشیدی پمپ می‌شود تا با دریافت انرژی مجدداً به دمای بالاتر رسیده و چرخه مذکور مجدداً تکرار می‌شود.

✓ نکته: شاره‌ای که پرتوهای خورشیدی را دریافت می‌کند، می‌بایست در گستره دمای زیادی به حالت مایع باقی بماند تا بتواند انرژی گرمایی بیشتری را در خود ذخیره و منتقل کند، به همین دلیل از ترکیب یونی مانند (NaCl) استفاده می‌شود.

نست: کدام گزینه در مورد تولید برق خورشیدی به کمک شاره صحیح است؟ 

(۱) شاره‌ای که پرتوهای خورشیدی را دریافت می‌کند می‌بایست ترکیب یونی باشد تا در گستره دمای کمی به حالت مایع باشد.

(۲) N<sub>2</sub> نسبت به H<sub>2</sub>O دمای ذوب و جوش پایین تر داشته و در گستره دمایی بیشتری مایع است.

(۳) شاره‌ای که توربین را به حرکت درمی‌آورد، بخار آب است.

(۴) دو شاره H<sub>2</sub>O و NaCl در محفظه‌ی موردنظر مدتی با هم مخلوط می‌شوند.

### چگالی بار یون‌ها و روش‌های محاسبه آن

چگالی بار هر یون نشان‌دهنده مقدار بار یون در واحد حجم است (تراکم بار) که برای مقایسه میزان برهم کنش میان یون‌ها به کار می‌رود:

$$\text{چگالی بار یون} = \frac{\text{بار یون}}{\text{حجم یون}}$$

✓ در حد کتاب درسی و کنکور، به روش‌های زیر، چگالی **حدودی** بار یون‌ها را محاسبه می‌کنیم.

(۱) محاسبه حدودی چگالی بار یون (وقتی شعاع یون را داشته باشیم):

$$\text{چگالی بار یون} = \frac{|\text{بار یون}|}{\text{شعاع یون}}$$

اگر در تست مقدار دقیق شعاع دویا چند یون را دادند می‌توان با استفاده از رابطه روبه‌رو، به طور حدودی چگالی بار آن‌ها را به دست آورده و با هم مقایسه کنیم.

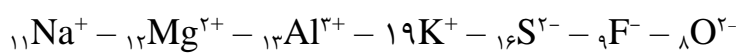
مثال: اگر شعاع یون  $\text{Na}^+$  و  $\text{S}^{2-}$  به ترتیب  $10^2$  و  $184$  پیکومتر باشد، چگالی بار آن‌ها را به دست آورید.

جواب:  $\rho_{\text{Na}^+} = \frac{1}{10^2} = 9/8 \times 10^{-3}$  بار  $\rho_{\text{S}^{2-}} = \frac{2}{184} = 1/0.9 \times 10^{-2}$

(۲) محاسبه حدودی چگالی بار یون (وقتی شعاع یون را نداشته باشیم):

به طور کلی اولویت ۱: هرچه قدر مطلق بار یونی بیشتر باشد، چگالی بار آن بیشتر است. اولویت ۲: اگر قدر مطلق بار دو یون یکسان بود، یونی که تعداد لایه کمتر دارد، چگالی بار بیشتر دارد. اولویت ۳: اگر تعداد لایه نیز یکسان بود، یونی که پروتون بیشتری دارد، چگالی بار بیشتر دارد.

مثال: چگالی بار یون‌های زیر را با هم مقایسه کنید:



### با هم بیندیشیم

۱- توضیح دهید چرا برای توصیف ترکیب‌های یونی در منابع علمی معتبر هیچ گاه واژه‌هایی مانند مولکول و فرمول مولکولی به کار نمی‌رود؟

۲- جدول زیر اندازه شعاع برخی یون‌های متداول را در مقایسه با اندازه اتم سازنده آنها نشان می‌دهد. در مورد این جدول با یکدیگر گفت و گو کنید و روندهای موجود در آن را توضیح دهید.

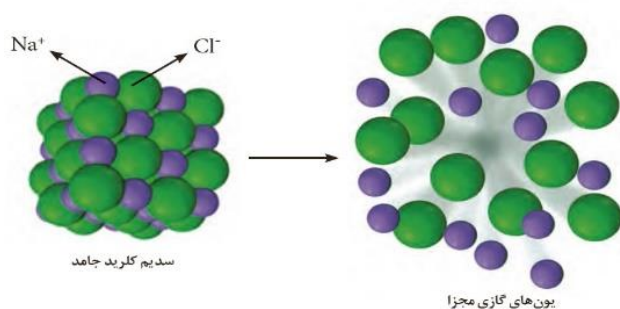
گروه	دوره	۱۶	۱۷	۲	۱
دوم		O ۲- ۷۳.۱۴۰	F ۱- ۷۱.۱۳۳		Li ۱+ ۱۵۲.۷۶
سوم		S ۲- ۱۰۲.۱۸۴	Cl ۱- ۹۹.۱۸۱	Mg ۲+ ۱۶۰.۷۲	Na ۱+ ۱۸۶.۱۰۲

۳- اگر هریون را کره‌ای باردار در نظر بگیرید، چگالی بار هم‌ارز با نسبت بار به حجم آن است. کمیتی که می‌تواند برای مقایسهٔ میزان برهم‌کنش میان یون‌ها به کار رود. نسبت ساده‌تری که می‌توان به کاربرد، نسبت مقدار بار یون به شعاع آن است. با این توصیف جدول زیر را کامل کنید و به پرسش‌ها پاسخ دهید.

نسبت بار به شعاع	شعاع (pm)	آنیون	نسبت بار به شعاع	شعاع (pm)	کاتیون
...	۱۳۳	F <sup>-</sup>	$9/80 \times 10^{-2}$	۱۰۲	Na <sup>+</sup>
...	۱۸۱	Cl <sup>-</sup>	$7/24 \times 10^{-2}$	...	K <sup>+</sup>
...	۱۴۰	O <sup>۲-</sup>	$2/77 \times 10^{-2}$	...	Mg <sup>۲+</sup>
$1/09 \times 10^{-2}$	۱۸۴	S <sup>۲-</sup>	...	۹۹	Ca <sup>۲+</sup>

ا) چگالی بار کدام کاتیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟  
 ب) چگالی بار کدام آنیون کمتر و کدام یک بیشتر است؟ چرا؟  
 پ) پیش‌بینی کنید نیروی جاذبه میان کدام کاتیون با کدام آنیون از همه قوی‌تر است؟ چرا؟  
 ت) پیش‌بینی کنید نیروی جاذبه میان کدام کاتیون با کدام آنیون از همه ضعیف‌تر است؟ چرا؟

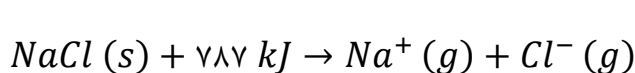
### آنتالپی فروپاشی شبکه یا فروپاشی $\Delta H$



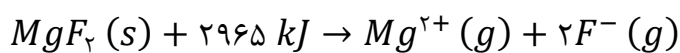
شکل ۱۰- فروپاشی شبکه یونی سدیم کلرید و تبدیل آن به یون‌های گازی مجزا

انرژی لازم در فشار ثابت برای فروپاشی ۱ مول جامد یونی و تبدیل آن به یون‌های گازی سازنده را آنتالپی فروپاشی شبکه یا آنتالپی فروپاشی گویند.

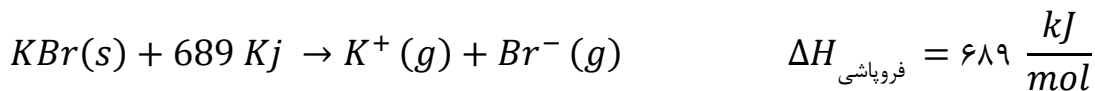
$$\left( \frac{kJ}{mol} \right)$$



$$\Delta H_{\text{فروپاشی}} = 787 \frac{kJ}{mol}$$



$$\Delta H_{\text{فروپاشی}} = 2965 \frac{kJ}{mol}$$



✓ نکته: هر چه چگالی بار یون بیشتر باشد، نیروی جاذبه میان یون ها قوی تر بوده، در نتیجه آنتالپی شبکه ترکیب یونی بیشتر شده و دمای ذوب و جوش آن بالاتر خواهد بود.

### مقایسه آنتالپی شبکه و ذوب جامدات یونی

➤ روش ۱: مقدار شعاع یا چگالی بار یون ها را داشته باشیم:

در این صورت چگالی بار یک کاتیون و یک آنیون هر ترکیب یونی را با هم جمع کرده و هر ترکیبی که مجموع این عدد در آن بیشتر باشد، انرژی شبکه و ذوب بالاتری دارد.

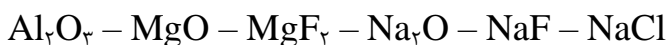
مثال: اگر نسبت بار به شعاع یون های  $Na^+$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $F^-$  و  $O^{2-}$  به ترتیب برابر با  $9/8 \times 10^{-3}$ ،  $27 \times 10^{-3}$ ،  $7/5 \times 10^{-3}$  و  $14 \times 10^{-3}$  باشد، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب  $NaF$ ،  $Na_2O$ ،  $MgF_2$  و  $MgO$  را مقایسه کنید.

➤ روش ۲: مقدار شعاع یا چگالی بار یون ها را نداشته باشیم:

اولویت ۱: هر ترکیبی که جمع قدرمطلق بار یک کاتیون و یک آنیون بیشتری داشته باشد، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب بیشتری دارد.

اولویت ۲: چنانچه جمع قدرمطلق بار یون ها برابر بود، هرچه شعاع یون ها کوچک تر باشد (تعداد لایه کمتر)، آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب بیشتری دارد.

مثال: آنتالپی فروپاشی شبکه و دمای ذوب ترکیبات یونی زیر را مقایسه کنید:



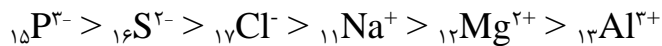
📌 نکته ۱: در یک گروه از بالا به پایین به دلیل افزایش تعداد لایه ها، شعاع یونی هم همانند شعاع اتمی افزایش می یابد، در نتیجه آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب ترکیبات یونی حاصل از یون عناصر کاهش می یابد.

$LiF > LiCl > LiBr > LiI$  : آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب

$LiF > NaF > KF > RbF$  : آنتالپی فروپاشی و دمای ذوب

نکته ۲: هر چند در یک دوره از چپ به راست با ثابت ماندن تعداد لایه ولی افزایش تعداد پروتون، شعاع اتمی کاهش می‌یابد، اما روند تغییر شعاع یونی در یک دوره منظم نیست.

به عنوان مثال شعاع یونی عناصر دوره سوم:



### خود را بیازمایید

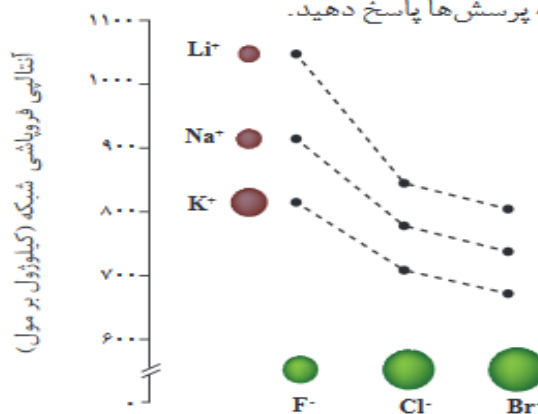
۱- در هر مورد با خط زدن واژه نادرست، هر یک از عبارات‌های زیر را کامل کنید:

آ) آنتالپی فروپاشی، گرمای  $\frac{\text{آزاد}}{\text{مصرف}}$  شده در فشار ثابت برای فروپاشی یک  $\frac{\text{مول}}{\text{گرم}}$  از شبکه یونی و تبدیل آن به  $\frac{\text{اتم‌های}}{\text{یون‌های}}$  گازی سازنده است.

ب) هر چه  $\frac{\text{بار}}{\text{چگالی بار}}$  یون‌های سازنده یک جامد یونی کمتر باشد، شبکه آن  $\frac{\text{آسان‌تر}}{\text{دشوارتر}}$  فروپاشیده می‌شود.

۲- با توجه به داده‌های متن درس پیش‌بینی کنید کدام آنتالپی فروپاشی شبکه را می‌توان به  $\text{KCl(s)}$  نسبت داد؟ چرا؟  $۷۱۷ \text{ kJmol}^{-1}$ ،  $۶۴۹$  یا  $۱۰۳۷$

۳- با توجه به نمودار زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.





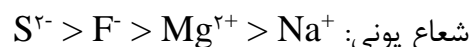
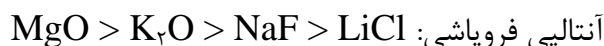
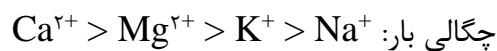
**تست ۱:** اگر تفاوت شما رالکترون‌ها و نوترون‌ها در  ${}^{A}X$  برابر ۱۲ باشد، یک واحد فرمولی از ترکیب X با کدام آنیون زیر دارای اتم‌های بیشتری است؟

(۱) سیلیکات (۲) هیدروکسید (۳) کربنات (۴) فسفات

**تست ۲:** مقادارهای ۹۳۰، ۲۴۰۰، ۲۹۰۰ و ۳۸۰۰ (برحسب کیلوژول بر مول)، را به ترتیب از راست به چپ به انرژی فروپاشی شبکه بلور کدام جامد یونی می‌توان نسبت داد؟

(۱) سدیم فلوئورید، منیزیم فلوئورید، سدیم اکسید، منیزیم اکسید  
 (۲) منیزیم فلوئورید، سدیم فلوئورید، منیزیم اکسید، سدیم اکسید  
 (۳) سدیم فلوئورید، منیزیم اکسید، سدیم اکسید، منیزیم فلوئورید  
 (۴) سدیم فلوئورید، سدیم اکسید، منیزیم فلوئورید، منیزیم اکسید

**تست ۳:** چند مورد از مقایسه‌های زیر درست است؟



(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴

**تست ۴:** در کدام گزینه همه گونه‌ها در حالت مایع و محلول در آب رسانای برق هستند؟



**تست ۵:** کدام عبارت نادرست است؟

(۱) جامدهای یونی سخت هستند ولی در اثر ضربه در راستای معینی می‌شکنند.

(۲) نسبت عدد کوئوردیناسیون کاتیون به آنیون در  $Na_3N$  برابر  $\frac{1}{3}$  است.

(۳) نیروی یونی در تمام جهات وجود دارد و قدرت آن از پیوند کووالانسی بیشتر است.

(۴) در اثر عبور جریان برق از ترکیب‌های یونی مذاب یا محلول واکنش شیمیایی اتفاق می‌افتد.

تست ۶: چه تعداد از عبارتهای زیر در جامدهای یونی صادق است؟

- در بلور آنها تعداد کاتیون و آنیون برابر است.
  - زیروند هر یون لزوماً بیانگر تعداد آن و بار یون دیگر است.
  - بسیاری از آنها در حلالهای قطبی مانند آب حل نمی‌شوند.
  - فاقد پیوند اشتراکی هستند.
  - در آنها همه یونها به آرایش الکترونی گاز نجیب می‌رسند.
- ۱ (۱)                      ۲ (۲)                      ۳ (۳)                      ۴ (۴)

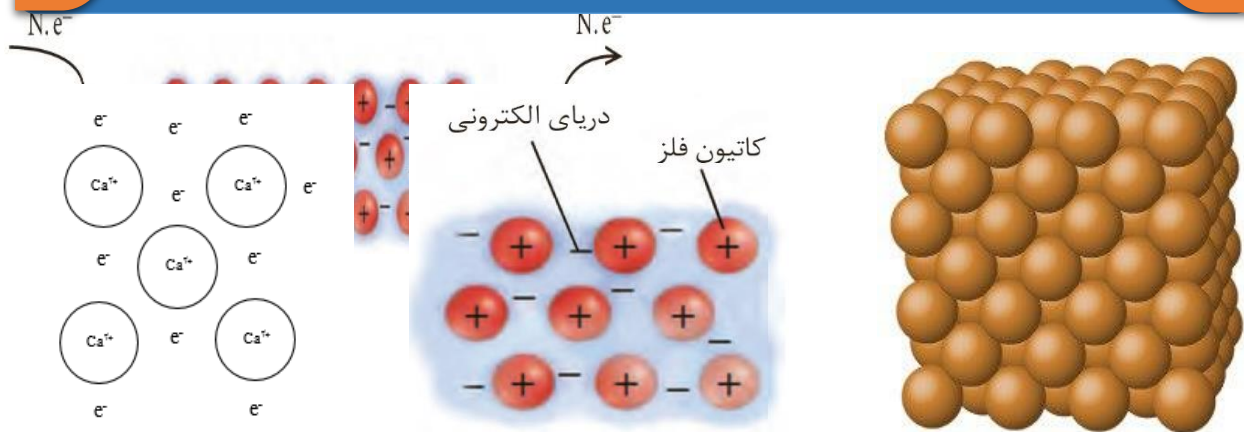
تست ۷: کدام گزینه نادرست است؟

- (۱) دمای ذوب:  $\text{MgF}_2 > \text{MgCl}_2 > \text{SO}_2$
- (۲) رسانایی محلول ۱ مولار:  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 > \text{CaSO}_4 > \text{HCl} > \text{HF}$
- (۳) دمای ذوب:  $\text{SiC} > \text{CaO} > \text{CaF}_2 > \text{F}_2$
- (۴) تعداد پیوند کووالانسی در یک واحد از فرمول شیمیایی:  $\text{CH}_4 > \text{Ca}(\text{OH})_2 > \text{CaF}_2$

تست ۸: کدام عبارت در مورد چهار دسته مواد (جامدات) نادرست است؟

- (۱) در دمای  $25^\circ\text{C}$  فقط جامدات مولکولی و جیوه مایع یا گاز می‌توانند باشند.
- (۲) تنها جامدی که در حالت جامد رسانای برق می‌باشد، جامد فلزی است.
- (۳) جامدات یونی در حالت مذاب و محلول و بعضی جامدات مولکولی در حالت محلول رسانای برق می‌باشند.
- (۴) واژه شبکه بلور در مورد هر چهار دسته آنها تعریف می‌شود.

## جامدات فلزی



➤ شبکه بلور آن‌ها از کاتیون‌های فلزی در دریایی از الکترون‌های شناور تشکیل شده است.

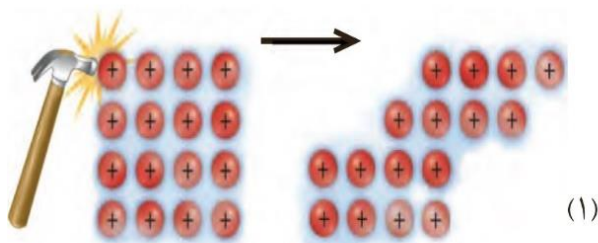
**پیوند فلزی:** در فلزات الکترون‌های لایه ظرفیت (الکترون‌های آزاد یا شناور) به طور آزادانه به دور همه کاتیون‌های فلزی حرکت کرده و سبب در کنار هم باقی ماندن کاتیون‌های فلزی می‌شوند. به عبارتی پیوند فلزی نیروی جاذبه‌ای است که از تاثیر متقابل بین الکترون‌های لایه ظرفیت و هسته اتم‌ها که بار مثبت دارند، به وجود می‌آید.

➤ **تشخیص:** فلز تنها و یا آلیاژ فلزات.

📌 **نکته ۱:** بسیاری از ویژگی‌های فلزات از جمله چکش خوار بودن، رسانایی الکتریکی و گرمایی، جلائی فلزی به دلیل الکترون‌های آزاد لایه ظرفیت آن‌هاست.

**نکته ۲:** جامدات فلزی هم همانند سه دسته جامد دیگر در کل خنثی هستند. به عنوان مثال در بلور کلسیم به ازای هر یون  $\text{Ca}^{2+}$  دو عدد الکترون وجود دارد و در کل خنثی است.

➤ **توجیه چکش خوار بودن فلزات (شکل پذیری):** هرچند کاتیون‌ها در اثر ضربه جابه‌جا می‌شوند اما



چون الکترون‌های آزاد با سرعت زیاد در لایه-لای کاتیون‌ها در شبکه بلور در حرکت هستند، در نتیجه مانند چسب کاتیون‌ها را در کنار هم قرار می‌دهند و مانع شکسته شدن بلور جامد فلزی می‌شوند.

➤ **توجیه رسانایی الکتریکی فلزات:** تنها

ماده‌ای که در حالت جامد رسانای برق است، جامدات فلزی و گرافیت هستند. زیرا در اثر قرار گرفتن یک فلز در بین قطب مثبت و منفی یک باتری یا مولد الکتریسیته، شمار مشخصی الکترون ( $N.e^-$ ) از قطب

منفی وارد فلز شده و الکترون‌های آزاد فلز به همان تعداد از طرف دیگر فلز خارج شده و وارد قطب مثبت باتری یا مولد می‌شوند.

➤ **ویژگی مشترک فلزات:** جلای فلزی، رسانایی گرمایی و الکتریکی، شکل پذیری از جمله ویژگی‌های فیزیکی مشترک فلزات است.

➤ از ویژگی‌های مشترک شیمیایی فلزات می‌توان به تمایل به از دست دادن الکترون در واکنش‌ها و تبدیل به کاتیون (غیر از Be) اشاره کرد. در مورد عناصر واسطه نیز و تنوع اعداد اکسایش در اکثر آن‌ها و نیز رنگی بودن اغلب ترکیبات آن‌ها ذکر کرد.

📌 **نکته ۱:** فلزات دسته s (گروه ۱ و ۲) و نیز فلزاتی مانند Al، Sc و Zn دارای یک نوع یون و عدد اکسایش هستند.

**نکته ۲:** فلزات دسته d در ویژگی‌هایی مانند سختی، نقطه ذوب، تنوع اعداد اکسایش و یون پایدار با فلزات دسته sp تفاوت دارد.

- **شرط رسانایی جسم:** وجود ذره باردار (الکترون یا یون) شناور است.
- ✓ جامد مولکولی: اصولاً در هیچ حالتی رسانای الکتریکی نیستند. مگر محلول اسیدها،  $\text{NH}_3$  و اکسید نافلزی.
  - ✓ جامد کووالانسی: گرافیت (C) و نیز حالت عنصری شبه فلزات (Ge, Si).
  - ✓ جامد یونی: در حالت مذاب (مایع) و محلول (فرآیند شیمیایی).
  - ✓ جامد فلزی: در حالت جامد و مذاب (فرآیند فیزیکی).

### ➤ دمای ذوب و سختی فلزات:

غیر از جیوه (Hg)، بقیه جامدات فلزی در دمای اتاق جامد هستند.

از نظر دمای ذوب و سختی: گروه ۱ > گروه ۲ > گروه ۱۳ > فلزات واسطه

## دید رنگ‌ها

۱- همان‌گونه که می‌دانیم چشم انسان فقط امواج الکترومغناطیس با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر را می‌تواند احساس کند.

۲- بنفش کوتاه‌ترین و قرمز بلندترین طول موج نور مرئی در محدوده بینایی انسان‌ها را دارند.



۳- اگر پرتو نوری همه ۷ رنگ نور مرئی را دارا باشد، آن نور به رنگ سفید احساس می‌شود.

۴- از مخلوط سه رنگ اصلی سبز، آبی و قرمز نیز نور سفید ایجاد می‌شود.

۵- اگر جسمی همه ۷ رنگ نور سفید را جذب کند (درصد جذب ۱۰۰٪ و یا درصد بازتابش ۰٪) آن جسم تیره یا سیاه دیده می‌شود. (مانند دوده)



۶- اگر جسمی همه ۷ رنگ نور سفید را بازتابش کند (درصد جذب ۰٪ و یا درصد بازتابش ۱۰۰٪) به رنگ سفید دیده می‌شود (مانند  $\text{TiO}_2$ ).

شکل ۱۱- تابیدن نور و دیدن مواد رنگی

۷- آهن III اکسید ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) به رنگ

قرمز دیده می‌شود. زیرا همه رنگ‌های نور سفید را غیر از قرمز را جذب می‌کند و فقط رنگ قرمز را

## رنگ دانه

بازتابش می‌کند.

سازنده اصلی یک ماده رنگی که به آن ماده رنگ می‌بخشد را رنگ دانه گویند. دوده،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  از جمله رنگ‌دانه‌های معدنی هستند. در گذشته انسان‌ها این مواد رنگی را از منابع طبیعی مانند گیاهان، جانوران و برخی کانی‌ها تهیه می‌کردند. اما امروزه علاوه بر رنگ‌دانه‌های طبیعی از رنگ‌دانه‌های مصنوعی نیز در صنایع نساجی، غذایی و ساختمانی استفاده می‌شود.

✓ رنگ‌هایی که برای پوشش سطح استفاده می‌شوند نوعی کلویید هستند که علاوه بر زیبایی، مانع اکسایش یا واکنش مواد با جسم می‌شوند.

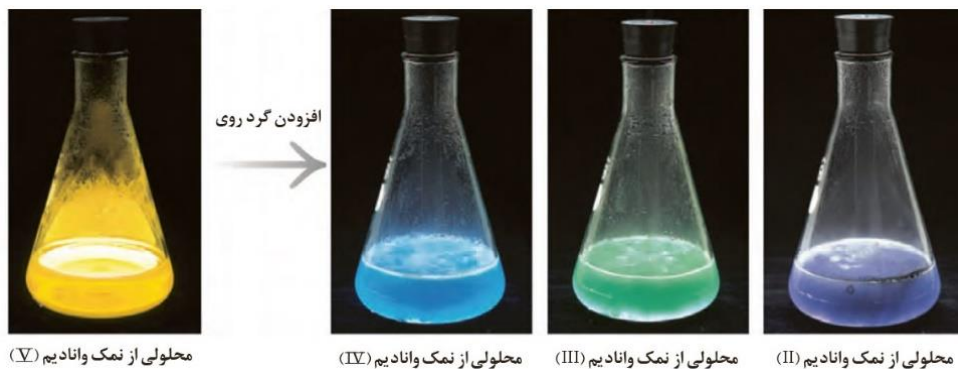
## فلز وانادیم (۲۳V)

۱- سومین عنصر واسطه دوره چهارم و متعلق به گروه پنجم می باشد:



۲- وانادیم می تواند عدد اکسایش +۲، +۳، +۴ و +۵ داشته باشد که رنگ آن ها به ترتیب بنفش، سبز، آبی و زرد است.

۳- چون رنگ هر یون متفاوت است، با کاهش هر یون، رنگ محلول آن تغییر می کند. به عنوان مثال با کاهش مرحله به مرحله یون وانادیوم V در اثر افزودن فلز روی، مراحل و رنگهای زیر مشاهده می شود.



محلولی از نمک وانادیم (V)

محلولی از نمک وانادیم (IV)

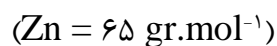
محلولی از نمک وانادیم (III)

محلولی از نمک وانادیم (II)

مثال: آرایش الکترونی وانادیم و یون های آن را رسم کنید.

مثال: مراحل کاهش یافتن نمک وانادیم V به نمک وانادیم II توسط فلز روی را بررسی کنید.

تست: مقدار ۱۳ گرم پودر روی با ۰/۲ مول یون  $\text{V}^{5+}$  واکنش می دهند، رنگ نهایی محلول کدام است؟



زرد (۴)

آبی (۳)

سبز (۲)

بنفش (۱)

فلز تیتانیوم (Ti<sub>۲۲</sub>)

۱- تیتانیوم دومین عنصر واسطه دوره چهارم و متعلق به گروه ۴ می باشد که به دلیل نقطه ذوب بالا، چگالی پایین، مقاومت بالا در برابر خوردگی، واکنش اندک با آب دریا و مقاومت بالا در برابر سایش امروزه کاربرد زیادی در صنایع مختلف دارد. ویژگی های باور نکردنی مانند ماندگاری و استحکام مناسب باعث شده که آن را فلزی فراتر از انتظار بنامند.

## ۲- مقایسه تیتانیوم با فولاد:

فولاد	تیتانیوم	ماده ویژگی
۱۵۳۵	۱۶۶۷	نقطه ذوب (°C)
۷/۹۰	۴/۵۱	چگالی (g mL <sup>-۱</sup> )
متوسط	ناچیز	واکنش با ذره های موجود در آب دریا
ضعیف	عالی	مقاومت در برابر خوردگی
عالی	عالی	مقاومت در برابر سایش

✓ مقاومت در برابر سایش : هر دو عالی

✓ مقاومت در برابر خوردگی: تیتانیوم

عالی است ولی فولاد ضعیف

✓ واکنش با ذره های موجود در آب دریا: تیتانیوم ناچیز، ولی فولاد متوسط

✓ چگالی : تیتانیوم > فولاد

✓ نقطه ذوب: تیتانیوم < فولاد

۳- از تیتانیوم به دلیل کم بودن چگالی، بالا بودن نقطه ذوب و مقاومت در برابر سایش در موتور جت استفاده می شود.

۴- از تیتانیوم به دلیل مقاومت در برابر خوردگی و واکنش پذیری ناچیز با ذره های آب دریا در پروانه کشتی ها استفاده می شود.

۵- از تیتانیوم به دلیل جلای زیبا و مقاومت در برابر خوردگی و چگالی به نسبت کم در بناهای زیبایی مانند موزهی کوگنهایم استفاده می شود.




۶- از تیتانیوم به دلیل مقاومت و استحکام بالا و چگالی کم در ساخت بدنه دوچرخه استفاده می شود.



(آ) سازه فلزی در ارتودنسی (ب) استنت برای رگها (پ) قاب عینک  
شکل ۱۲- برخی کاربردهای تیتانیوم

۷- از آلیاژ تیتانیوم و نیکل که به نام «نیتینول» یا آلیاژ هوشمند اطلاق می شود، در ساخت فرآورده های پزشکی و صنعتی مانند قاب عینک، ارتودنسی و استنت عروق استفاده می شود.

تست ۱: کدام عبارت نادرست است؟ 

- ۱) یون  $V^{4+}$  هم اکسنده و هم کاهنده است و در واکنش با فلز روی نقش اکسندگی ایفا می‌کند.
- ۲) آرایش الکترونی یون  $V^{3+}$  به  $3d^2$  ختم می‌شود و سبز رنگ است.
- ۳) از آلیاژ نیکل و تیتانیوم در ساخت موزه کوگنهایم استفاده شده است.
- ۴) تیتانیوم نسبت به فولاد چگالی کمتر ولی مقاومت در برابر خوردگی و دمای ذوب بالاتر دارد.

تست ۲: چه تعداد از مطالب زیر در مورد جامدات فلزی درست است؟

- در فلزات گروه دوم تعداد الکترون‌های آزاد دو برابر فلزات گروه اول است.
- همه فلزات واسطه دارای چندین عدد اکسایش و ترکیبات رنگی هستند.
- از نظر واکنش‌پذیری و دمای ذوب: فلز دسته  $d >$  فلز دسته  $p >$  فلز دسته  $s$
- ویژگی‌هایی مانند رسانایی گرمایی و الکتریکی و شکل‌پذیری و چگالی زیاد فلزات واسطه به خاطر الکترون شناور لایه ظرفیت آن‌هاست.

۴ (۴)

۳ (۳)

۲ (۲)

۱ (۱)

تست ۳: (ریاضی اردیبهشت ۱۴۰۳)

کدام موارد، درباره مقایسه ویژگی‌های فولاد و تیتانیوم درست است؟

الف: نقطه ذوب: فولاد > تیتانیوم

ب: شدت واکنش خوردگی: تیتانیوم > فولاد

پ: مقاومت در برابر واکنش با ذره‌های موجود در آب دریا: فولاد < تیتانیوم

ت: میزان استفاده در ساخت پروانه کشتی: فولاد < تیتانیوم

۴ «پ» و «ت»

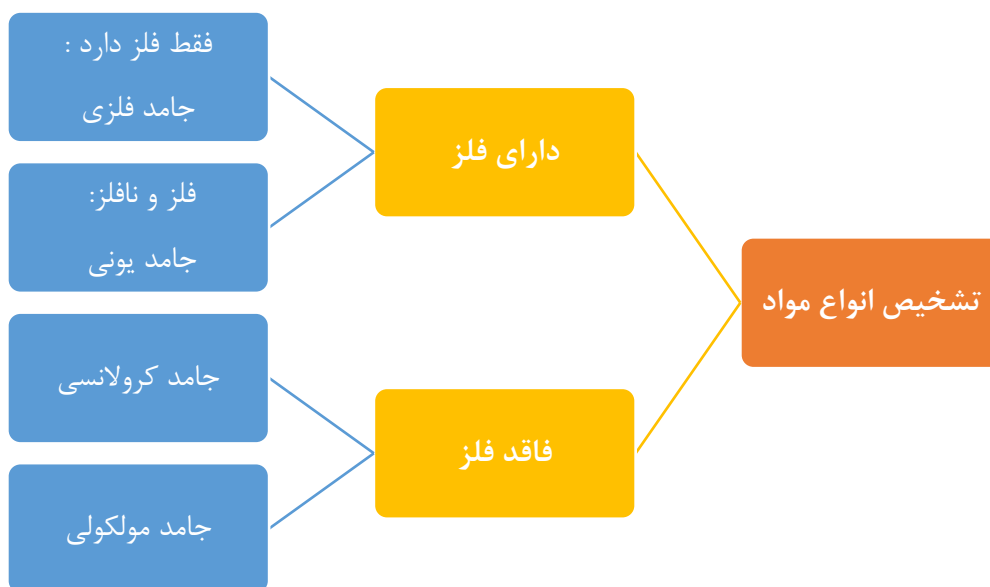
۳ «ب» و «ت»

۲ «الف» و «پ»

۱ «الف» و «ب»

مقایسه خصوصیات چهار دسته مواد

ویژگی ماده	واحد سازنده بلور	روش تشخیص	نقطه ذوب	روش مقایسه نقطه ذوب	رسانایی الکتریکی	رسانایی گرمایی
جامد کووالانسی	اتم‌های متصل در شبکه غول-آسا	Ge, Si, C, SiO <sub>2</sub> و SiC	بسیار بالا	آنتالپی پیوند (طول پیوند)	نارسانا (غیر از گرافیت و شبه فلزات)	دارند غیر از گرافیت
جامد مولکولی	مولکول	غیر از سه دسته دیگر	بسیار پایین	۱- پیوند هیدروژنی ۲- جرم و حجم	نارسانا (مگر اسید و اکسید نافلز و NH <sub>3</sub> محلول)	X
جامد یونی	کاتیون و آنیون	فلز و نافلز	بالا	چگالی بار یونها	مذاب و محلول	X
جامد فلزی	کاتیون در دریای آزاد الکترون‌ها	فلز تنها یا آلیاژ آنها	فلز واسطه بالا و فلزات اصلی متوسط	فلز واسطه بیشتر از فلزات اصلی	مذاب و جامد	بالا



## تمرین های دوره ای

۱- با توجه به ۳۶ عنصر نخست جدول دوره ای عنصرها به پرسش های زیر پاسخ دهید.

(آ) عنصرهای کدام گروه ها جزو مواد مولکولی هستند؟

(ب) عنصرهای کدام گروه جزو مواد کووالانسی هستند؟

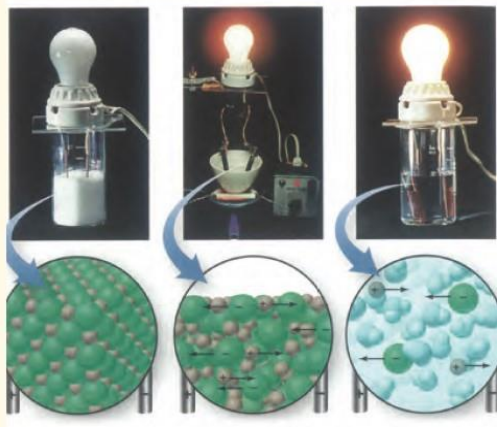
(پ) عنصرهای کدام دسته (s, p یا d) همگی فلزند؟

۲- سیلیسیم کربید (SiC) یک ساینده ارزان است که در تهیه سنباده به کار می رود.

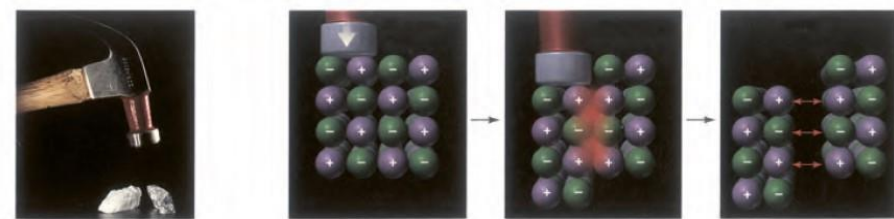
(آ) این ماده را در کدام دسته از مواد جای می دهید؟ چرا؟

(ب) سختی آن را در مقایسه با الماس و سیلیسیم پیش بینی کنید.

۳- هر یک از شکل های زیر رفتاری از مواد یونی را نشان می دهد. در هر مورد آن رفتار را با دلیل توصیف کنید.



(آ)



(ب)

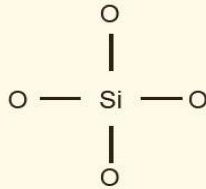
۴- برای هر یک از جمله های زیر دلیل بنویسید.

(آ) تنوع و شمار مواد مولکولی بیشتر از مواد کووالانسی است.

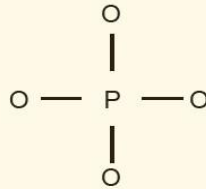
(ب) ترکیب هایی که در دما و فشار اتاق به حالت مایع هستند، جزو مواد مولکولی به شمار می روند.

(پ) ترتیب واکنش پذیری فلزهای پتاسیم، کلسیم و تیتانیوم به صورت  $K > Ca > Ti$  است.

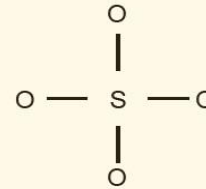
۵- سیلیسیم، فسفر و گوگرد از جمله عنصرهای اکسیژن دوست هستند به طوری که در طبیعت به شکل نمک‌های اکسیژن دار یافت می‌شوند. با توجه به ساختار لوویس آنیون‌های زیر به پرسش‌ها پاسخ دهید.



یون سیلیکات



یون فسفات

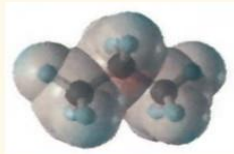


یون سولفات

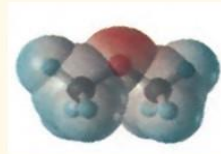
آ) هریک از ساختارهای لوویس را با جفت نقطه‌ها کامل کرده سپس بار الکتریکی هر آنیون را مشخص کنید.

ب) فرمول شیمیایی نمک حاصل از این آنیون‌ها را با یون سدیم سپس یون کلسیم بنویسید.

۶- نقشه‌های پتانسیل الکتروستاتیکی پروپان و دی‌متیل‌اتر با جرم مولی نزدیک به هم به صورت زیر است. با توجه به آنها به پرسش‌ها پاسخ دهید.



پروپان

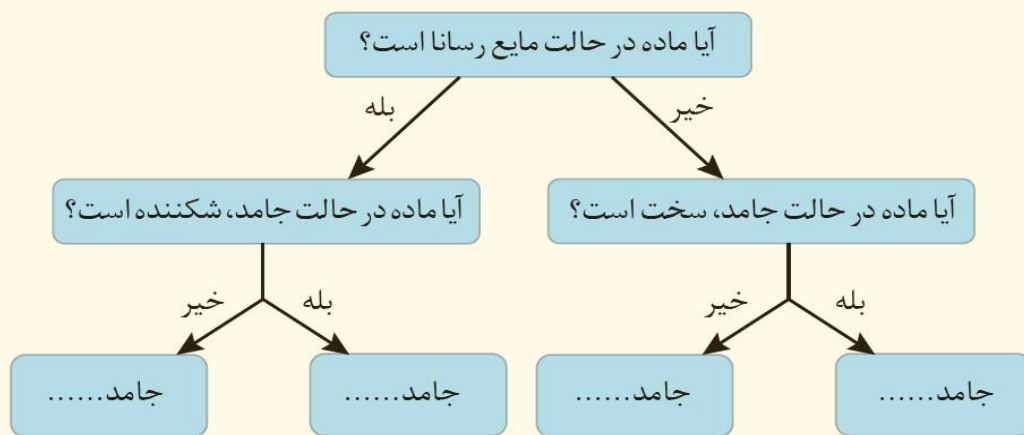


دی‌متیل‌اتر

آ) کدام یک در میدان الکتریکی جهت‌گیری نمی‌کند؟ چرا؟

ب) توضیح دهید کدام یک از این دو ماده گازی شکل، آسان‌تر به مایع تبدیل می‌شود؟

۷- گروهی از دانش‌آموزان همه مواد خالص را براساس رفتار آنها مطابق نمودار زیر دسته‌بندی کرده‌اند. با پر کردن جاهای خالی، نمونه‌ای برای هر جامد مثال بزنید.



## تست جامع فصل



تست ۱: چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟ (با توجه به ۳۶ عنصر اول جدول تناوبی)

- عناصر گروه ۱۶ و ۱۷ ترکیب مولکولی هستند.
- عناصر گروه ۱۴ جامد کووالانسی بوده و کم و بیش رسانایی الکتریسیته و گرمایی دارند.
- همه عناصر دسته s و d جامد فلزی هستند.
- هیچ کدام از این عناصر به تنهایی نمی‌توانند جامد یونی تشکیل دهند.
- گازهای نجیب و کربن تنها نافلزات و بریلیم تنها فلزی است که توانایی تشکیل یون ندارند.

۱ (۱)                      ۲ (۲)                      ۳ (۳)                      ۴ (۴)

تست ۲: کدام گزینه نادرست است؟

- (۱) از نظر تنوع مواد: مواد کووالانسی > مواد فلزی > مواد یونی > مواد مولکولی
- (۲) ترکیبات مولکولی به دلیل کم بودن جاذبه بین ذرات در دمای معمولی گاز یا مایعند.
- (۳) از نظر دمای ذوب و سختی:  $\text{SiC} > \text{KF} > \text{K} > \text{H}_2\text{S}$
- (۴) مواد عنصری ممکن است هر نوع جامدی باشند غیر از جامد یونی

تست ۳: با توجه به جدول مقابل که بخشی از جدول تناوبی است، کدام گزینه نادرست است؟

گروه	۱	۲	۱۶	۱۷
دوره				
۲	A		C	
۳		B		D
۴	E		F	

- (۱) شعاع اتمی B بزرگ‌تر از D و شعاع یونی آن کوچک‌تر از D است.
- (۲) در بین عناصر F تا A بزرگ‌ترین شعاع یونی مربوط به یون پایدار عنصر F است.
- (۳) شعاع یونی عنصر B، کوچک‌تر از شعاع یونی عنصر C است.
- (۴) در یک دوره از چپ به راست شعاع یونی همانند شعاع اتمی کاهش می‌یابد.

تست ۴: با توجه به جدول تست ۳، چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟

- در حالت آزاد (ساده)، این شش عنصر یا جامد فلزی یا جامد مولکولی تشکیل می‌دهند.
- سه عنصر از میان این شش عنصر رسانای الکتریسیته هستند.
- از نظر دمای ذوب و سختی:  $B > E > D > C$
- عناصر A، B، C و D به ترتیب ۱، ۲، ۶ و ۷ الکترون در آخرین زیرلایه دارند.
- چگالی بار یون عنصر B بیشتر از یون C می‌باشد.

۱ (۱)                      ۲ (۲)                      ۳ (۳)                      ۴ (۴)

تست ۵: با توجه به جدول تست ۳، چه تعداد از مطالب زیر نادرست است؟

- (۱) ترکیب حاصل از دو عنصر B و C فرمول BC داشته و دمای ذوب کمتر از B دارد.
  - (۲) دمای ذوب  $FD_2$  بیشتر از  $CD_2$  بوده و هر دو ترکیب مولکولی قطبی هستند.
  - (۳) مواد A، B، E،  $A_2C$  و BF در حالت مذاب رسانای برق هستند.
  - (۴) D در حالت عنصری ترکیبی به فرمول  $D_2$  ایجاد می کند که در میدان الکتریکی جهت گیری نمی کند.
- تست ۶: تعداد الکترون مبادله برای تشکیل  $0/4$  گرم منیزیم اکسید، برابر با تعداد الکترون های پیوندی در چند مول کربونیل سولفید است؟ ( $Mg = 24, O = 16 \text{ gr.mol}^{-1}$ )

(۱)  $2/5 \times 10^{-3}$  (۲)  $5 \times 10^{-3}$

(۳)  $2/5 \times 10^{-2}$  (۴)  $5 \times 10^{-2}$

تست ۷: چه تعداد از مطالب زیر درست است؟

- گرافیت جامد کووالانسی سه بعدی است که از جنبه هایی شبیه جامد فلزی و مولکولی است.
- در  $N_2O_5, SiO_2, NH_4Cl$  پیوند کووالانسی وجود دارد.
- مقدار q در معادله مقابل انرژی شبکه  $Al_2O_3(s)$  است:  $Al_2O_3(s) + q \rightarrow 2Al(g) + \frac{3}{2}O_2(g)$
- در نقشه پتانسیل الکتروستاتیکی  $SO_3$  و  $OCl_2$  عنصر اکسیژن قرمز رنگ نشان داده می شود.
- از عنصر وانادیم به دلیل چگالی کمتر از فولاد و مقاومت در برابر خوردگی در پروانه کشتی ها استفاده می شود.

(۱) ۱ (۲) ۲ (۳) ۳ (۴) ۴