مدرسان شریف

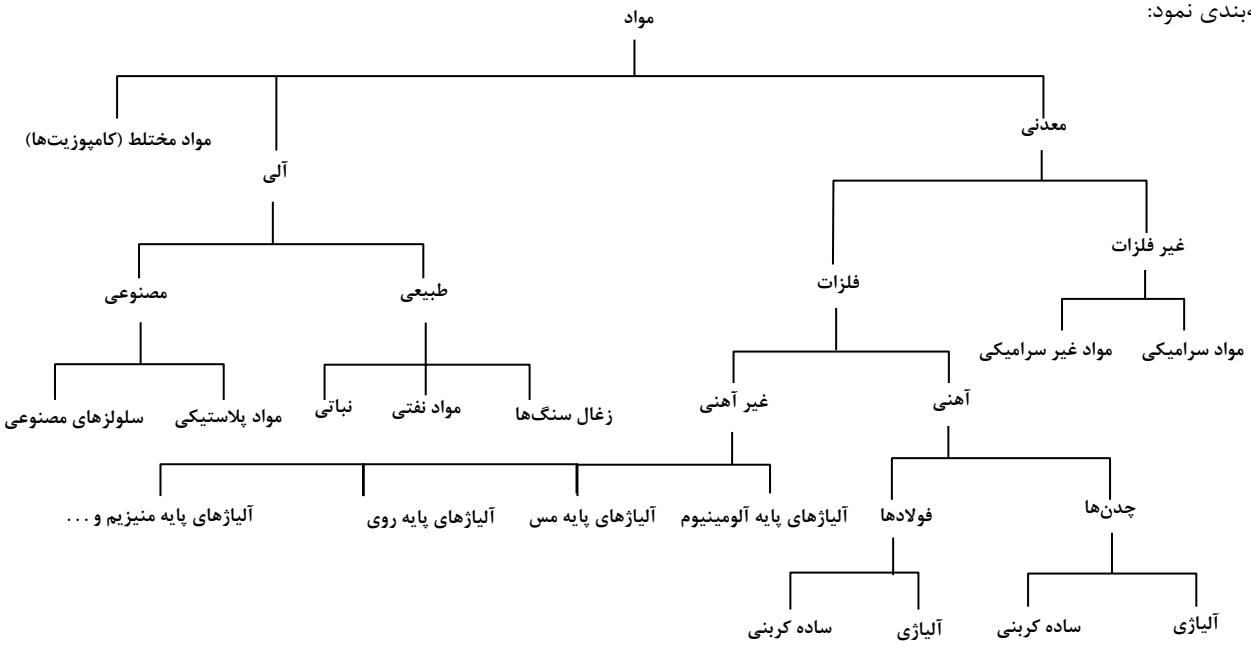
فصل اول

« شناخت علم مواد »

طبقه‌بندی مواد

با توجه به تعریف و آنچه که در تشخیص مواد برداشت می‌شود، مواد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد: مواد معدنی، مواد آلی و مواد مختلط (کامپوزیت‌ها)

در دسته‌بندی فوق، مواد با توجه به خصوصیات منحصر به فرد در شرایط وجودی و کاربردی تقسیم‌بندی شده‌اند. به طورکلی مواد را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی نمود:



مثال ۱: سلولزهای مصنوعی بیشتر در کدام دسته‌بندی مواد قرار می‌گیرند؟

۱) آلی ـ طبیعی ۲) آلی ـ مصنوعی ۳) سرامیک‌ها ۴) طبیعی ـ نباتی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» سلولزهای مصنوعی زیر شاخه مصنوعی مواد آلی هستند.

مثال ۲: کدام مواد در دسته غیر فلزات قرار می‌گیرند؟

۱) چدن‌ها ۲) فولادها ۳) مواد سرامیکی ۴) برنزها

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» مواد سرامیکی از غیر فلزات معدنی هستند.

علم مواد دانشی است که به ترکیب شیمیایی، ساختار، تغییر شکل مواد و ارتباط آن‌ها با خواص مواد می‌پردازد، تا به خواص مورد نظر و نحوه کاربرد آن‌ها دست یابد. عناصر شناخته شده تا امروز که به طور خالص یا ترکیبی یافت می‌شوند، در طبیعت حدود ۱۰۴عنصر هستند که به فلزات، غیر فلزات و نیمه فلزات (شبه فلزات) تقسیم می‌شوند، از بین عناصر کشف شده که قبلاً یاد شده حدود ۴۰عنصر در دسترس صنایع قرار گرفته و کاربرد بیشتری دارند. این عناصر یا به طور خالص و یا به صورت آلیاژ یا مخلوطی از آن‌ها در صنعت و در زندگی روزمره بکار می‌روند و نیازهای متنوع بیشتری را تأمین می‌کنند.

www.modaresanesharif.ac.ir

کره‌ی زمین شامل عناصر فوق و یا ترکیب یا مخلوطی از ترکیب مواد فوق می‌باشد و به طور متوسط چگالی کره‌ی زمین حدود $۵/۵ \frac{g}{cm^۳}$ می‌باشد. بدین ترتیب که مرکز زمین را گدازه‌ای از فلزات سنگین مثل آهن، نیکل ، کبالت ، طلا و . . . و یا ترکیباتی از آن‌ها، تشکیل می‌دهد. در صورتی که پوسته‌ی زمین شامل ترکیبات عناصر سبکتری نظیر آلومینیوم و منیزیم . . . می‌باشد.

کانی‌ها و انواع آن

به طور کلی کانی یا سنگ معدنی (ore)، ماده طبیعی است که در آن، یک یا چند عنصر فلزی با کیفیت و کمیتی وجود دارد که استخراج آن از نظر اقتصادی به صرفه باشد. مثلاً آهن موقعی جهت استخراج به صرفه است که مقدار درصد آهن سنگ معدن بیش از حدود ۳۵٪ باشد و ناخالصی‌های مضّر آن مثل فسفر و گوگرد بسیار کم باشد.

نکته ۱: البته ارزش اقتصادی و قابلیت بهره‌برداری و استخراج مواد معدنی بستگی به چند عامل متغیر دارد.

که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

۱ـ عدم وجود عناصر و ناخالصی‌های مضّر صنعتی دیگر

۲ـ مقدار ذخیره و محل جغرافیایی معادن

۳ـ دسترسی به وسایل و تسهیلات حمل و نقل از معدن تا محل مصرف

کانی‌ها از نظر کلی به چهار دسته‌ی مهم تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱ـ خالص طبیعی ۲ـ اکسید ۳ـ کربنات ۴ـ سیلیکات

تمام کانی‌ها به عنوان مواد اولیه در استخراج مواد فلزی و غیر فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند. درصد بیشتر این کانی‌ها به صورت اکسید است و بعد از آن سولفورها از فراوانی بیشتری در استخراج برخوردارند و عناصر خالص که گاهی در قشر زمین یافت می‌شوند، عبارتند از: طلا و نقره، مس، روی و نیکل، سرب و . . . که احتمالاً از گدازه‌های آتشفشانی از عمق زمین به قشر سطحی آن رسیده‌اند.

در جدول زیر عناصر و فراوانی آن‌ها در زمین و جوّ آن به صورت درصد مشخص شده است.

نام عنصر	علامت اختصاری	مقدار درصد فراوانی در کره‌ی زمین	نام عنصر	علامت اختصاری	مقدار درصد فراوانی در کره‌ی زمین
اکسیژن	O	۴۶/۴۶	هیدروژن	H	۰/۱۴
سیلیسیم	Si	۲۷/۶۷	فسفر	P	۰/۱۲
آلومینیوم	Al	۸/۰۷	کربن	C	۰/۰۹
آهن	Fe	۵/۰۶	منگنز	Mn	۰/۰۹
کلسیم	Ca	۳/۶۴	گوگرد	S	۰/۰۶
سدیم	Na	۲/۷۵	کلر	Cl	۰/۰۵
پتاسیم	K	۲/۵۸	فلوئور	F	۰/۰۳
منیزیم	Mg	۲/۰۷	استرانسیم	Sr	۰/۰۲
تیتانیوم	Ti	۰/۶۲	بقیه عناصر		۰/۵

به طور کلی می‌توان گفت که عمده اختلاف بین فلزات و غیر فلزات روی نوع پیوند آن‌هاست. در این راستا فلزات دارای پیوند فلزی بوده در حالی که غیر فلزات پیوند فلزی ندارند. زمینه‌های بحث علم مواد بسیار وسیع بوده و تمامی موارد مندرج در تعریف فوق را در بر می‌گیرد. در زیر ابتدا به طور مختصر مواد را شناسایی می‌کنیم. سپس بر حسب نیاز رشته‌های مختلف به بحث درباره‌ی بعضی شاخه‌ها به طور کامل می‌پردازیم.

فرق اصلی فلزات و غیر فلزات در نوع پیوند آن‌هاست، به طور کلی پیوند غیر فلزات خطی بوده و جهت حرکت الکترون‌های پیوندی مشخص و معین و محدود به چند اتم می‌باشد، در حالی که فلزات پیوند فلزی داشته و جهت حرکت الکترون‌های پیوندی نامشخص می‌باشند و این الکترونها در سه بعد حرکت می‌کنند و همین عامل باعث می‌شود که الکترون‌های آزاد در حال حرکت حامل انرژی بوده و هدایت الکتریکی و حرارتی بسیار خوبی داشته باشند. پیوند فلزی، پیوندی شبیه پیوند کووالانسی می‌باشد، با این تفاوت که پیوندهای فلزی شامل الکترون‌های آزاد حامل انرژی می‌باشند. ولی پیوندهای کووالانسی، الکترون‌های آزاد ندارند. یکی از دلایل هدایت الکتریکی و حرارتی و تغییر رنگ فلزات همین وجود الکترون‌های آزاد در آن‌هاست. غیر فلزات چون در حالت انجماد پیوند خطی دو بعدی دارند و الکترون‌ها بین اتم‌های محدود در پیوند ، به اشتراک گذاشته می‌شود و آزاد نیستند، بنابراین حامل انرژی الکتریکی و حرارتی نبوده و عایق الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشند. بنابراین غیر فلزات عموماً به عنوان عایق الکتریکی و حرارتی عمل می‌کنند، در حالی که برای هدایت الکتریکی و حرارتی عمدتاً فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در زیر به شرح مختصری درباره‌ی انواع مواد فلزی و غیر فلزی و معدنی غیر آلی می‌پردازیم:

www.modaresanesharif.ac.ir

مواد فلزی، غیرفلزی، سرامیکی

مواد فلزی

مواد فلزی معمولاً هدایت الکتریکی و حرارتی خوبی دارند. بسیاری از این مواد به طور توام استحکام مکانیکی و انعطاف‌پذیری مناسبی را شامل می‌شوند در حالی که عمدتاً این مشخصه در غیرفلزات دیده نمی‌شود. به دلیل توأم بودن استحکام و انعطاف‌پذیری مناسب مواد فلزی گسترهٔ وسیعی از خواص مکانیکی از قبیل مقاومت کششی، مقاومت فشاری، مقاومت به پیچش، مقاومت به خمش یا مقاومت به برش در فلزات دیده می‌شود. فلزات می‌توانند به صورت خالص یا آلیاژی باشند که در این میان آلیاژها در صنایع از کاربرد بیشتری برخوردارند. در حالی که فلزات خالص در صنعت کاربرد محدودی دارند و بیشتر در صنایع الکتریکی و آزمایشگاه‌های تحقیقاتی کاربرد دارند. در فصل‌های بعدی در مورد آلیاژها، نحوه ساخت، انتخاب و کاربرد آن‌ها در صنایع به طورمفصل بحث خواهد شد.

نکته ۲: معمولاً در شرایط دمایی مختلف ، فلزات دارای شبکه‌های کریستالی متفاوتی می‌باشند. تغییرات شبکه کریستالی در اثر تغییرات درجه حرارت را در مواد فلزی آلوتروپی «Alotropy» می‌نامند.

مواد غیر فلزی

مواد غیر فلزی همان طوری که در نمودار طبقه‌بندی مواد مشخص کردیم، وسیع‌اند، دسته‌ای از این مواد معدنی غیر آلی هستند و قسمت عمده آن‌ها مواد سرامیکی‌اند که در صنعت کاربرد وسیعی دارند.

مواد سرامیکی

سرامیک به کلیه «مواد جامد، معدنی و غیر فلزی» گفته می‌شود.

به طور عمده، مواد سرامیکی از ترکیب شیمیایی فلزات با بعضی مواد غیر فلزی به خصوص اکسیژن تشکیل شده‌اند که بیشتر آن‌ها تمایل به ایجاد ترکیبات اکسیدی مثل Fe_2O_3، $(3H_2O)$، $(2Fe_2O_3$، Al_2O_3، MgO، SiO_2، Na_2O، K_2O و CuO و . . . دارند که سیمان، بتن، آجر، سنگ‌های مختلف و آجرهای نسوز و شیشه‌های سرامیکی از آن جمله‌اند و نیز موادی مثل کاربیدها، نیتریدها و سولفیدها مانند VC (کاربید وانادیم) ، TiC (کاربید تیتانیم) و SiC (کاربید سیلیسیم) که در ساخت سنگ سنباده‌ها و نیز ساخت فرزهای انگشتی و ابزارهای برشی و آجرهای نسوز مورد استفاده قرار می‌گیرند و Mg_3N_2 (نیترید منیزیم) و FeS_2 (سولفید آهن) از آن جمله می‌باشند.

بعضی از این مواد در درجه حرارت‌های مختلف ، شکل و ساختمان‌های مختلف پیدا می‌کنند که به آن‌ها چند شکلی(Polymorph) گویند به این شکل‌ها، مدیفیکاسیون نیز گفته می‌شود. به عنوان نمونه، می‌توان از SiO_2 یا سیلیس نام برد که دارای چهار شکل: کوارتز، تریدیمیت، کریستوبالیت و فاز شیشه می‌باشد.

همین طور کربن دارای دو مدیفیکاسیون آرایش می‌باشد و یک مدیفیکاسیون کربن بی‌شکل که عبارتست از : الماس با پیوند کووالانسی و با سختی حدود ۲۰۰۰ برینل و گرافیت با پیوند فلزی با سختی حدود ۲۰ برینل می‌باشد. هرگاه کربن در فشار بسیار بالا و درجه حرارت بالای $3000^{\circ}C$ قرار گیرد، تبدیل به الماس می‌شود که دارای پیوند کووالانسی بسیار قوی است. از این رو الماس دارای سختی بسیار بالا و نیز نقطه‌ی ذوب بالایی است. تمام اجسام سخت را معمولاً به الماس تشبیه می‌کنند. گرافیت نوعی فاز پایدار کربن می‌باشد که هدایت الکتریکی دارد در حالی که الماس فاقد هدایت الکتریکی است. کربن به صورت گرافیت به علت ساختار فلزی لایه‌ای که دارد، و نیز به دلیل داشتن تنش برشی بسیار پایین به عنوان ماده روانکار جهت کاهش اصطکاک در سطوح تماس قطعات کاربرد وسیعی دارد و به دلیل نقطه‌ی ذوب بالا در راکتورهای هسته‌ای ترمز کننده و غلاف سوخت و نیز در ساخت بوته‌های ذوب کاربرد دارد. نوع دیگر ساختار کربن، ساختار بی‌شکل (Amorph) یا شیشه‌ای می‌باشد، که به نام زغال شیشه‌ای معروف است و از تجزیه و تخریب ترکیبات آلی مثل سلولزها ساخته می‌شود که محصول آن به صورت رشته‌های کربن بوده و تحت فشار و درجه حرارت حدود $3000^{\circ}C$ بدست می‌آید. این زغال در حرارت محیط به صورت شیشه می‌شکند و در صنایع شیمیایی کاربرد وسیعی دارد. در ترکیباتی با فرمول SiO_2 بدلیل چهار ظرفیتی بودن سیلیسیم (Si) پیوندهای کووالانسی و پیوند یونی (الکتروولانسی) در آن‌ها هر دو با هم دیده می‌شوند و دارای چهار مدیفیکاسیون با تعدادی آلوتروپی می‌باشند. در مواد سرامیکی ضریب هدایت الکتریکی بسیار کم و حتی منفی است. در حالی که در فلزات هدایت الکتریکی و حرارتی مثبت است. در مواد سرامیکی استحکام فشاری ۵ تا ۱۰ برابر استحکام کششی است. موادی هستند ترد و شکننده و عایق خوبی برای حرارت و هدایت الکتریکی می‌باشند، نقطه ذوب بسیاری از مواد سرامیکی بالا بوده و کاربرد وسیعی در صنایع نسوز و دیرگداز دارند. از دیگر مواد سرامیکی اکسید مواد سیلیکاتی می‌باشد که انواع سیلیکات‌ها و مخلوط آن با سیلیس و اکسید آلومینیوم خاک رس را تشکیل داده و در ساخت آجرهای ساختمانی کاربرد دارد. سیمان نیز از سرامیک‌های اکسیدی است. که ترکیبات عمده آن SiO_2، Al_2O_3 و CaO و Fe_2O_3 است. این اکسیدها پس از پخت در کوره در اثر حرارت به اکسیدهای مرکب مثل: دو کلسیم سیلیکات ($2CaOSiO_2$) و سه کلسیم سیلیکات ($3CaOSiO_2$)، سه کلسیم آلومینات ($3CaO, Al_2O_3$) چهار کلسیم آلومینوفریت ($4CaO, Al_2O_3 . Fe_2O_3$) تبدیل می‌شوند که همان سیمان است.

www.modaresanesharif.ac.ir

مهمترین خصوصیات سیمان پرتلند نرمی ذرات، گیرش، درجه حرارت هیدراتاسیون، مقاومت مکانیکی و سلامت سیمان است. ترکیب منیزیم و فعل و انفعال سولفات کلسیم با ترکیبات یاد شده باعث تهدید سلامت سیمان می‌شود که همان ترک و انبساط و انقباض زیاد در اثر ترکیبات فوق می‌باشد.

نکته ۳: گاهی مواد سرامیکی به صورت تک عنصری ظاهر می‌شوند که از اتمهای ۴ ظرفیتی کربن (C) و سیلیسیم (Si) و ژرمانیم (Ge) تشکیل شده‌اند.

شیشه‌های سیلیکاتی

شیشه‌های سیلیکاتی نور را به خوبی و به طور مرئی در تمام جهات می‌توانند به صورت یکنواخت عبور دهند یعنی خاصیت ایزوتروپ ساختاری دارند و به همین علت در ساخت شیشه‌های در و پنجره ساختمان‌ها، عینک، عدسی، فلزات نوری در صنایع نوری (اپتیکی) مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌ی اصلی شیشه‌های سیلیکاتی از شبکه‌ی نامنظم $(SiO_2)^{4-}$ تشکیل شده است. شیشه‌ی کریستوبالیت به راحتی تولید نمی‌شود. برای کاهش حرارت ذوب مواد اولیه‌ی تهیه شیشه، اکسیدهای کاهنده حرارت ذوب بآن اضافه می‌کنند، مثلاً شیشه‌ی پنجره‌ی منزل از:

SiO_2 و Na_2O و CaO تشکیل شده است. که مقدار اکسید سدیم و کلسیم به ترتیب ۱۵ و ۱۰درصد می‌باشد. شیشه‌های رنگی با افزایش عناصر CO و Cr و Cu و Mn ، به شیشه مذاب به دست می‌آیند. مقدار درصد افزایش عناصر فوق برای رنگی کردن شیشه کم است. مثلاً برای آبی کردن رنگ شیشه ۰/۰۵ درصد CaO به آن اضافه می‌کنند. یون‌های آهن رنگ نامطلوب به شیشه می‌دهند. برای بدست آوردن شیشه شفاف، بایستی از سنگ‌های کوارتزی استفاده کرد.

گاهی مواد سرامیکی به صورت تک عنصری ظاهر می‌شوند. اهم آن‌ها نیمه فلزها (شبه فلزات) مثل کربن (C) و سیلیسیم (Si) و ژرمانیم (Ge) و بُر (B) می‌باشند. بُر دارای نقطه ذوبی حدود $2000^{\circ}C$ بوده و به صورت الیاف در تقویت مواد (تهیه‌ی مواد مختلط یا کامپوزیت) کاربرد دارد و ژرمانیم و سیلیسیم نیز در تهیه‌ی نیمه هادی‌ها کاربرد زیادی دارند.

مثال ۳: علم مواد درباره ..... بحث می‌کند.

۱) شناخت مواد ۲) انتخاب مواد ۳) رابطه مواد و کاربرد آن‌ها ۴) رابطه بین ترکیب مواد مختلف

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» علم مواد دانشی است که به رابطه مواد و کاربرد آن‌ها می‌پردازد.

مثال ۴: شرایط استخراج معادن کدام است؟

۱) بالا بودن درصد عنصر مورد نظر ۲) وجود چند عنصر در یک معدن

۳) بالا بودن درصد عنصر موردنظر و دسترسی معدن ۴) وجود عنصر موردنظر به صورت خالص

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» بالا بودن درصد عنصر مورد نظر و دسترسی به معدن از عوامل مهم استخراج در معادن است.

مثال ۵: کدام مطالب درباره‌ی وجود عناصر صحیح است؟

۱) فلزات به صورت خالص در معادن وجود دارند. ۲) فلزات سنگین در مرکز زمین به طورطبیعی وجود دارند.

۳) محل‌هایی که فلزات یافت می‌شوند، معادن نام دارند. ۴) معادن قابل استخراج دارای تنوع عناصر است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» عناصر فلزی سنگین در مرکز زمین به صورت طبیعی یافت می‌شوند.

فرق بین فلزات و غیرفلزات

عناصر شیمیایی بر حسب خواص و مشخصات مختلف به فلزات (Metals) و غیر فلزات (Non-Metals) تقسیم می‌شوند. بعضی عناصر نیز بین خواص فلزی و غیر فلزی قرار دارند که آن‌ها را شبه فلز (Metaloids) گویند.

فلزات عناصر شیمیایی هستند که در فعل و انفعالات می‌توانند جانشین هیدروژن در اسیدها شوند و در تجزیه الکتریکی، بار الکتریکی مثبت را شامل شده و بر روی قطب منفی (کاتد) می‌نشینند. غیر فلزات در هنگام تجزیه الکتریکی بار منفی را شامل شده و روی قطب مثبت (آند) می‌نشینند.

انواع پیوندهای شیمیایی

اتم‌ها و مولکول‌های مواد در موقع انجماد به روش‌های مختلف می‌توانند با هم پیوند شیمیایی برقرار کرده و جامد شوند. که مهمترین آن‌ها عبارتند از: پیوند یونی (والانسی یا ظرفیتی) ـ پیوند کووالانسی (اشتراکی) ـ پیوندهای واندروالسی (ثانویه) و پیوند فلزی.

پیوند یونی یا الکتروالانسی

پیوندهای یونی که به آن‌ها پیوندهای ظرفیتی نیز گفته می‌شود، در نتیجه جاذبه بین یون‌های با بار مخالف (مثبت و منفی) بوجود می‌آیند. اصولاً اتم‌ها تمایل دارند به صورت خنثی یا پایدار درآیند، بدین معنی که اتم‌هایی شامل الکترون‌های مدار خارجی کمی هستند تمایل دارند، این تعداد الکترون را در مقابل اتم‌هایی که الکترون‌های مدار خارجی آن‌ها تقریباً پر بوده و فقط تعداد کمی الکترون کمبود دارند ، از دست بدهند و به صورت یون مثبت درآیند و

www.modaresanesharif.ac.ir

در مقابل اتم‌های دریافت کننده الکترون به یون منفی تبدیل شوند. از طرفی باتوجه به جاذبه بین بارهای مثبت و منفی این یونها همدیگر را جذب کرده و در مجموع به صورت خنثی درمی‌آیند، این نوع پیوند به پیوند یونی یا الکتروواالانسی معروف است.

به طورمثال: در تشکیل ترکیب نمک طعام (Nacl)، فلز سدیم (Na) در مدار خارجی خود دارای یک الکترون است (الکترون ظرفیت) در حالی که کُلُر (Cl) در مدار خارجی خود دارای ۷ الکترون است (الکترون ظرفیت) که به شدت کلر در مواجهه با سدیم خاصیت جذب الکترون داشته و به همین نسبت سدیم تمایل به دفع الکترون دارد و در نتیجه کلر تشکیل یون منفی (Cl^-) و سدیم تشکیل یون مثبت (Na^+) داده و ترکیب خنثی کلریدسدیم (Nacl) را بوجود می‌آورند.

مثال ۶: تمایل به پیوند شیمیایی بین کدام دو عنصر به طریق یونی بیشتر است؟

۱) کلر و کلسیم ۲) کلر و پتاسیم ۳) گوگرد و آهن ۴) گوگرد و سدیم

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» زیرا اختلاف الکترون‌های ظرفیت کلر و پتاسیم نسبت به بقیه زیادتر است.

نکته ۴: پیوندهای یونی بین عناصر چند ظرفیتی، قوی‌تر از پیوند یونی بین عناصر یک ظرفیتی است. چنان که اکسیدهای فلزات که بیشتر ترکیبات سرامیکی را شامل می‌شوند، سخت‌تر بوده و دارای نقطه‌ی ذوب بسیار بالاتر و همچنین عایق‌تر نیز هستند.

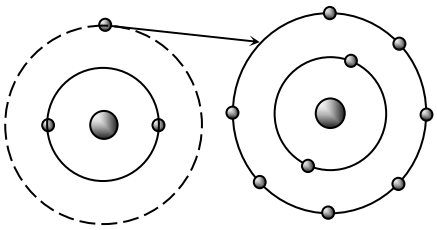
مثال ۷: کدام ترکیب قوی‌تر بوده و دارای سختی و حرارت ذوب بالاتری است؟

۱) MgO ۲) SFe ۳) Mg_2Pb ۴) NaCl

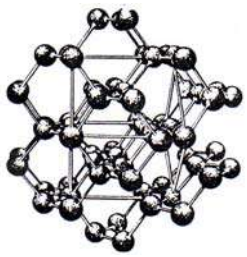
☑ **پاسخ:** گزینه «۱» اکسیدها دارای پیوند قوی‌تری نسبت به سایر ترکیبات می‌باشند.

پیوند کووالانسی یا اشتراکی

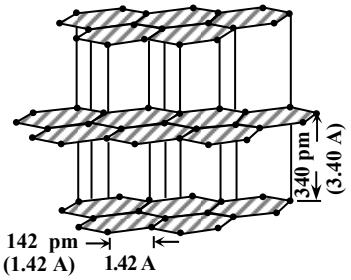
پیوند اشتراکی نتیجهٔ به اشتراک گذاشتن الکترون‌های اتم‌های مجاور و نزدیک به یکدیگر می‌باشد، که به این ترتیب مجموع ترکیب خنثی می‌گردد. این پیوند در نتیجه‌ی جذب الکترون‌های اشتراکی بوسیله‌ی هسته‌های مثبت که ترکیبی بسیار قوی بوجود می‌آورد، حاصل می‌گردد. مثلاً در الماس هر اتم کربن با چهار اتم همسایه که به صورت آرایش چهار وجهی دیده می‌شود، احاطه می‌گردد (در شرایط فشار و حرارت بالا) بدین ترتیب که هر اتم کربن با هر اتم مجاورش دو الکترون به اشتراک می‌گذارند و پیوند بسیار سخت و قوی را بوجود می‌آورند، در حالی که در شرایط دیگر اتم‌های کربن با هم پیوندی تشکیل می‌دهند که شکل آن به صورت منشور با قاعده شش ضلعی ساده می‌باشد و بسیار نرم بوده و دارای الکترون آزاد است. در الماس بلورها با بدست آوردن هشت اتم موردنیاز منجمد می‌شوند که ترکیبی پیچیده و خنثی است و باتوجه به اینکه شبکه سه بعدی حاصل به طور کامل با جفتهای کووالانسی پیوند یافته است این ماده بسیار سخت و شکننده می‌باشد.



انتقال اتم در تشکیل فلوئورید لیتیم (LiF)



پیوند اشتراکی در تشکیل الماس



ساختار کریستالی گرافیت «هگزاگونال ساده» یا S.H

پیوندهای ثانویه (واندروالسی)

پیوند ثانویه (واندروالس) در نتیجه‌ی نیروهای جاذبه‌ی بسیار ضعیف اتم‌هایی بوجود می‌آید، که از نظر الکتریکی خنثی می‌باشند. مانند گازهای خنثی یا بی‌اثر (مثل آرگن و . . .) و جامدات گازی بی‌اثر.

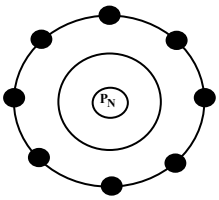
نکته ۵: انرژی پیوندی گاز بی‌اثر مثل آرگن و نئون حدود یکصدم ($\frac{۱}{۱۰۰}$) انرژی پیوندی بلورهای یونی است.

معمولاً گازهای بی‌اثر در حالت جامد دارای ساختمان مکعبی با وجوه مرکزدار هستند. این نوع پیوندها معمولاً در درجه حرارت‌های پایین که نیروهای جاذبه می‌توانند بر تحرک حاصل از گرمای اتم‌ها فایق آیند، بوجود می‌آیند.

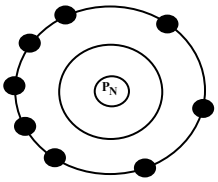
علاوه بر اتم‌های خنثی مولکول‌ها نیز بلورهایی تشکیل می‌دهند که به وسیله‌ی نیروهای واندروالس بهم نزدیک شده و پیوند حاصل می‌کنند مثل N_2، H_2، CH_4 و . . . وقتی اتم‌ها به یکدیگر نزدیک می‌شوند، نیروی جاذبه‌ای بین آن‌ها بوجود می‌آید که بر انرژی داخلی آن‌ها تأثیر می‌گذارد . نیروی جاذبه‌ی بین اتم‌ها موجب نزدیک‌تر شدن اتم‌ها به یکدیگر می‌شود. در حالی که نیروی دافعه حاصل از برخورد لایه‌های خارجی باعث می‌شود تا آن‌ها در فاصله‌ی معینی از یکدیگر قرار گیرند. این فاصله‌ی معین را که از خصوصیات ویژه‌ی اتم‌ها به حساب می‌آید، قطر اتمی آن اتم و آن نوع عنصر می‌نامند.

www.modaresanesharif.ac.ir

یکی از فرق‌های بسیار مهم بین عناصر مختلف فرق بین قطر اتمی آن‌هاست. این قطر اتمی در عناصر بین ۲ تا ۶ آنگستروم متغیر است (هر آنگستروم 10^{-7} میلیمتر است)



الف) آرایش الکترونی متقارن



ب) آرایش الکترونی غیر متقارن در اتم نئون

مثال ۸: کدام پیوند قوی‌تر است؟ پیوند بین . . . .

۱) مولکول‌های هیدروژن ۲) مولکول‌های آب ۳) اتم‌های هیدروژن ۴) اتم‌های هلیم

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» پیوند بین اتم‌های هیدروژن که به وسیله نیروهای واندروالس (ثانویه) به هم نزدیک شده‌اند. قوی‌تر است.

پیوند فلزی

پیوند فلزی عبارتست از ترتیب منظمی از یون‌های فلزی با بار مثبت که توسط ابر الکترونی منفی الکترون‌های مدار خارجی فلزات (الکترون‌های ظرفیت یا الکترون‌ها پیوندی آزاد) احاطه شده‌اند.

این الکترون‌های آزاد ظرفیت مربوط به هیچ فلز یا اتم خاصی در فلز یا آلیاژ نبوده بلکه مربوط به همه‌ی آن‌ها می‌باشند و در فلزات با سرعت بسیار زیاد و به صورت آزادانه حرکت می‌کنند.

پیوندهای فلزی بسیار شبیه به پیوند کووالانسی است. به طوری که می‌توان پیوند فلزی را به صورت توسعه پیوند کووالانسی به تعداد زیادی از اتم‌ها تصور کرد.

تفاوت‌های فلزها و پیوند فلزی با پیوند کووالانسی عبارتند از:

۱) در پیوند فلزی الکترون‌های پیوندی کاملاً آزادند در حالی که در پیوند کووالانسی الکترون‌های پیوندی متعلق به اتم‌های خاصی در پیوند هستند.

۲) الکترون‌های آزاد در پیوند فلزی در تمام جهات و در سه بعد حرکت می‌کنند که جهت حرکت آن‌ها قابل کنترل نیست. در حالی که در پیوند کووالانسی جهت حرکت الکترون‌های پیوند، خطی بوده و جهت حرکت آن‌ها مشخص است.

۳) در فلزات ابر الکترونی آزاد سراسر قطعات فلزی را در حالت جامد فرا گرفته در حالی که در قطعات غیر فلزی چنین ابر الکترونی آزاد وجود ندارد.

بنابراین به دلیل وجود الکترونهای آزاد در فلزات ، این مواد حامل انرژی الکتریکی و حرارتی هستند و هادی یا رسانای خوبی می‌باشند. در حالی که قطعات غیر فلزی مثل قطعات سرامیکی یا پلاستیکی کاملاً عایق الکتریسته و حرارتند. فلزات عموماً پیوندهای فلزی دارند و دارای خواص عمومی بسیار متنوع می‌باشند.

مثال ۹: علت هدایت حرارتی بهتر فلزات نسبت به غیر فلزات چیست؟

۱) الکترون‌های ترکیبی در فلزات و آلیاژها ۲) الکترون‌های ترکیبی در غیر فلزات

۳) الکترون‌های پیوندی در آلیاژها ۴) الکترون‌های آزاد در آلیاژها و فلزات

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» در فلزات و آلیاژها الکترونهای آزاد حامل انرژی بوده و باعث هدایت حرارتی و الکتریکی می‌شوند.

نکته ۶: پیوند فلزی ضعیف‌تر از پیوند کووالانسی است و می‌توان آن را با پیوند یونی مقایسه کرد.

نکته ۷: یکی از فاکتورهای مهم متغیر بودن رنگ انواع فلزات مربوط به سرعت حرکت الکترون‌ها در آن‌هاست که باعث تغییر سختی یا تغییر رنگ در آن‌ها می‌شود.

نکته ۸: برخلاف فلزات، کریستال‌های یونی سخت، ترد و در عمل قابلیت تغییر شکل پلاستیکی ندارند.

نکته ۹: پیوندهای یونی عناصر چند ظرفیتی قوی‌تر از پیوندهای یونی بین عناصر یک ظرفیتی است.

مثال ۱۰: با کدام پیوند شیمیایی قابلیت شکل‌پذیری قطعات تولیدی بیشتر است؟

۱) کووالانسی ۲) یونی تک ظرفیتی ۳) یونی چند ظرفیتی ۴) فلزی

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» چون فلزات بدلیل داشتن الکترون‌های پیوندی آزاد انعطاف‌پذیرترند.

مثال ۱۱: قطعات با کدام پیوند شیمیایی سختی (شکنندگی در برابر ضربه) بیشتری دارند؟

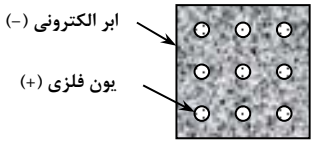
۱) اشتراکی (کووالانسی) ۲) یونی ۳) فلزی ۴) واندروالسی

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» پیوندهای اشتراکی (کووالانسی) سختی (شکنندگی در برابر ضربه) بیشتری نسبت به سایر پیوندها دارند.

www.modaresanesharif.ac.ir

ساختمان اتمی فلزات

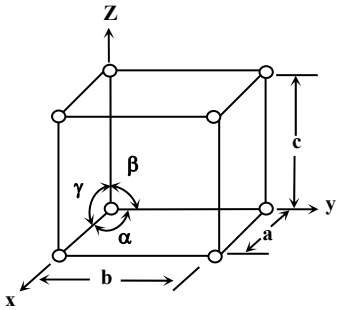
در بحث‌های قبلی فلزات را با خواصی که دارند (مهمترین آن‌ها پیوند فلزی و وجود الکترون‌های آزاد در آن‌ها و در نتیجه هدایت الکتریکی و حرارتی آن‌ها می‌باشند) از غیر فلزات جدا کردیم. ولی چرا بعضی عناصر در حالت فلزی هستند، بایستی در ساختمان آن‌ها جستجو کرد. اتم‌ها از یک هسته که شامل پروتون (دارای بار الکتریکی مثبت)، نوترون (که از نظر بار الکتریکی خنثی بوده ولی جرمی تقریباً به اندازه پروتون دارد) و نیز الکترون (که دارای جرمی باندازه‌ی $\frac{۱}{۱۸۴۰}$ پروتون ولی از نظر الکتریکی دارای بار الکتریکی به اندازه‌ی ذره‌ی پروتون ولی منفی می‌باشد،) تشکیل شده‌اند. لازم به ذکر است که الکترون‌ها با سرعت زیاد به دور هسته در گردش می‌باشند، قطر هر اتم حدوداً به اندزه ۵ آنگسترم است. $(۱A^\circ = ۱۰^{-۸}\ cm)$



نمودار پیوند فلزی

به طوری که گفته شد اتم‌های موجود در حجم قطعه فلزی در دریایی از الکترون‌های آزاد پیوندی غرق می‌باشند.

فلزات نیز از اتمهایی تشکیل شده‌اند که در حالت جامد پیوند فلزی تشکیل می‌دهند و پس از انجماد پیوند سه بعدی را بوجود می‌آورند که نظم خاصی دارند و این نظم خاص در تمام حجم جسم تکرار می‌شود و بلور را تشکیل می‌دهند. بنابراین کوچکترین حجم جسم که تمام خصوصیات موجود در کل بلور را داراست واحد سِل (Cell) یا سلول یا کریستال گویند. کریستال عبارتست از مجموعه‌ای از اتم‌ها یا یون‌ها که یک شکل خاص هسته سه بعدی را تشکیل می‌دهند و این شکل هندسی در حجم جسم یا قطعه تکرار می‌شود. ساده‌ترین نوع آن کریستال مکعبی (واحد سل) می‌باشد.



نکته ۱۰: هر واحد سِل یا کریستال دارای اعدادی است که به آنها اعداد ثابت واحد سل شبکه‌ی فضایی گویند. که با حروف a و b و c (طول و عرض و ارتفاع) نمایش داده می‌شوند و اندازه‌های آن‌ها حدود آنگسترم است. همچنین زاویه‌ی بین a و b (طول و عرض) را α و زاویه‌ی بین b و c (عرض و ارتفاع) را β و نیز زاویه‌ی بین a و c (طول و ارتفاع) را γ می‌نامند.

سیستم کریستالی (واحد سل)، شبکه چهارده‌گانه براوه

تابحال دانشمندان به این نتیجه رسیده‌اند که انواع کریستال‌هایی که به طور طبیعی وجود دارند و فلزات و آلیاژهایی که با آن‌ها کریستاله (جامد) می‌شوند، ۷ نوع هستند و مشخصات کلی آن‌ها بشرح زیر است:

۱ـ مکعبی	Cubic	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = ۹۰^\circ$
۲ـ تتراگونال	Tetragonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = ۹۰^\circ$
۳ـ ارتورومبیک	Orthrhombic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = ۹۰^\circ$
۴ـ رومبوهدرال	Rombohedral	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma \neq ۹۰^\circ$
۵ـ هگزاگونال	Hexagonal	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = ۹۰^\circ, \gamma = ۱۲۰^\circ$
۶ـ مونوکلینیک	Monoclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha = \gamma = ۹۰^\circ, \beta \neq ۹۰^\circ$
۷ـ تری‌کلینیک	Triclinic	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \gamma \neq \beta \neq ۹۰^\circ$

این شبکه‌ها را می‌توانند از حرکت اتم‌ها در سه جهت فضایی و نیز از حرکت سلول‌های ابتدایی بوجود آورند.

نکته ۱۱: از کنار هم قرار گرفتن سلول‌های ابتدایی شبکه‌ی کریستالی بوجود می‌آید که تمام خواص واحد سل (Cell) را از نظر نظم و قرینه و ترتیب اتم‌ها داراست.

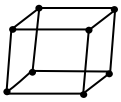
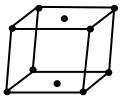
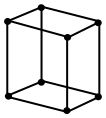
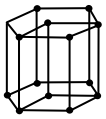
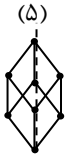
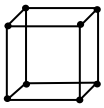
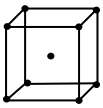
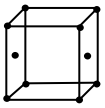
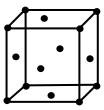
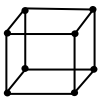
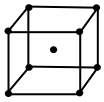
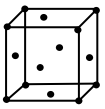
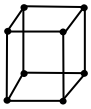
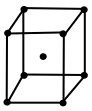
از مجموعه شبکه کریستالی که به وسیله سطحی از بقیه مجموعه‌های شبکه کریستالی جدا شده باشد دانه فلزی بوجود می‌آید. سطح بوجود آمده بدین وسیله را مرز دانه‌ها می‌نامند.

مرز دانه‌ها محل تجمع ناخالصی‌ها در حین انجماد است و محل شکست و مرکز ضعیف قطعات در معرض نیرو و ضربه می‌باشد.

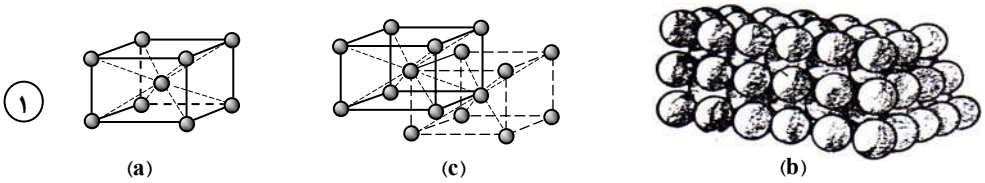
دانشمندی بنام «براوه» در تحقیقات خود باین نتیجه رسید که در ۷ نوع شبکه‌ی کریستالی ذکر شده تغییراتی از نظر فشردگی اتمی و شکل ساختمانی پدید می‌آیدکه مجموعاً از نظر جزئیات جمعاً به ۱۴ نوع شبکه قابل تقسیم است که به این مجموعه شبکه‌ی ۱۴ گانه براوه (Bravis) گویند. که شکل ساختمانی آن‌ها به شرح زیر است.

www.modaresanesharif.ac.ir

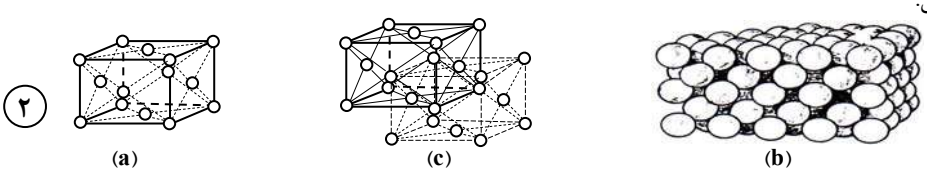
۱۴ شبکه‌ی فضائی که به وسیله واحدهای ساختمانی نشان داده شده‌اند:

(۱)  مونوکلینیک ساده	(۲)  مونوکلینیک پایه‌دار	(۳)  تری کلینیک	(۴)  هگزاگونال	(۵)  رمبوهدرال
(۶)  ارتورومبیک ساده	(۷)  ارتورومبیک مرکزدار	(۸)  ارتورومبیک با پایه مرکزدار	(۹)  ارتورومبیک با وجوه مرکزدار	
(۱۰)  مکعب ساده	(۱۱)  مکعب مرکزدار (B.C.C)	(۱۲)  مکعب با وجوه مرکزدار (F.C.C)	(۱۳)  تتراگونال ساده	(۱۴)  تتراگونال مرکزدار

نکته ۱۲: به طوری که در شکل c مشخص است اتم در مرکز یک واحد سل می‌تواند اتم در گوشه مکعب و واحد سل دیگری باشد و برعکس. (شکل‌های ردیف ۱)



و عده‌ای از واحدهای سل:



فلزات با ساختمان کریستالی مکعب مرکزدار یا Bcc (Base Centered cubic) برای عناصر Na و W و Fe و بعضی از عناصر دیگر صادق است. تشخیص موقعیت‌های اتم‌ها در قسمت‌های (a) و (c) از قسمت (b) ساده‌تر است. همان طور که در قسمت (b) دیده می‌شود کلیه اتم‌ها دارای همسایگان یکسان هستند و تعدادی از فلزات نیز با شبکه کریستالی مکعب با وجوه مرکزدار (Face Centered Cubic) یا (FCC) کریستالی می‌شوند که شامل عناصر Al, Ni, Au, Cu, Ag می‌باشند. (شکل‌های ردیف ۲)

تعدادی از فلزات می‌توانند با یک نوع شبکه جامد شوند. خصوصیت متمایز آن‌ها مقدار ثابت شبکه می‌باشد که هیچ یک از انواع فلزات که با یک نوع شبکه جامد می‌شوند، دارای ثابت شبکه یکسان نیستند.

در اشکال بالا انواع شبکه‌های کریستالی که فلزاتی با آن‌ها تشکیل کریستال (جامد) را می‌دهند، مشخص شده است.

مثال ۱۲: فلزات مختلف با کدام فاکتورها تمیز داده می‌شوند؟

۱) اندازه‌ی شعاع اتمی
۲) نوع ساختمان کریستالی
۳) اندازه‌ی شعاع اتمی و نوع ساختمان
۴) مقدار سرعت حرکت الکترون‌های آزاد

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» اندازه شعاع اتمی و نوع شبکه کریستالی انواع فلزات و یا حداقل یکی از این دو فاکتور فلزات مختلف با هم فرق دارند.

مثال ۱۳: کدام مطلب درباره شبکه کریستالی صحیح است؟

۱) کل مواد بوسیله شبکه‌ی ۱۴ گانه انجماد حاصل می‌کنند.
۲) کل فلزات بوسیله‌ی شبکه‌ی ۱۴گانه براوه انجماد حاصل می‌کنند.
۳) فلزات با یک نوع شبکه انجماد حاصل می‌کنند.
۴) غیر فلزات با یک نوع شبکه انجماد حاصل می‌کنند.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» طبق تحقیقات براوه کل فلزات و آلیاژها با ۱۴ نوع شبکه کریستالی جامد می‌شوند.

www.modaresanesharif.ac.ir

مدرسان شریف

فصل سوم

« آلیاژها »

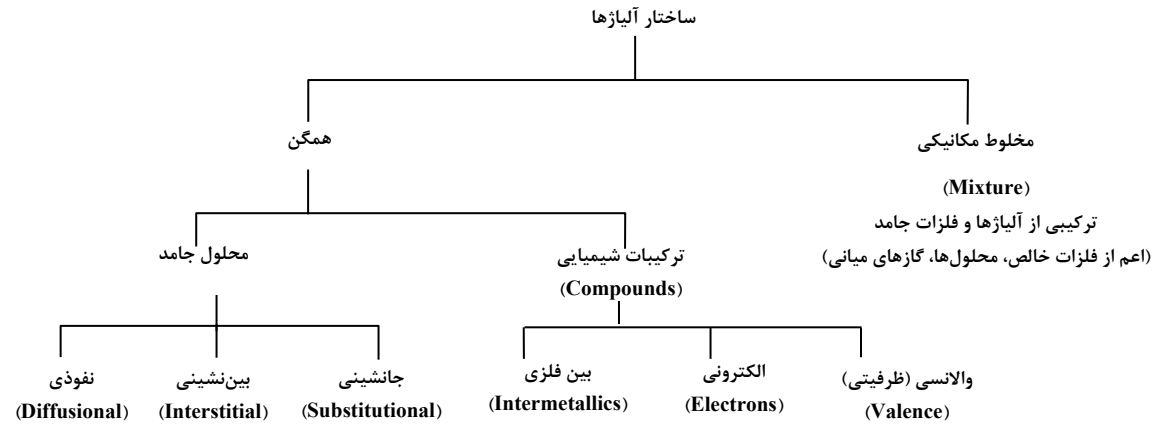
آلیاژها و روش‌های تهیه آنها

می‌دانیم که در صنایع مختلف به خصوص صنایع مکانیک، فلزات خالص کاربردی ندارند، چرا که خواص مکانیکی و عمومی آن‌ها جوابگوی پیشرفت روزمره صنایع نیست، امروزه برای رسیدن به خواص مطلوب در تهیه قطعات صنعتی آن‌ها را آلیاژی می‌کنند. به عبارت دیگر با استفاده از افزایش عناصر مختلف به فلز پایه خواص جدید و بهینه‌تری در قطعات صنعتی بدست می‌آورند که جوابگوی صنایع موردنظر خواهد بود.

به قطعات جدید با خواص مکانیکی و عمومی بهتر، **آلیاژ** گویند. افزایش عناصر آلیاژی به فلز پایه تأثیرات مختلفی در فلز ایجاد می‌کند، از جمله آن که: می‌تواند در فلز پایه حل شودو یا با فلز پایه ترکیب شیمیایی انجام دهد و یا حتی ساختمان آن در کنار ساختمان فلز پایه قرار گیرد و در نتیجه خواص آن را بهبود بخشد و صنعتگر به هدف خود نایل شود. با این مقدمه می‌توان گفت:

آلیاژ عبارتست از: انحلال، ترکیب شیمیایی یا مخلوط مکانیکی دو یا چند عنصر که در آن لااقل عنصر پایه فلز باشد و در کل خواص فلزی داشته باشد و خواص مطلوب آن از هر یک از عناصر تشکیل دهنده بهتر باشد.

می‌توان ساختار آلیاژها را به صورت نمودار زیر نشان داد:

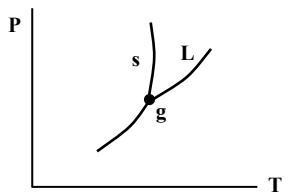


«فازها ــ قانون فازها»

قبل از اینکه به بحث بیشتر در مورد نمودارهای تعادل آلیاژهای دوتائی بپردازیم لازم است فازها و قوانین مربوط به آن شناخته شوند.

یک فاز قسمتی از سیستم است که از لحاظ فیزیکی و شیمیایی همگن باشد و به وسیله سطحی بنام سطح مشترک از قسمت‌های دیگر سیستم جدا شود.

یک سیستم یا آلیاژ متشکل از مخلوطی از فازهای یک یا چند مؤلفه در فشارها و غلظت‌های مختلف است. مؤلفه‌ها یا اجزاء موادی هستند (عناصر یا ترکیبات شیمیایی) که وجودشان برای تشکیل یک سیستم لازم و کافی می‌باشد. مثلاً یک فلز خالص شامل یک سیستم تک‌جزئی است، آلیاژی از دو فلز یک سیستم دو جزئی است و به همین ترتیب آلیاژهای از چند فلز . . . و نیز یک محلول مذاب همگن یک سیستم تک فازی است.



مخلوطی از دو نوع کریستال از نظر ساختمان و ترکیب تفاوت دارد و به وسیله یک سطح مشترک مجزا می‌گردد و یا وجود آلیاژ مذاب و کریستال‌های جامد جزو سیستم‌های دو فازی می‌باشد. نیز در مورد وجود تکه‌ای یخ $0^{\circ}C$ در آب صفر درجه سانتیگراد می‌توان دیاگرام سه‌گانه P را رسم نمود که در آن P فشار، T درجه حرارت، S جامد، L مذاب (مایع) و g گاز می‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

تغییراتی را که در یک سیستم چندفازی به وقوع می‌پیوندد بر حسب شرایط خارجی (درجه حرارت و فشار) و با حفظ تعادل سیستم می‌توان اعمال کرد از طریق قانون فازها مشخص می‌گردد. قانون فازها رابطه‌ای است بین درجه آزادی، تعداد اجزاء و تعداد فازهاست، فرمول ریاضی این قانون عبارت است از: $F = C + n - P$ که در آن F عدد درجه آزادی سیستم و C تعداد اجزاء سیستم، P تعداد فازها در حال تعادل و n تعداد عوامل متغیر خارجی و داخلی (درجه حرارت، فشار و غلظت) می‌باشد.

عدد درجه آزادی کمیتی است مستقل از عوامل داخلی و خارجی (درجه حرارت، فشار ـ غلظت) وبه صورت حداکثر تعداد متغیرهای مستقل در سیستم که تغییر آنها منجر به تشکیل یک فاز و یا شکل گرفتن فاز جدیدی در سیستم شود، تعریف می‌گردد. در مطالعه تعادل شیمیایی درجه حرارت و فشار به عنوان عوامل خارجی تعیین کننده حالت سیستم در نظر گرفته می‌شوتد، در قانون فازها هرگاه فقط یک عامل خارجی متغیر، برای مثال درجه حرارت در نظر گرفته شود و از اثرات فشار صرف‌نظر گردد، فرمول قانون فازها به صورت: $F = C + 1 - P$ خواهد بود. در سیستمی که در حالت تعادل است تمام عوامل متغیر داخلی و خارجی دارای مقادیر معین و ثابتی هستند و چون عدد درجه آزادی نمی‌تواند کمتر از صفر باشد بنابراین: $P \leq C + 1$ یا $C + 1 - P \geq 0$ یعنی تعداد فازها در یک سیستم نمی‌تواند از تعداد اجزا به علاوه یک بزرگتر باشند. با توجه به این نکته در یک سیستم دوتائی $C = 2$ در حال تعادل بیشتر از سه فاز نمی‌تواند وجود داشته باشد، و در یک سیستم سه تائی بیش از چهار فاز نمی‌تواند وجود داشته باشد و الاآخر.

در حالتی که ماکزیمم تعداد فازهای ممکن، در حال تعادل باشند عدد درجه آزادی برابر صفر می‌باشد. $(F = 0)$ این حالت را تعادل نامتغیر یا بدون متغیر می‌نامند. فقط سیستمی که تماماً تحت شرایط معین در یک درجه حرارت ثابت و ترکیب معینی از تمام فازهای موجود باشد می‌تواند در حالت تعادل نامتغیر وجود داشته باشد. مثلاً یک فلز خالص در درجه حرارت انجماد یک سیستم تک جزئی است که شامل دو فاز با ترکیب یکسان می‌باشد. و بنابراین تعداد درجه آزادی از رابطه فوق بدست می‌آید: $F = 1 + 1 - 2 = 0$

وقتی $F = 0$ باشد معنی آن این است که این سیستم نامتغیر است. فقط یک درجه حرارت وجود دارد که در آن دما سیستم در حال تعادل است، این درجه حرارت نقطه ذوب یا انجماد فلز می‌باشد.

هرگاه تعداد فازها یکی کمتر از تعداد ماکزیمم ممکن باشد عدد درجه آزادی هم یک واحد افزایش خواهد یافت. $(F = 1)$ این گونه سیستم تک متغیری می‌باشد. برای مثال آلیاژی از دو فلز در ابتدای انجماد در حالت کلی یک سیستم دو فازی (دو جزئی) است. سیستمی که در آن $F = 2$ باشد دو متغیری است. بنابراین سیستم ممکن است در درجه حرارت‌ها و غلظت مختلف در حال تعادل باشد.

مثال ۱: سیستمی نامتغیر یا متعادل است که در شرایط مشخص دارای . . . است.

۱) حداقل یکی از فازهای قابل تغییر
۲) تمام فازهای قابل ایجاد
۳) حداقل ۲ فاز قابل تغییر
۴) سه فاز قابل ایجاد

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» زیرا سیستم کامل یا متعادل بایستی شامل تمام فازهای قابل ایجاد باشد.

مثال ۲: سیستمی که سه جزیی است با ۲ فاز موجود دارای چند درجه آزادی است؟

۱) ۴ ۲) ۳ ۳) ۲ ۴) ۱

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» طبق قانون هر سیستم n جزئی می‌تواند $n + 1$ فاز را شامل بشود به استثنای سیستم تک جزیی که می‌تواند سه فاز داشته باشد.یعنی سیستم سه جزیی می‌تواند حداکثر ۴ فاز بوجود آورد حال که شامل ۲ فاز است بایستی دارای ۲ درجه آزادی باشد.

محلول‌های جامد

بیشتر فلزات در حالت مذاب با هم تشکیل محلول‌های مذاب همگنی را می‌دهند. در تبدیل آن‌ها به یک حالت کریستالی جامد، حالت همگنی بسیاری از آلیاژها حفظ می‌گردد، در نتیجه قابلیت انحلال آن‌ها نیز حفظ می‌شود. فازهای جامدی که در آن‌ها نسبت اجزا می‌توانند بدون تخلف از یکنواختی تغییر کنند را محلول جامد می‌نامند.در محلول جامد، انواع مختلف اتم‌های اجزا موجود در آلیاژ یک شبکه کریستالی مشترک را تشکیل می‌دهند، مؤلفه (عنصری) که شبکه کریستالی‌اش حفظ شود، حلال نامیده می‌شود.

حلالیت محلول‌های جامد بدو صورت کلی اتفاق می‌افتد، حلالیت جانشینی و حلالیت بین‌نشینی.

حلالیت جانشینی

هرگاه اتم‌های محلول جای چند اتم در شبکه کریستالی حلال را بگیرند این نوع حلالیت را حلالیت جانشینی گویند. در حلالیت جانشینی شبکه کریستالی حلال حفظ می‌شود و شبکه کریستالی حل شونده از بین رفته و اتم‌هایش بجای بعضی از اتم‌ها در شبکه حلال جای می‌گیرند.

حلالیت جانشینی از انواع دیگر حلالیت‌ها بیشتر می‌باشد. مثلاً حل شدن روغن در نفت که ساختمان نفت حفظ می‌گردد ولی اتم‌های روغن به جای بعضی اتم‌ها در شبکه پیوندی نفت قرار می‌گیرند.

www.modaresanesharif.ac.ir

شرایط تشکیل محلول جامد جانشینی

بهترین نتیجه این جانشینی موقعی بدست می‌آید که:

۱) اندازه شعاع اتمی حلال و حل شونده به هم نزدیک باشد و حداکثر اختلاف شعاع اتمی آن‌ها حدود ٪۱۵ باشد. هرگاه شعاع اتمی حلال و حل شونده خیلی بهم نزدیک باشند احتمال حلالیت نامحدود بیشتر است چون انرژی را زیاد تغییر نمی‌دهد. (به هر نسبتی احتمال حلالیت وجود دارد)

۲) حلال و حل شونده نباید از نظر انرژی آزاد زیاد با هم اختلاف داشته باشند.

۳) اگر ساختمان کریستالی حلال و حل شونده یکی باشد امکان حلالیت نامحدود بیشتر است، زیرا احتیاج به انرژی تغییر ساختمان ندارد.

۴) هر چه اتم‌ها در جدول الکتروشیمی به هم نزدیک باشند احتمال حلالیت بیشتر است و هر چه نسبت به هم دورتر باشند احتمال ترکیب بیشتر می‌باشد. مثلاً کلرور سدیم یک ترکیب است، در حالی که $Cu-Zn$ محلول است. ضمناً هر چه مقدار اختلاف اندازه ظرفیت دو فلز زیادتر باشد احتمال انحلال آنها کمتر است.

۵) هر چه ظرفیت و یا تعداد الکترون‌های مدار آخر دو عنصر به هم نزدیک‌تر باشد احتمال حلالیت آن‌ها بیشتر است. یعنی ظرفیت مساوی حلال و حل شونده ، حلالیت را زیاد می‌کنند. مثلاً مس (cu) یک ظرفیتی می‌تواند ٪۳۸/۴ روی(zn)۲ ظرفیتی را در خود حل کند، در حالی که فقط ٪۲۰/۳ گالیم (Ga) سه ظرفیتی را در خود حل می‌نماید. و یا ٪۱۲ ژرمانیم (Ge) چهار ظرفیتی و ٪۶/۹ آرسنیک (As) پنج ظرفیتی را در خود حل می‌کند. در حالی که Zn، Ge، As، Ga تقریباً دارای قطر اتمی مساوی می‌باشند.

با توجه به گفته بالا هر قدر اختلاف ظرفیت بین فلز اصلی (پایه) و فلز حل شده بیشتر باشد قدرت بوجود آمدن کریستال مخلوط بیشتر است.

گفتیم که هر چه اندازه شعاع اتمی حلال و حل شونده به هم نزدیکتر باشد حلالیت بیشتر است وحتی حلالیت نامحدود خواهیم داشت، در اینجا به چند مثال در این مورد می‌پردازیم:

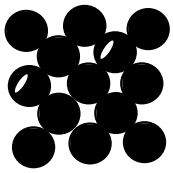
روی (Zn) با قطر اتمی $۲/۷۵A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است مس حدود ٪۳۸/۵ روی را در خود حل می‌کند، اختلاف قطر اتمی آن‌ها عبارت است از:

$$(۲/۷۵-۲/۵۵)A^\circ = ۰/۲۰A^\circ$$

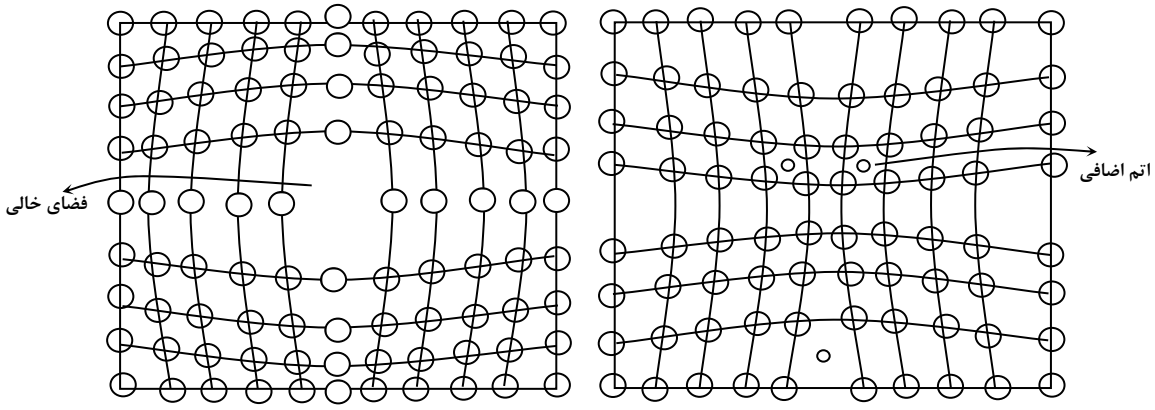
منگنز (Mn) با قطر اتمی $۳/۲A^\circ$ و مس (Cu) با قطر اتمی $۲/۵۵A^\circ$ است مس فقط ٪۶/۵ منگنز را می‌تواند در خود حل کند، اختلاف شعاع اتمی آن‌ها عبارت است از:

$$(۳/۲۰-۲/۵۵)A^\circ = ۱/۵۵A^\circ$$

شکل مقابل محلول جامد جانشینی را نشان می‌دهد، خللی که در شبکه بوجود می‌آید به علت بزرگی یا کوچکی شعاع اتمی حل شونده می‌باشد. در شکل (الف) قطر اتمی حل شونده تقریباً برابر است با قطر اتمی حلال و در شکل (ب) صفحه بعد و در حلالیت بین‌نشینی قطر اتمی حل شونده کوچکتر است از قطر اتمی حلال.



الف



الف ـ نمایش اتم اضافی

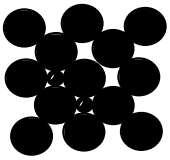
ب ـ نمایش خلاء اتمی

حلالیت بین‌نشینی

در حلالیت بین‌نشینی شبکه کریستالی حل شونده متلاشی شده و اتم‌هایش در جاهای خالی بین اتم‌های حلال جای می‌گیرد. محلول‌های جامد بین‌نشینی موقعی تشکیل می‌شوند که قطر اتم حل شونده کوچک بوده و امکان تطبیق با فضاهای خالی شبکه کریستال حلال را داشته باشند.

بنابراین محلول‌های جامد بین‌نشینی موقعی تشکیل می‌شوند که عناصری با شعاع اتمی کوچکتر نسبت به اتم حلال، در شبکه کریستال حلال جای گیرند. همانند قرار گرفتن کربن (C) و نیتروژن (N) و هیدروژن (H) در شبکه کریستالی آهن (Fe) و تشکیل محلول جامد از نوع بین‌نشینی.

www.modaresanesharif.ac.ir


(ب)

نکته ۱: یک محلول جامد بین‌نشینی همیشه ثابت کریستالی شبکه حلال را افزایش می‌دهد.
شکل زیر حلالیت بین‌نشینی را نشان می‌دهد.

مثال ۳: با کدام شرایط دو عنصر A و B انحلال بیشتری در یکدیگر دارند؟

۱) اختلاف اندازه شعاع اتمی کمی داشته باشند.
۲) اختلاف اندازه شعاع اتمی زیادی داشته باشند.
۳) تعداد الکترون‌های مدار خارجی (پیوندی) حداقل باندازه ۲ تا اختلاف داشته باشند.
۴) ساختمان کریستالی آن‌ها مختلف باشد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» زیرا یکی از شرایط اصلی انحلال را بیان می‌کند.

کریستال مخلوط چیست؟

یک شبکه کریستالی وقتی که در شبکه خود اتم‌هایی از فلزات مختلف را به صورت جانشینی یا بین‌نشینی جای می‌دهد، بدین ترتیب یک شبکه کریستالی با حداقل دو نوع اتم پدید می‌آید که به آن **کریستال مخلوط** می‌گویند؛ که در واقع مخلوط دو نوع اتم در یک شبکه کریستالی می‌باشد. مثل انحلال روی در مس (شبکه کریستالی F.C.C مس) که آلیاژ برنج را تشکیل می‌دهد و یا کربن در شبکه کریستالی آهن حل می‌شود و فولاد را تشکیل می‌دهد.

مثال ۴: کدام کریستال مخلوط را تشکیل می‌دهد؟

۱) سیلسیم در آلومینیوم ۲) انحلال محدود دو عنصر ۳) ترکیب و انحلال دو عنصر ۴) انحلال منیزیم در آلومینیوم

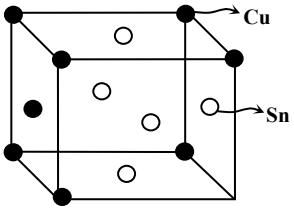
☑ **پاسخ:** گزینه «۴» انحلال منیزیم در آلومینیوم یک شبکه کریستال مخلوط را به وجود می‌آورد.

حلالیت نفوذی

حلالیت نفوذی بیشتر شبیه حلالیت بین‌نشینی است، با این تفاوت که حلالیت بین‌نشینی عموماً در حالت مذاب انجام می‌شود، در حالی که حلالیت نفوذی بیشتر در حالت جامد انجام می‌شود.
شرایط حلالیت بین‌نشینی این است که:
۱) حلال به اندازه کافی فضای خالی در بین شبکه خود داشته باشد.
۲) اندازه اتم‌های عنصر حل شونده کوچک باشند تا بتوانند در فضای خالی شبکه حلال جای بگیرند.
مقدار حلالیت در شبکه F.C.C بخصوص در عنصر آهن بیشتر از B.C.C است چون دهانه نفوذ (فضاهای بین‌نشین) شبکه کریستالی F.C.C بزرگتر است.

حلالیت میانی یا فاز میانی

وقتی در فرآیند حلالیت با تغییر ساختمان کریستالی روبرو شویم و یا ساختمان کریستالی جدیدی با ابعاد جدید در مجموعه فرآیند آلیاژسازی بوجود آید، فاز بوجود آمده حاصل را فاز میانی یا اتفاقی یا **راندوم** (Random) گویند.
در تشکیل فاز میانی مقدار درصد اتمهای حل شونده **نمی‌تواند** تغییر کند، به همین مناسبت به این فاز، **فاز منظم** نیز گفته می‌شود.
هرگاه دو عنصر در یکدیگر حل شده و پس از انحلال محلول‌های جامد یا ترکیبی ایجاد کنند که در ساختمان کریستالی و یا پیوندی آن‌ها هیچ تغییری آلوتروپیک حاصل نشود، محلول را محلول جامد منظم می‌نامند، همین طور است در ترکیبات شیمیایی.
مثلاً ترکیبات: Cu_3Sn و Fe_3Al نیز ساختمان جامد منظم شده دارند.
محلول‌های جامد منظم فاز واسطه‌ای هستند بین محلول‌های جامد و ترکیبات شیمیایی و تفاوت ترکیبات شیمیایی با محلول‌های جامد منظم شده این است که: در محلول‌های جامد شبکه کریستالی حلال باقی می‌ماند در حالی که در ترکیبات شیمیایی بین دو و چند عنصر هر دو ساختمان عنصر پایه و آلیاژی از بین رفته و ساختمان کریستالی جدیدی پدید می‌آید.



ساختمان کریستالی محلول جامد منظم
محلول جامد منظم شده نسبت به محلول جامد جانشینی و بین‌نشینی سخت و شکننده می‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

ترکیبات شیمیایی

در موقع تشکیل آلیاژ دو فلز و یا یک فلز و شبه فلز به طور شیمیایی با هم ترکیب شده و تشکیل ترکیبی می‌دهند که به آن ترکیب شیمیایی گویند.
ترکیبات شیمیایی به سه دسته زیر تقسیم می‌شود:
۱ـ ترکیبات والانسی یا ظرفیتی (Valency)
۲ـ ترکیبات الکترونی (Electrons)
۳ـ ترکیبات بین شبکه‌ای

ترکیبات والانسی یا ظرفیتی

در این ترکیبات از قوانین شیمیایی پیروی گردیده است. این ترکیبات شامل Mg_3Bi_2 و Mg_2Si، Mg_2Sn و Mg_2Pb و دیگر ترکیبات با عناصر گروه‌های چهارم و پنجم جدول تناوبی هستند. این ترکیبات به طور معمول انعطاف‌پذیری پایین و هدایت الکتریکی ضعیفی دارند و ساختار کریستالی آن‌ها پیچیده است.
علامت مشخصه این ترکیبات، محلول بودن کامل مؤلفه‌های آن‌ها به طور عملی می‌باشد.

نکته ۲: ترکیبات والانسی به ندرت در آلیاژهای فلزات شکل می‌گیرند و شاید مانع فرم‌پذیری آلیاژ یا قطعات می‌شوند.

ترکیبات الکترونی

این ترکیبات که به ترکیبات هوم روتاری معروفند از مهم‌ترین سیستم‌های فلزی هستند، در ترکیبات الکترونی نسبت عده الکترون‌های ظرفیت به تعداد اتم‌های تشکیل دهنده ترکیب، مقدار معینی است یعنی یک نسبت الکترونی معین دارد. یک سری کلی از این ترکیبات هستند که نسبت عده الکترون‌های ظرفیت به تعداد اتم‌های آن‌ها در ترکیب $\frac{3}{2}$ است، کلیه ترکیباتی که دارای نسبت الکترونی $\frac{3}{2}$ هستند، دارای شبکه کریستالی مرکزداری هستند. این ترکیبات شامل $CuZn$، Cu_3Al، Cu_5Sn، $NiAl$ و $FeAl$ و غیره می‌باشند. که آن‌ها را به عنوان فاز β می‌شناسند. در اینجا آهن و نیکل الکترون ظرفیت پیدا نمی‌کنند، ظرفیت آلومینیوم ۳ است و قلع ۴ و مس ۱ و روی ۲ می‌باشد.

سری دوم این ترکیبات، ترکیباتی هستند که دارای نسبت الکترونی $\frac{21}{13}$ هستند که دارای شبکه مکعبی پیچیده (Complex) می‌باشد. و به فاز γ معروفند، این ترکیبات عبارتند از: $Cu_{31}Sn_8, Cu_5Zn_8$ و غیره.

سری سوم این ترکیبات با نسبت الکترونی $\frac{7}{4}$ هستند که دارای شبکه کریستالی هگزا گونال متراکم می‌باشند. این ترکیبات عبارتند از: Cu_3Si، Cu_3Sn، Ag_5Al_3 و غیره.

ترکیبات بین‌شبکه‌ای (بین‌نشینی)

عده زیادی از فلزات انتقالی مثل: Fe، Cr، Mo، W، Ti، V و غیره، با کربن و نیتروژن و هیدروژن وبُرکه همگی دارای شعاع اتمی کوچکی هستند، تشکیل ترکیب شیمیایی (کاربید، نیترید و غیره) می‌دهند. این ترکیبات را ترکیبات بین شبکه‌ای (بین نشینی) می‌نامند. در صورتی که شعاع اتمی غیر فلز (مانند: N، H، B) از شعاع اتمی فلز کوچکتر یا مساوی ٪۵۹ عنصر پایه یا فلز اصلی باشد، این ترکیبات می‌توانند تشکیل شوند. ترکیبات شیمیایی بین‌شبکه‌ای (بین‌نشینی) دارای فرمول شیمیایی زیرند:

$MeX \Rightarrow (TiN\ ,\ WC\ ,\ TIC\ ,\ VC)$ $\qquad$ $Me_3X \Rightarrow (Fe_3C\ ,\ Cr_3C, Fe)$

$Me_2X \Rightarrow (W_2N\ ,\ Fe_2N\ ,\ W_2C)$ $\qquad$ $Me_4X \Rightarrow (Mn_4N\ ,\ Fe_4N)$

اتم‌های ترکیب بین‌شبکه‌ای تشکیل یکی از واقعی‌ترین شبکه‌های کریستالی هگزا گونال یا مکعبی را می‌دهند که در آن‌ها اتم‌های شبه فلز موقعیت‌های خالی در شبکه کریستالی را اشغال می‌کنند.
فرق ترکیبات یا فازهای بین‌شبکه‌ای با محلول جامد بین شبکه‌ای (بین نشینی) در این است که شبکه‌های کریستالی ترکیبات بین‌شبکه‌ای با شبکه‌های کریستالی فلزات که آن‌ها را تشکیل می‌دهند متفاوت است، در حالی که در محلول جامد بین‌شبکه‌ای، شبکه کریستالی محلول جامد، شبکه کریستالی حلال می‌باشد.
ترکیبات بین شبکه‌ای دارای برخی خواص فلزی هستند ، مثل هدایت الکتریکی که با افزایش درجه حرارت کاهش می‌یابد و دارای سختی و نقطه ذوب استثنایی هم هستند. از این ترکیبات در سخت کردن فولادها یا ابزارهای برش نیز استفاده می‌شود.

www.modaresanesharif.ac.ir

مدرسان شریف

فصل ششم

« آشنایی با نحوه استاندارد کردن آلیاژهای آهنی »

مختصری درباره استاندارد کردن (نرم‌بندی) فولادها و کاربردهای آن‌ها

با استاندارد کردن (نرم‌بندی) فلزات آهنی می‌توان این آلیاژها را بهتر شناسایی کرده و انتخاب کرد، علائمی که برای فلزات آهنی به کار می‌روند شامل سه بخش عمده می‌باشند که عبارتند از: روش تولید، عناصر تشکیل دهنده و عملیاتی که قبل از عرضه به بازار بر روی آن‌ها انجام گرفته است.

برای اطلاع از استانداردهای فولادهای مختلف که در کشورهای مختلف تهیه می‌شوند، بهتر است از کلید فولادها که به طور وسیع استانداردها را مشخص کرده، استفاده شود. در این بخش، به معرفی چند استاندارد از فولادهای خاص و طرز شناسایی آن‌ها می‌پردازیم.

استاندارد (Din) آلمان برای آلیاژهای آهنی دارای مشخصات زیر است:

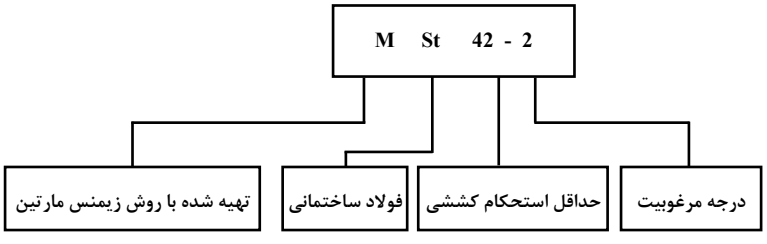
۱ـ علائمی که در بخش روش تولید به کار می‌روند: حروفی که در این بخش به کار می‌روند، مخفف نحوه ذوب، خصوصیات برجسته و علامت ریخته‌گری محصول عرضه شده می‌باشند. در جدول زیر مفهوم حروفی که در این بخش به کار می‌روند، برای انواع چدن‌ها نشان داده شده‌اند.

GS -	فولاد ریخته
GG -	چدن خاکستری با گرافیت مطبق
GGG -	چدن خاکستری با گرافیت کروی
GH -	چدن سفید
GTW -	چدن مالیبل یا چکش‌خوار (مغز سفید)
GTS -	چدن مالیبل یا چکش‌خوار(مغز سیاه)

۲ـ علائمی که در بخش عناصر تشکیل دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرند: در این بخش عناصر تشکیل دهنده، استحکام و همچنین درجه مرغوبیت محصول را به کمک حروف و اعداد مشخص می‌نمایند.

علامت اختصاری‌ای که برای فولادهای ساختمانی به کار می‌رود با حروف St شروع شده و پس از آن عددی وجود دارد که معرف حداقل استحکام کششی فولاد مربوطه بر حسب واحد قدیمی $\frac{kg}{mm^2}$ می‌باشد و با ضرب آن در عدد ۹/۸۱ می‌توان استحکام را بر حسب واحد جدید $\frac{N}{mm^2}$ به دست آورد. پس از اعداد مربوط به استحکام یک خط تیره وجود داشته و سپس عددی از ۱ تا ۳ که معرف درجه مرغوبیت (قابلیت تغییر فرم) می‌باشد، قرار دارد، که در آن عدد ۱ معرف درجه مرغوبیت کم، عدد ۲ معرف درجه مرغوبیت متوسط، و عدد ۳ معرف درجه مرغوبیت زیاد می‌باشد.

به عنوان مثال: مشخصات فولاد با استاندارد زیر نشان داده شده است.



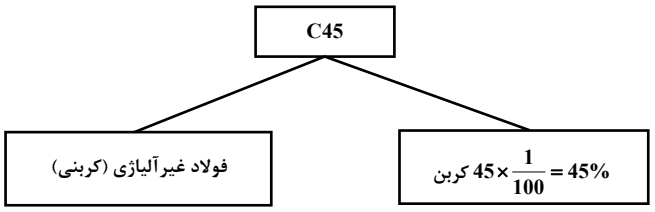
www.modaresanesharif.ac.ir

در علائم اختصاری ورق‌های ظریف به جای عدد مربوط به استحکام، عددی قرار دارد که معرف درجه خوبی (قابلیت تغییر فرم) آن بوده و از ۱۰ تا ۱۴ نرم‌بندی شده‌اند. مانند St۱۳ که در آن St نشان دهنده فولاد و عدد ۱۳ معرف ورقی است که قابلیت کششی خوبی را دارد؛ در حالیکه St۴۲ استحکام کششی بالایی داشته و قابلیت فرم‌پذیری و کششی خوبی ندارند.

فولادهای غیرآلیاژی (کربنی) که برای عملیات حرارتی مناسب هستند با حروف C و فولادهای نجیبی که درجه خلوص زیادی دارند، (گوگرد و فسفر کم) با حروف Ck و فولادهایی با بافت گوگردی کم (۰/۰۲ تا ۰/۰۳۵ را با علامت cm مشخص می‌نمایند.

عددی که پس از حروف C و Ck و Cm قرار می‌گیرد، معرف مقدار کربن موجود در آن‌ها (با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$) بر حسب درصد می‌باشد.

مثلاً $C_{۴۵}$ فولاد ساده بوده و دارای $۴۵ \times \frac{۱}{۱۰۰} = ۰/۴۵\%$ کربن می‌باشد.



برای فولادهای نورد سیم از علامت D استفاده می‌شود که با عددی در جلوی آن مشخص می‌شود که با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$، درصد کربن فولاد نشان داده می‌شود.

مثلاً $D_۹$ که $۹ \times \frac{۱}{۱۰۰} = ۰/۰۹$ درصد کربن دارد.

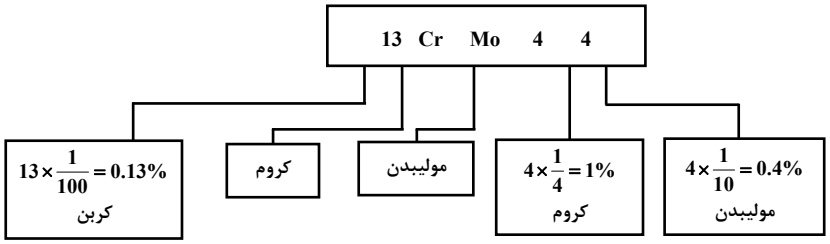
فولادهای کم‌آلیاژ را بدون استفاده از علامت شیمیایی کربن (C) با عددی شروع می‌کنند که معرف ضریب مقدار درصد کربن در آن‌ها بوده و پس از آن از علائم اختصاری شیمیایی سایر عناصر با توجه به مطالب فوق، استفاده می‌کنند. مثلاً فولادهای کم آلیاژ به طور کلی به صورت چند رقم در سمت چپ و سپس عناصر آلیاژی موجود در فواد نمایش داده می‌شود که به ترتیب اعدادی نیز در سمت راست آن‌ها نوشته می‌شود که هر یک اگر در ضریبی ضرب شود، درصد عنصر مورد نظر را مشخص می‌کنند، این ضرایب در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

ضریب	نام فلز					
$\frac{۱}{۴}$	کبالت Co	کروم Cr	منگنز Mn	نیکل Ni	سیلیسیم Si	ولفرام W
$\frac{۱}{۱۰}$	آلومینیوم Al	مس Cu	مولیبدن Mo	تانتال Ta	تیتان Ti	وانادیم V
$\frac{۱}{۱۰۰}$	کربن C	فسفر P	گوگرد S	ازت N		

مثال ۱: فولاد با کدام استاندارد سختی بیشتری دارد؟

۱) $St_{۲۵}$ ۲) $St_{۳۲}$ ۳) $C_{۶۰}$ ۴) $Ck_{۲۵}$

☑ **پاسخ :** گزینه «۳» زیرا فولادهای گزینه «۱» و «۲» و «۴» کم‌کربن ولی فولاد گزینه «۳» پرکربن است.



مثال۲: فولاد با کدام استاندارد در دین (Din) نجیب محسوب می‌شود؟

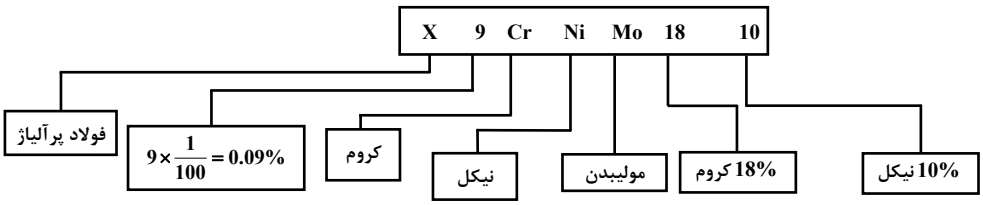
۱) C_m ۲) C ۳) C_k ۴) st

☑ **پاسخ:** فولاد با علامت C_k فولاد نجیب محسوب می‌شود.

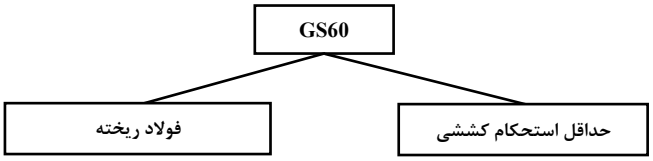
www.modaresanesharif.ac.ir

فولادهایی که با بیش از ۸ درصد از فلزات مختلف آلیاژ شده باشند فولادهای پرآلیاژ نام داشته و در نرم‌بندی آن‌ها حروف X آغاز کننده‌ی علائم می‌باشند. عددی که پس از حرف X قرار می‌گیرد، معرف مقدار درصد کربن موجود در آن با توجه به ضرایب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر عناصر با ترتیبی که در قبل ذکر شد، قرار می‌گیرند.

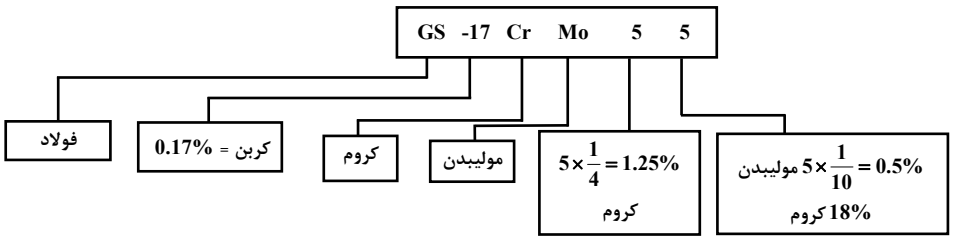
مهمترین فرق نرم‌بندی این فولادها با فولادهای کم آلیاژی، در ضرایب فلزات آلیاژی آن‌ها می‌باشند که در این جا با ضرایب ۱ به کار می‌روند.



در استاندارد چدن‌ها و فولادهای ریخته، پس از حروف مشخصه، عددی وجود دارد که مشابه فولادها معرف استحکام کششی آن‌ها می‌باشد.

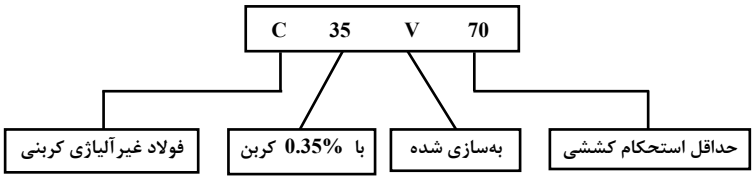


در فولادهای ریخته آلیاژی پس از حروف مشخصه (GS)، عدی وجود دارد که معرف درصد کربن با ضریب $\frac{۱}{۱۰۰}$ بوده و پس از آن علائم شیمیایی سایر فلزات موجود در آن‌ها ذکر می‌گردد. اعدادی که بعد از علائم عناصر شیمیایی آلیاژی نوشته می‌شوند معرف درصد عناصر موجود در فولاد ریختگی بوده و مقدار حقیقی آن‌ها را می‌توان با کمک ضرایب داده شده در جدول مشابه فولادهای کم آلیاژ تعیین نمود.



۳ـ علائمی که در بخش عملیات انجام گرفته در روی فولادها به کار می‌روند: در این بخش برای مشخص کردن نحوه‌ی عملیات حرارتی و نحوه تغییر فرم دادن و همچنین کیفیت سطح در ورق‌های ظریف، از حروف استفاده می‌شود.

عددی که بعد از علائم اختصاری فوق قرار می‌گیرد، معرف حداقل استحکام کششی، بر حسب $\frac{N}{mm^۲}$ می‌باشد.



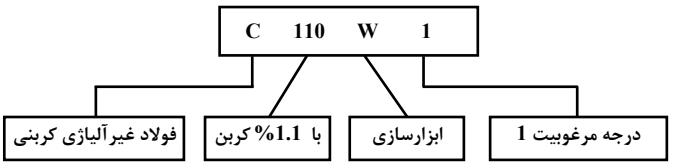
در فولادهای ابزارسازی غیرآلیاژی، پس از حرف W اعدادی (۱ و ۲ و ۳) وجود دارند که معرف مرغوبیت آن‌ها بوده و اعداد کوچکتر معرف فولاد مرغوب‌تر (درجه ۱) می‌باشند.

مثال ۳: فولاد با استاندارد GS۶۰ دارای کدام مشخصه است؟

۱) ریختگی به استحکام کششی معین
۲) ریختگی با کربن مشخص
۳) نجیب با استحکام کششی مشخص
۴) ابزار با درصد کربن معین

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» فولاد فوق ریختگی در ماسه بوده و استحکام کششی آن $۶۰۰\frac{N}{mm^۲}$ است.

www.modaresanesharif.ac.ir



فولادهای ابزارسازی غیرآلیاژی مخصوص را با حروف WS نشان می‌دهند. مثل C۹۰WS در فولادهای ساختمانی و ریخته‌ای که اطمینان بیشتری از آن‌ها انتظار می‌رود، به جای حرف از نقطه استفاده کرده و سپس عددی از ۱ تا ۹ در کنار آن قرار دارد. این اعداد معرف خصوصیاتی هستند که از طرف تولید کننده فولاد مربوطه، تضمین شده است.

مثال ۴: فولاد غیرآلیاژی به‌سازی شده با کدام علامت مشخص می‌شود؟

۱) $C_{۲۵}V_{۵۵}$ ۲) $Ck_{۲۵}V_{۵۵}$ ۳) $۲۵C_{۴۵}$ ۴) $C_m ۴۵$

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» فولاد غیر آلیاژی به‌سازی شده را با علامت $Ck_{۲۵}V_{۵۵}$ نشان می‌دهند.

فولادها، خصوصیات وکاربردهای آن‌ها

به دلیل تنوع و کاربرد فراوان فولادها، ذکر خلاصه خصوصیات هر کدام امکان‌پذیر بوده و فقط می‌توان سعی در گروه‌بندی کلی آنان نمود. برای این منظور بهتر است که ابتدا به تعریف فولادهای غیرآلیاژی و فولادهای آلیاژی بپردازیم:

فولادهای غیرآلیاژی ساده یا کربنی: فولادهای غیرآلیاژی از ۰/۱% تا ۱/۵%کربن داشته و دارای عناصر دیگری نیز می‌باشند که در هر حال مقدار آن‌ها نبایستی از حد معینی (۰/۵%سیلیسیم، ۰/۸%درصد گوگرد و منگنز، ۰/۱%آلومینیوم یا تیتانیم، ۰/۲۰%مس) بیشتر باشد. این فولادها را به دلیل آنکه به جز کربن، سایر عناصر موجود در آن‌ها نقش تعیین کننده‌ای ندارند. فولادهای کربنی نیز می‌نامند.

فولادهای آلیاژی کم آلیاژ و پرآلیاژ: اگر فولاد را با فلزاتی مانند کروم، نیکل، ولفرام، کبالت، مولیبدن، وانادیم، و غیره جهت افزایش و تامین خواص مورد نظر آلیاژ کنند، فولادهای آلیاژی به دست می‌آیند. چنانچه مجموع عناصر یاد شده از ٪۵ کمتر باشد فولاد را کم آلیاژ و چنانچه مجموع آن‌ها ٪۵ تا ٪۴۵ باشد، آن‌ها را فولادهای پرآلیاژ گویند. فولادهای پرآلیاژ ممکن است که تا ٪۲/۲ کربن نیز داشته باشند.

برای گروه‌بندی فولادها به دلیل آنکه تقسیم‌بندی دقیقی بین آن‌ها امکان‌پذیر نیست، می‌توان آن‌ها را به دو گروه اصلی، فولادهای ساختمانی و ابزارسازی تقسیم نمود.

۱ـ فولادهای ساختمانی

فولادهای ساختمانی به فولادهایی می‌گویند که از آن‌ها بتوان به عنوان مواد اولیه برای ساختمان‌ها (اسکلت‌های فلزی، اسکلت پل‌ها) و همچنین برای ساختن قطعات وسائط نقلیه، دستگاه‌ها و ماشین‌آلات (محورها، میل‌لنگ‌ها، دسته پیستون‌ها) استفاده کرد.

امروزه در حدود ۹۰%محصولات کارخانجات فولادسازی را فولادهای ساختمانی تشکیل می‌دهند که از آن‌ها می‌توان به شرح گروه‌های زیر پرداخت:

۱ـ۱ـ فولادهای ساختمانی معمولی

این فولادها، جزء فولادهای غیرآلیاژی بوده و چون در انتخاب آن‌ها استحکام کششی نقش تعیین کننده‌ای دارد، لذا آن‌ها را بر حسب استحکام کششی‌شان طبقه‌بندی می‌کنند. استحکام کششی این فولادها متناسب با درصد کربن موجود در آن‌ها افزایش یافته و برعکس انبساط (کش آمدن) آن‌ها تقلیل پیدا می‌کند و یا به عبارت دیگر با افزایش کربن شکنندگی فولاد زیادتر می‌گردد. همچنین ازدیاد کربن باعث می‌شود که قابلیت تغییر فرم (در حالت سرد یا گرم)، قابلیت جوشکاری و براده‌برداری فولادها کاهش یابد.

این فولادها از ۰/۱۲%تا ۰/۶%کربن داشته و آن‌ها را در سه گروه با درجه‌ی مرغوبیت ۱ و ۲ و ۳ تولید و به بازار عرضه می‌کنند.

۱ـ۲ـ فولادهای اتوماتیک عدم قابلیت جوشکاری و عدم تغییر فرم سرد آنها

این فولادها که به نام فولادهای خوش‌تراش نیز معروف می‌باشند، جزء فولادهای ساختمانی هستند. استحکام این فولادها بر حسب درصد عناصرشان متفاوت بوده و در هنگام بهره‌برداری از آن‌ها براده‌های کوتاه و سطح خوبی (پرداخت) را به دست می‌دهند. این خاصیت بیشتر از همه به دلیل وجود گوگرد (s) می‌باشد که مقدار آن در این‌گونه فولادها از ۰/۱۸%تا ۰/۴% می‌باشد. وجود گوگرد باعث می‌شود که فولاد در حالت گرم شکننده شده و براده‌های کوتاهی در هنگام براده‌برداری به وجود آیند؛ به همین دلیل در ماشین‌های اتوماتیک که براده‌های بلند باعث اختلالات فراوانی مانند پیچیدن براده به دور ابزار کار، سائیدگی و کم شدن دوام ابزار می‌گردند، از فولادهای اتوماتیک استفاده می‌نمایند.

بدیهی است که وجود گوگرد زیاد در این فولادها، استحکام آن‌ها را در مقابل ضربه تقلیل می‌دهد و از معایب دیگر فولادهای خوش تراش، عدم قابلیت جوشکاری و تغییر فرم سرد آن‌ها می‌باشد.

فولادهای اتوماتیک به جز گوگرد، دارای ۰/۷%تا ۰/۶۵%کربن، ۰/۶%تا ۱/۵%منگنز، و ۰/۰۵%تا ۰/۴%سیلیسیم بوده و در صورتی‌که شکنندگی بیشتر براده و سطح مرغوب‌تری موردنظر باشد ۰/۱۵% تا ۰/۳%سرب نیز به آن‌ها اضافه می‌نمایند.

لازم به یادآوری است که نرم‌بندی فولادهای اتوماتیک مشابه فولادهای آلیاژی می‌باشد.

www.modaresanesharif.ac.ir

۱ـ۳ـ فولادهای قابل آبکاری سطحی (عملیات حرارتی)

از این فولادها برای ساختن قطعاتی استفاده می‌کنند که بایستی دارای سطح خارجی سخت و قسمت داخلی (مغز) نرم باشند. سطح آن‌ها در مقابل سایش مقاوم بوده و قسمت داخلی آن‌ها قابلیت تحمل خود را در مقابل ضربه حفظ کرده و شکننده نگردد. برای این منظور ابتدا کربن سطح خارجی آن‌ها را با روش‌های مختلفی افزایش داده و سپس آبکاری می‌نمایند. برای اینکه قسمت داخلی این فولادها پس از آبکاری نرم باقی بماند، بایستی مقدار درصد کربن آن کمتر از ۰/۲٪ باشد. فولادهای ساده کربنی به طور عمده با C نشان داده می‌شوند که عدد مشخصه‌ی درصد کربن در جلوی آن‌ها نوشته می‌شود که بایستی در $\frac{۱}{۱۰۰}$ ضرب شود تا درصد کربن مشخص گردد، و اگر عاری از گوگرد و فسفر باشد به Ck و اگر کم گوگرد باشد به Cm نمایش داده می‌شود.

۱ـ۴ـ فولادهای قابل به‌سازی (عملیات حرارتی دیده)

این فولادها نیز جزء فولادهای ساختمانی بوده و دارای ۰/۲٪ تا ۰/۶٪ درصد کربن می‌باشند. استحکام کششی و مقاومت این فولادها را می‌توان به وسیله‌ی به‌سازی (سخت کردن و برگشت دادن تا درجه حرارت ۵۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد) افزایش داد.

فولادهای قابل به‌سازی برای ساخت قطعاتی به کار می‌روند که در معرض ضربه و برخورد قرار دارند مانند: میل‌لنگ‌ها، محور لنگ پرس‌های ضربه‌ای و محور وسائط نقلیه. در جدول زیر نمونه‌هایی از فولادهای قابل به‌سازی را مشاهده می‌نمایید.

نمونه‌هایی از فولادهای قابل به‌سازی

علامت نرم شده	خصوصیات	موارد استفاده
C۴۵G	قابلیت کوره کاری خوب، نرم تابانده شده (در موقع تولید فولاد)	پیچ و مهره‌ها،انگشتی‌ها، محورها، شفت‌ها و میل‌لنگ‌ها
۴۰Mn۴	قابل کوره کاری	قطعات منتقل کننده‌ی قدرت مانند پلوس‌ها و میل‌لنگ‌ها
۳۴Cr۴Ni	قابل جوشکاری، نرمال تابانده شده	برای تهیه‌ی قطعات ماشین‌آلات مانند دسته پیستون‌ها، شفت‌ها
۳۰CrNiMo۸V	مقاوم در برابر تنش‌ها، به ساخته در موقع تهیه‌ی فولاد	پروانه‌ی کشتی‌ها، ملخ هواپیماها و میل‌گاردان

۱ـ۵ـ فولادهای قابل ازته کردن

این فولادها قابلیت جذب ازت را داشته و به همین دلیل می‌توان سطح آن‌ها را پس از به‌سازی به وسیله جذب سطحی ازت، سخت نمود. این فولادها جزء فولادهای آلیاژی بوده و ممکن است که حاوی فلزاتی مانند کروم، مولیبدن و آلومینیوم باشند، فلز آلومینیوم قابلیت جذب ازت را در فولاد افزایش می‌دهد. از این فولادها در ساخت قطعاتی استفاده می‌نمایند که نبایستی در حین عملیات حرارت تاب بردارند.

در جدول زیر نمونه‌هایی از این نوع فولادها آورده شده است.

نمونه‌هایی از فولادهای قابل ازته کردن

علامت نرم شده	خصوصیات	موارد استفاده
۳۱Cr Mo۱۲	مقاوم در برابر تغییر فرم گرم	وسایل اندازه‌گیری، سوپاپ اتومبیل
۴۱CrAlMo۷	قطعاتی که در مقابل حرارت بایستی مقاوم باشند	قطعات توربین‌های بخار
۳۴CrAlNi۷	مقاوم در برابر سایش	برای ساختن قطعات بزرگ و مقاوم در مقابل سائیدگی

۱ـ۶ـ فولادهای فنر

فولادهای فنر بایستی علاوه بر استحکام کششی زیاد، خاصیت الاستیسیته خوبی داشته و در مقابل ارتعاشات نیز مقاوم باشند. این خصوصیات تنها بستگی به درصد عناصر موجود در فولاد نداشته بلکه به همراه آن می‌توان به وسیله عملیات حرارتی و تغییر فرم در حالت سرد، خواص آن را تغییر داده و خصوصیات موردنظر را به دست آورد. فولادهای فنر را نیز در دو گروه آلیاژی و غیرآلیاژی تولید می‌کنند. در جدول زیر نمونه‌هایی از این فولاد را مشاهده می‌نمایید.

نمونه‌هایی از فولادهای فنر

علامت نرم شده	خصوصیات	موارد استفاده
۳۸Si۶	فولاد فنر غیرآلیاژی با ۱/۵٪ سیلیسیم	واشرهای فنری، فنرهای بشقابی
۳۰WCrV۱۷۹	فولاد فنر با مقاومت زیاد در حالت گرم (تا $۵۰۰^{\circ}c$)	فنر سوپاپ اتومبیل
X۱۲CrNi۱۷۷	فولاد فنر زنگ نزن، از این فولاد در اثر کشیدن می‌توان بدون آبکاری و برگشت مفتول فنری با قطر کمتر از ۰/۵ میلیمتر و استحکام کششی تا $۱۹۰۰\frac{N}{mm^۲}$	فنرهای زنگ‌نزن با استحکام کششی زیاد

www.modaresanesharif.ac.ir

مدرسان شریف

فصل هشتم

مواد غیرفلزی

دیر گدازها و مواد سرامیکی

کلیه صنایعی که در مراحل مختلف فرآیند و عملیاتی خود با درجه حرارت‌های بالا سر و کار دارند، نیاز به مواد دیرگداز (نسوز) دارند. در کوره‌های تأسیساتی، صنایع متالورژیکی، صنایع شیشه و سرامیک و صنایع هسته‌ای و تولید انرژی و در صنایع شیمیایی، مواد دیرگداز نقش اساسی دارند. مواد دیرگداز بایستی علاوه بر تحمل درجه حرارت‌های بالا، بتوانند تحمل شوک حرارتی، مقاومت به سایش، ضربات مکانیکی، خزش و . . . را به خوبی داشته باشند. طبق تعریف مواد دیرگداز (نسوز) به موادی گفته می‌شود که حرارت خمیری (زینتر Sintring) آن‌ها از حدود $1500^{\circ}C$ بالاتر باشد.

حرارت زینتر مواد سرامیکی را به وسیله‌ی روش زِگِر که مخروط‌هایی از مواد دیرگداز مورد آزمایش با مشخصات معین هستند و به صورت مخروط با ابعاد و ارتفاعات معین تهیه می‌شوند، اندازه‌گیری می‌کنند و درجه حرارت زینتر برای مخروط شماره ۱۲ زگر برابر ۱۳۷۵ و برای مخروط شماره ۴۲ برابر $1980^{\circ}C$ می‌باشد. در درجه حرارت زینتر نوک مخروط سرامیکی در اثر حرارت نرم و خم می‌شود. نقش مواد دیرگداز حفاظت از محیط‌هایی است که در آن‌ها واکنش‌ها و یا عملیاتی در درجه حرارت‌های بالا انجام می‌گیرد، که این واکنش‌ها فیزیکی و شیمیایی و مکانیکی می‌باشند. خواص مهم دیرگدازها عبارتند از: دیرگدازی، مقاومت در برابر محیط‌های مختلف کاری، پایداری در برابر تغییرات ناگهانی درجه حرارت (شوک حرارتی)، مقاومت در برابر فشار در دمای محیط و در دمای بالا، عدم تغییرات حجم در درجه حرارت‌های مختلف، عدم انبساط و انقباض در برابر تغییرات درجه حرارت، قابلیت هدایت حرارتی، مقاومت در برابر ضربه و خزش و داشتن تخلخل از خواص مهم دیرگدازها می‌باشند.

خزش عبارت است از تغییر شکل جسم به مرور زمان در درجه حرارت‌های بالا و تحت تأثیر تنش به طوری که در درجه حرارت معمولی و در شرایط تنشی مشابه تغییر طول در نمونه ایجاد نشود.

مواد سرامیکی از جمله دیرگدازها که جزیی از سرامیکها هستند در برابر فشار تحمل بیشتری دارند تا در برابر کشش. انواع مواد سرامیکی نسوز، از سه جنبه تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ از نظر شیمیایی (اسیدی، بازی، خنثی)

۲ـ روش تولید (پرس خشک) اکستروژن (به شکل گل)، ذوب و انجماد (ریخته‌گیری)، ریخته‌گری دوغ آبی (قالب گچی)

۳ـ دیرگدازی: درجه حرارت پایین (زگر ۲۸ ـ ۱۹) (Low duty)

درجه حرارت متوسط (زگر ۳۰ ـ ۲۸) (Intermediate duty)

درجه حرارت بالا (زگر ۳۲ ـ ۳۰) (High duty)

درجه حرارت فوق بالا (زگر ۳۳ به بالا) (Super duty)

نسوزهای اسیدی عبارتند از: زیرکونیایی (ZrO_2) و زیرکونی (Zr)، سیلیکاتی، شاموتی، کائولینی، خاک نسوز با آلومینای بالا، سیلیمانیتی، مولیتی.

نسوزهای قلیایی عبارتند از: منیزیتی (MgO)، کرمیتی (Cr_2O_3) و کرم منیزیتی (MgO و Cr_2O_3)

پریگلاس، دولومیتی، فورستریتی

نسوزهای خنثی عبارتند از بوکسیتی (SiO_2 و Al_2O_3)، آلومینایی (Al_2O_3)، سیلیکون کاربیدی (SiC)، کرمیتی (Cr_2O_3)، کرم ـ آلومینایی Cr_2O_3 ـ Al_2O_3.

مواد دیرگداز به طور عام از اکسیدهای با نقطه ذوب بالا تشکیل شده‌اند که تعدادی از آن‌ها در زیر مشخص شده است.

نقطه‌ی ذوب	نام اکسید	نقطه‌ی ذوب $^{\circ}C$	نام اکسید
۱۷۲۰	SiO_2	۲۸۰۰	MgO
۲۰۵۰	Al_2O_3	۲۲۶۵	Cr_2O_3
۲۵۷۰	CaO	۲۷۵۰	ZrO_2

اغلب جرم‌های کوبیدنی و آجرهای صنعتی نسوز را سیلیس تشکیل می‌دهد. مواد نسوز سیلیسی خالص از SiO_2 خالص است. ولی در صنعت جرم‌های کوبیدنی (خاک‌های نسوز) از ترکیب SiO_2 و Al_2O_3 تشکیل شده‌اند و بهترین ترکیب سیلیس (SiO_2) برای تشکیل خاک نسوز استفاده از نوع کوارتز (SiO_2) می‌باشد. چون خاک نسوز سیلیسی در برابر اکسیدهای آهن و کربن مقاومت خوبی دارد، لذا در ذوب مواد چدنی ساده از این جرم دیرگداز استفاده می‌شود.

مزایای آجرهای سیلیسی عبارتند از:

۱) ارزانی مواد اولیه

۲) تحمل فشار نسبتاً بالا در دمای بالا (تا ۵۰ PSI را در درجه حرارت ۱۷۳۰° C تحمل می‌کند.)

۳) مقاومت خوب در برابر اکسیدهای آهن و اکسید کلسیم،

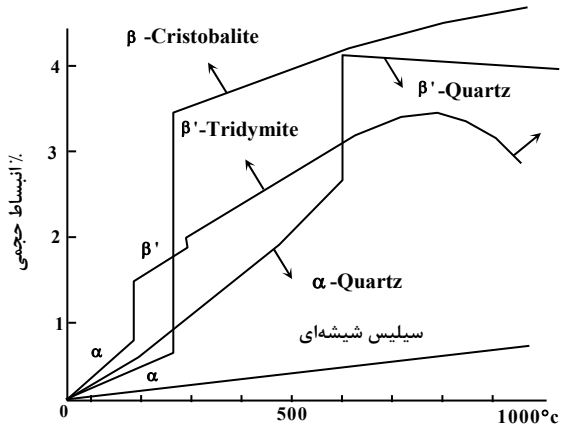
۴) انقباض کم در دمای بالا برای سیلیس از نوع کوارتز

۵) مقاومت به سایش خوب.

مضرات جرم‌های کوبیدنی و آجرهای سیلیس عبارتند از: مقاومت کم در برابر شوک حرارتی در زیر ۶۰۰°C، مقاومت کم در برابر سرباره‌های بازی و قلیایی. ترکیبات اصلی آجرهای سیلیسی را SiO_2 تشکیل می‌دهد، خود سیلیس ۴ آلوتروپی دارد که در جدول زیر مشخص شده است.

شکل‌های مختلف سیلیس:

۱ـ سیلیس بی‌شکل یا سیلیس شیشه	۲/۲ وزن مخصوص
۲ـ کوارتز β,α (quartz)	۲/۱۲
۳ـ تری دیمیت (γ,β,α) (tridymite)	۲/۲۷
۴ـ کریستوبالیت (β,α) (crysto balite)	۲/۳۵



(سیلیس شیشه و کوارتز در طبیعت به فراوانی وجود داشته در حالی که تری دیمیت و کریستوبالیت کمیاب است) این خاصیت چندگانه کریستالی سیلیس را (Polymorphism) می‌گویند که در فرآیندهای زیر تحولات و تغییرات فیزیکی آن نشان داده شده است. که در واقع آلوتروپی‌های سیلیس (SiO_2) به حساب می‌آیند. هر کدام از اشکال آلوتروپی دارای دو تغییر شکل کریستالی (آلوتروپی) به نام β,α است. در دیاگرام مقابل تغییر β,α در درجه حرارتهای مختلف نمایش داده شده است.

$$\text{مذاب} \rightleftarrows \text{کریستوبالیت } 1728^\circ C \rightleftarrows \alpha \text{ تریدیمیت } 1470^\circ C \xrightarrow[870^\circ C]{} \beta \text{ کوارتز} \xrightarrow[537^\circ]{} \alpha \text{ کوارتز}$$

$$\text{تریدیمت } \gamma \xrightarrow[163^\circ C]{} \beta \text{ تریدیمیت} \xrightarrow[117^\circ C]{} \alpha \text{ تریدیمیت}$$

$$\beta \text{ کریستوبالیت} \xrightarrow[(200-270)^\circ C]{} \alpha \text{ کریستوبالیت}$$

در جرم‌های کوبیدنی و آجرهای سیلیسی مقدار کمی هم آهک به کار می‌رود.

نقش آهک در آجرها و جرم‌های کوبیدنی سیلیسی

۱ـ آهک حرارت زینتر (خمیری شدن) ماسه سیلیسی را پایین آورده و سبب چسبندگی دانه‌های دیرگداز سیلیسی و در نتیجه شیشه‌ای شدن آن می‌شود که مقدار آهک (CaO) لازم حدود ۲/۵٪ است.

۲ـ آهک تبدیل کوارتز به تریدیمیت را آسان می‌نماید.

امروزه آجرهای سیلیسی بیشتر در تولید شیشه مورد استعمال دارند و در کوره‌های ذوب شیشه به کار می‌روند. آجرهای با حدود ۹۰% سیلیس و بقیه خاک رس، برای نسوز سقف کوره‌های فولادسازی به خصوص از نوع قوسی و القایی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ولی برای بدنه کوره‌های قوسی و کوره‌های فولادسازی مثل اِل. دی (L . D) از آجرهای آلومینایی و منیزیتی استفاده می‌شود. در کوره‌های ذوب مس نیز از آجرهای قلیایی استفاده می‌شود. در ژنراتورها و سقف کوره‌های عملیات حرارتی نیز از آجرهای سیلیسی استفاده می‌شود.

نکته ۱: خاک رس از سیلیکات‌های فلزات مختلف مثل آهن یا کلسیم و سدیم و آلومینیوم و . . . تهیه می‌شود.

نکته ۲: آجرهای سیلیسی در مقابل تغییرات درجه حرارت حساس می‌باشند و در موقع سرد کردن با کاهش دما و تغییر فازی که با کاهش شدید حجم همراه است مواجه می‌شوند.

دیرگداز (نسوز)های آلومینوسیلیکاتی

ترکیب این نوع آجرها و جرم‌های کوبیدنی از سیلیس، آلومینا و اکسید آهن (خاک سرخ) است که بر حسب افزایش درصد آلومینا و کاهش درصد اکسید آهن مرغوبیت آن افزایش می‌یابد.

این آجرها و جرم‌ها عموماً دارای حدود (٪۶۵ SiO_2)، (٪۳۰ Al_2O_3) و حدود ٪۵ ناخالصی است که بیشتر آنها از اکسید آهن (Fe_2O_3 یا خاک سرخ) تشکیل شده است.

جرم‌های کوبیدنی یا آجرهای شاموتی حدود (٪۴۵ – ٪۲۵) آلومینا (Al_2O_3) دارند که بقیه سیلیس (SiO_2) و اکسید آهن (Fe_2O_3) است، به طوری که درصد سیلیس در ترکیب بیشترین مقدار است و با کاهش درصد اکسید آهن، مرغوبیت خاک شاموتی افزایش می‌یابد و این در صورتی است که درصد اکسید آهن از حدود ٪۱ کمتر شود.

جرم‌های کوبیدنی سیلیمانیتی دارای (٪۶۵ – ٪۴۵) Al_2O_3

جرم‌های کوبیدنی مولایتی ($3Al_2O_3, 2SiO_2$) حدود (٪۷۵-٪۶۵) Al_2O_3 (مولایت در طبیعت کمیاب است.)

جرم‌های کوبیدنی بوکسیتی ($Al_2O_3 \cdot nH_2O$) حدود (٪۹۰ – ٪۷۵) Al_2O_3

جرم‌های کوبیدنی کورندومی (Al_2O_3) حدود (٪۱۰۰–٪۹۰) Al_2O_3

لازم به یادآوری است که با کاهش آلومینا به کمتر از ٪۱۵ به دلیل به وجود آمدن ترکیب یوتکتیکی در جرم کوبیدنی در هنگام پخت، حرارت ذوب دیرگداز شدیداً کاهش یافته و به حدود $1580^\circ C$ می‌رسد.

جرم‌ها (آجرها)ی دیرگداز قلیایی

جرم‌های کوبیدنی دولومیتی

جرم‌های کوبیدنی و آجرهای دو لومیتی از ترکیب ($CaCO_3$، $MgCO_3$) تشکیل شده که با تکمیل (حرارت دادن) در $1000^\circ C$ مخلوط CaO و MgO تشکیل می‌شود اگر حرارت دادن سریع متوقف شود، ترکیب حاصل جذب آب شده و تخلخل آن در اثر خشک شدن بعدی زیاد می‌شود لذا بایستی مخلوط تا $1000^\circ C$ حرارت داده شود و بدین ترتیب تخلخل آن تا کمتر از ٪۱۵ کاهش می‌یابد که قابل انبار شدن است.

برای تهیه آجرها: جرم‌های کوبیدنی آن‌ها را با ٪۴ آب مخلوط می‌کنند، سپس در قالب‌های آجر ریخته و در حرارت حدود $1400^\circ C$ تحت فشار حدود $13000 Psi$ قرار می‌دهند که به طور کامل پخته و مستحکم می‌شود البته به جهت احتمال ترک، پخت آن‌ها در کوره‌های تونلی انجام می‌شود.

آجرهای منیزیتی (منگنزیایی MgO) دارای نقطه‌ی ذوب $2800^\circ C$ هستند. برای تهیه جرم کوبیدنی نسوز (دیرگداز) منیزیتی و آجر نسوز از ترکیب ٪۸۰ MgO و حدود ٪۶ Fe_2O_3 و حدود ٪۷ Al_2O_3 و حدود ٪۴ CaO و SiO_2 استفاده می‌شود و در کوره‌های ذوب فولاد پر کربن و آلیاژی نظیر D . L ،Kaldo و یا کوره‌های قوسی و القایی از آن‌ها استفاده می‌شود. برای تهیه آجرهای با خطر ترک کمتر بایستی منیزیت به کار رفته قبلاً خوب پخته شده باشد و ذرات جرم خیلی ریز نباشد و در درجه حرارت خشک کن حدود $60^\circ C$ به طور ملایم نگهداری شود و دما خیلی بالا نرود و زمان نگهداری جهت خشک کردن افزایش یابد.

دیرگدازهای کرمیتی

به طور معمول به تمام سنگ معدن‌های کرم (Cr_2O_3)، کرمیت گفته می‌شود مثل: FeO، Cr_2O_3. کروم ـ منیزیتی MgO Cr_2O_3 - که در آن‌ها مقدار اکسید کرم یا کرمیت (Cr_2O_3) بیش از ٪۵۰ جرم کوبیدنی را تشکیل می‌دهد و نیز دیرگدازهای منیزیت ـ کرمیتی ($MgO.Cr_2O_3$) که در آن بیش از ٪۵۰ از جرم، منیزیت می‌باشد.

نسوزها (دیرگدازها)ی کرومیتی خنثی می باشند و بیشتر برای جدا کردن دیرگدازهای آلومینا ـ سیلیکاتی اسیدی از نسوزهای قلیایی استفاده می‌شود که امروزه به علت کاهش حجم شدید پس از پخت یا به نگام پخت مورد استفاده زیادی ندارد. امروزه به جای آن‌ها از دیرگدازهای کرم منیزیتی و یا دیرگدازهای منیزیت ـ کرومیتی استفاده می‌شود.

خاک چینی، کائولن‌ها

خاک چینی و یا خاک کائولن‌ها نیز در رده مواد سرامیکی می‌باشند. چینی‌ها هر چه شفاف‌تر باشند، مرغوبترند. مواد اولیه‌ی چینی‌ها را کائولن و فلدسپات $KAlSi_3O_8$ و SiO_2 از نوع آلوتروپی کوارتز تشکیل می‌دهد. کائولینیت (کائولن) دارای ترکیب شیمیایی $2SiO_2$، $2H_2O$ و Al_2O_3 می‌باشد. کائولنیت از سیلیکات‌های آبدار از لایه‌های چهار وجهی $[SiO_4]$ و $[AlO_2(OH)_4]$ تشکیل می‌شود.

اگر مواد اولیه‌ی آن عاری از اکسید آهن (Fe_2O_3) باشد کاملاً شفاف است. از مواد چینی به دلیل عدم خوردگی شیمیایی در طبیعت و در محیط‌های عادی و نیز به دلیل عایق بودن در صنایع الکتریکی و برق استفاده می‌شود.

مواد سرامیکی غیر اکسیدی

این مواد از عناصر کربن، سیلیسیم و ژرمانیم و نیز برونیتروژن و هیدروژن تشکیل شده است. برای مثال ترکیبات SiC (کاربید سیلیسیم) و یا نیترو سیلیسیم (Si_3N_4) از جمله این ترکیبات هستند و نیز کاربیدهای TiC (کاربید تیتانیم) و VC (کاربید وانادیم) و WC (کاربید تنگستن) و . . . می‌باشند که نقاط ذوب و چگالی آن‌ها در حدود $3000^\circ C$ می‌باشد. نقطه‌ی ذوب و سختی برخی از این کاربیدها در جدول زیر آورده شده است.

درجه حرارت ذوب و سختی (Hv) بعضی از کاربیدهای فلزات واسط

ماده	WC	TaC	HfC	MO_2C	NbC	ZrC	Cr_3C_2	VC	TiC
نقطه‌ی ذوب $^\circ C$	۲۶۰۰	۳۷۸۰	۳۸۹۰	۲۴۰۰	۳۵۰۰	۳۵۳۰	۱۸۹۵	۲۸۳۰	۳۱۴۰
سختی ویکرز (HV)	۲۱۸۰	۱۷۹۰	۲۷۰۰	۱۹۵۰	۲۴۰۰	۲۵۶۰	۲۲۸۰	۲۹۵۰	۳۲۰۰

کربن نیز به صورت گرافیت و الماس (دو آلوتروپی کربن) وجود دارد که گرافیت دارای نقطه ذوب بالا و در ساخت نسوزهای گرافیتی از آن استفاده می‌شود.

مثال ۱: کدام ماده دیرگداز محسوب می‌شود؟

۱) اکسید آهن ۲) اکسید سدیم ۳) کائولین ۴) خاک رس (clay)

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» در بین مواد گزینه‌های فوق فقط کائولن دیرگداز است.

مثال ۲: کدام ماده دیرگداز در ساخت آجر نسوز کاربردی ندارد؟

۱) SiO_2 ۲) CaO ۳) MgO ۴) ZrO_2

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» زیرا آهک جذب آب کرده و پس از پخت امکان ترک در آن وجود دارد.

مثال ۳: کدام دیرگداز قلیایی است؟

۱) منیزیت ۲) سیلیس ۳) اکسید آهن ۴) آلومین

☑ **پاسخ:** گزینه «۱» منیزیت در بین ترکیبات فوق به طور کامل قلیایی است.

مثال ۴: حرارت زینتر مواد دیرگداز به وسیله ..... اندازه‌گیری می‌شود.

۱) هرم مربع القاعده از جنس دیرگداز ۲) هرم ناقص از جنس دیرگداز
۳) مخروط زِگر از جنس دیرگداز ۴) هرم زِگر از جنس دیرگداز

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» حرارت زینتر مواد دیرگداز به وسیله مخروط زگراز جنس دیرگداز اندازه‌گیری می‌شود.

مثال ۵: کدام آلوتروپی (SiO_2) پس از تبدیل برگشت‌پذیر است؟

۱) کوارتز به تریدیمیت ۲) کوارتز $\alpha \rightarrow \beta$ ۳) تریدیمیت $\beta \rightarrow \alpha$ ۴) کریستوبالیت $\alpha \rightarrow \beta$

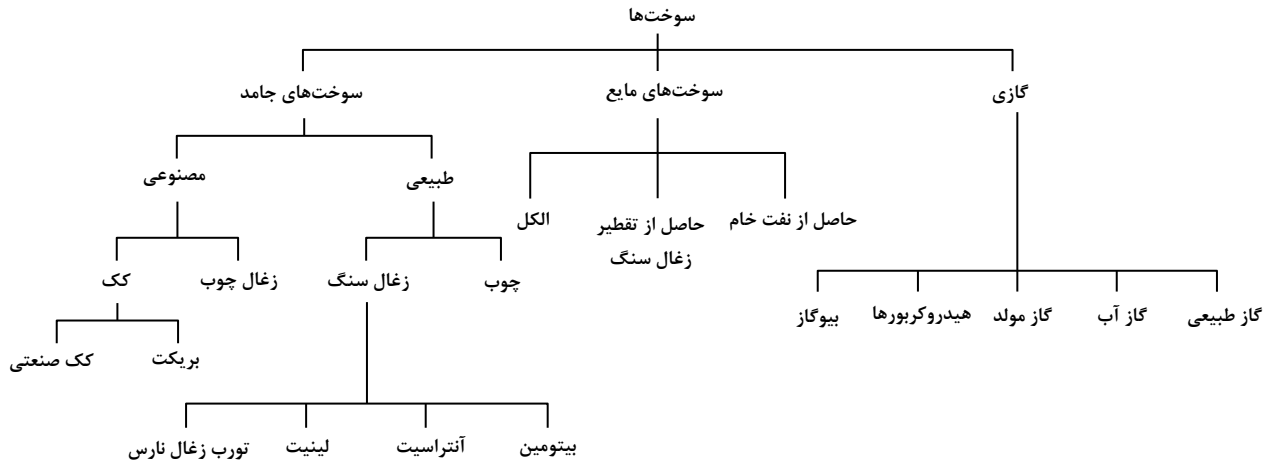
☑ **پاسخ:** گزینه «۱» طبق دیاگرام تغییرات آلوتروپی

سوخت‌ها ـ دسته بندی سوخت‌ها

سوخت‌ها موادی هستند که از ترکیب شیمیایی آن‌ها با اکسیژن و سایر مواد و عناصر انرژی تولید شود، به طوری که ارزش حرارتی آن‌ها جهت استفاده قابل قبول باشد. به طور معمول سوخت‌ها از کربن و هیدروژن و یا گوگرد و یا ترکیبی از آن‌ها تشکیل شده است. ارزش حرارتی سوخت‌ها مقدار حرارتی است که از سوختن یک کیلوگرم از سوخت جامد و یا مایع و یا یک متر مکعب از هر گاز در شرایط متعارفی تولید شود (دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار یک آتمسفر) در جدول ارزش حرارتی بعضی از سوخت‌ها مشخص شده است.

سوخت‌های جامد	$\frac{kj}{kg}$	سوخت‌های مایع	$\frac{kj}{kg}$	سوخت‌های گازی	$\frac{kj}{m^3}$
چوب	۱۵۰۰۰	نفت	۴۱۰۰۰	اتیلن	۵۷۰۰۰
زغال چوب	۲۶۰۰۰	بنزین	۴۳۰۰۰	پروپان	۹۳۰۰۰
زغال سنگ قهوه‌ای	۳۳۰۰۰	گازوئیل	۴۲۰۰۰	بوتان	۱۲۳۰۰۰
کک	۳۰۱۰۰	مازوت	۴۰۰۰۰	گاز شهری	۱۸۰۰۰

طبقه‌بندی انواع سوخت‌ها



نکته ۳: زغال سنگ‌ها منشأ نباتی دارند از بقایای نباتات و گیاهان که طی سالیان و گاه میلیون‌ها سال در اثر عوامل طبیعی (فشار، حرارت) در زمین به وجود آمده‌اند.

نکته ۴: هر چه خاکستر حاصل از سوختن مواد بیشتر باشد ارزش حرارتی آنها پایین‌تر است.

نکته ۵: هر چه مواد فرار سوخت‌ها بیشتر باشد، سوخت زود آتشگیرتر است (دارای درجه اشتعال کمتری است)

زغال چوب

زغال چوب از حرارت دادن چوب در کوره‌های مخصوص به طوری که مقدار هوای وارده به محفظه سوخت‌ها بسیار کم باشد، بدست می‌آید. با حرارت دادن آن در محیط بسته از هوا، رطوبت و مواد آن خارج می‌شود و درصد خلوص کربن آن بیشتر می‌شود.

در ضمن وزن زغال چوب حدود $(\%۳۰ - \%۲۰)$ وزن چوب به کار رفته است. زغال چوب جاذب رطوبت است و در آب‌های رنگی، جذب رنگ کرده و آب را زلال می‌کند. زغال چوب در حرارت $۳۰۰^{\circ}C$ تا $۱۰۰۰^{\circ}C$ تهیه می‌شود و هر چه در درجه حرارت بالاتری تشکیل شود ارزش حرارتی آن بیشتر است. هرگاه درجه حرارت تشکیل آن پایین باشد در مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در صورت تشکیل در درجه حرارت بالا در صنایع ذوب فلزات استفاده می‌گردد. با افزایش مواد فرار زغال در حین حرارت دادن، ارزش زغال پایین‌تر می‌آید.

تورب (زغال نارس)

تورب یا زغال سنگ نارس ارزش حرارتی حدود $۲۸۰۰\frac{kcal}{kg}$ دارد و مواد فرار آن خیلی زیاد و حدود $\%۸۰$ است. عمر این زغال در دوران گذر زمان، بسیار کمتر از زغال سنگ‌های آنتراسیت است. این زغالی در بقایای مرداب‌های مسطح و مرتفع مناطق گرم کره‌ی زمین یافت می‌شوند.

زغال قهوه‌ای

این زغال عمری حدود ۵۰ میلیون سال دارد و از بقایای نباتات و گیاهانی است که قرن‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی، و فشار و درجه حرارت مختلف زمین به این صورت در آمده و طبیعی است که ارزش حرارتی آن به نسبت بیشتر باشد.

زغال سنگ (آنتراسیت)

عموماً این زغال از تبدیل زغال قهوه‌ای در اثر عوامل مختلف و گذر زمان بیشتر به دست می‌آید. فشار، درجه حرارت و تأثیر عوامل مختلف در قسمت‌های مختلف داخل کره زمین یکی نبوده و این عوامل گاهی تأثیرش بیشتر است که در این صورت ارزش حرارتی آن نیز بیشتر خواهد بود.

کک

به دلیل احتیاج به ارزش حرارتی بیشتر در کوره‌های ذوب و دوام بیشتر زغال سنگ و نیز تولید خاکستر کمتر، لازم است زغال سنگ را خالص نموده و از عوامل کاهنده ارزش حرارتی جلوگیری نماییم. به این عنوان با حرارت دادن زغال سنگ‌ها در دمای حدود $۱۱۰۰^{\circ}C$ و در یک محیط بسته و عاری از هوا، مواد فرار و مایعات (قطران) زود اشتعال از زغال سنگ خارج شده و در ضمن تخلخل و استحکام آن افزایش می‌یابد و زغال سنگی با درجه خلوص بالا که «کک» نامیده می‌شود، برای استفاده جهت ذوب فلزات در کوره‌های بلند و سایر کوره‌های با سوخت جامد آماده می‌شود. از مشخصات اصلی زغال کک عبارتست: از تخلخل زیاد، استحکام مکانیکی (ضربه‌ای و فشاری) بالا، مقدار مواد فرار و زود اشتعال کم و دوام زیاد می‌باشد در ضمن خاکستر کم تولید می‌کند.

لازم به ذکر است گرد زغال سنگ و کک به جا مانده از حمل و نقل با مقداری چسب و مواد قابل اشتعال مخلوط شده و در قالب‌های چهارگوش پرس می‌شود و پس از خشک شدن در مصارف خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

سوخت‌های مایع

سوخت‌های مایع از ذخایر نفت و یا از تقطیر زغال سنگ و چوب و تبدیل آن به کک به دست می‌آید. مزایای سوخت‌های مایع نسبت به سوخت‌های جامد عبارتند از:

۱ـ سهولت آتشگیری
۲ـ نداشتن خاکستر
۳ـ سهولت ذخیره‌سازی
۴ـ عدم آتشگیری خود به خودی
۵ـ بالا بودن ارزش حرارتی نسبی آن‌ها.

سوخت‌های مایع عبارتند از: قطران، الکل، سوخت‌های کولوئیدی (مخلوط پودر زغال سنگ یا چوب و روغن‌ها) و سوخت‌های حاصل از نفت خام (که مخلوطی از هیدروکربورهای سبک و سنگین است). سوخت‌های مایع و گازی و سایر سوخت‌ها از جمله سوخت‌های جامد دارای گوگرد و فسفر است که بایستی گوگردزدایی شوند. گوگردزدایی سوخت‌های مایع و گازی را شیرین کردن سوخت‌ها می‌گویند.

نکته ۶: تهیه فرآورده‌های نفتی از نفت خام (مازوت) به وسیله دستگاه تقطیر انجام می‌شود. به نفت خام که با کاتالیست مخلوط شده است، در یک محفظه‌ای بسته حرارت می‌دهند که در این صورت فرمول‌های سنگین آن شکسته و سبک می‌شود و در طبقات بالاتر خنک شده و بر حسب پر کربن یا کم کربن بودن در ارتفاعی در اثر سرد شدن به مایع تبدیل می‌شود و سبک‌ترین آن‌ها (گازی متان، اتان، پروپان، بوتان و . . .) در طبقات آخر، یا مایع می‌شوند یا خارج می‌گردند، این عمل را کراکینگ گویند.

نکته ۷: به طور کلی هر چه تعداد کربن در پیوند و یا تعداد اتصالات کربن‌ها با هم بیشتر باشد و نیز تعداد پیوندهای چندگانه کربن‌ها با هم بیشتر باشد، درجه اشتعال سوخت بالاتر بوده و ارزش حرارتی آن بیشتر است.

فرآورده‌های برج‌های تقطیر و حاصل از کراکینگ نفت خام عبارتند از: نفت گاز، نفت سفید، بنزین، گازهای مختلف سوختی و سوخت‌های روغنی. حدود ۴۵ درصد نفت خام تبدیل به بنزین می‌شود که ۹۰% آن به عنوان سوخت موتورهای احتراقی کاربرد دارد.

نکته ۸: هر چه درجه خلوص سوخت‌ها بیشتر باشد، ارزش حرارتی آن‌ها بیشتر است.

نکته ۹: با افزایش تعداد کربن در شاخه یا پیوند خطی، سیالیت سوخت مایع کاهش یافته و ویسکوزیته آن بالا می‌رود و گاه به سوخت جامد تبدیل می‌شود.

سوخت‌های گازی

سوخت‌های گازی عبارتند از: گاز طبیعی: که در چاه‌های نفت و یا مناطق نفت‌خیز و جوار آن‌ها وجود دارد و قابل استخراج است و به طور عام دارای گوگرد بوده و پس از شیرین کردن (گوگردزدایی) به کارخانجات صنعتی فرستاده می‌شود تا بر حسب احتیاج و ضرورت از آن‌ها استفاده شود این گازها عبارتند از متان، اتان، پروپان و بوتان و نیز گاز سولفید هیدروژن ($H_۲S$) به عنوان ناخالصی مضر محسوب می‌شود.

گازهای مصنوعی

گازهای مصنوعی در هنگام تهیه کک به دست می‌آیند و به عنوان گازهای فرار تولید می‌گردند. این گازها در کارخانجات مختلف و در منازل به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای تولید روشنایی استفاده می‌شوند که در این صورت برای تولید نور درخشان بایستی گاز $H_۲S$ از آن زدوده و به اصطلاح شیرین شود.

گاز آب نیز گازی مصنوعی است که مخلوطی از منواکسید کربن (CO) و هیدروژن ($H_۲$) می‌باشد که از عبور دادن بخار آب روی زغال سنگ گداخته به دست می‌آید.

$$C + H_۲O \rightarrow \underbrace{CO + H_۲}_{\text{گاز آب}}$$

مثال ۶: ارزش حرارتی یک سوخت (زغال سنگ) به کدام عامل بستگی دارد؟

۱) درصد ناخالصی ۲) درجه اشتعال ۳) مقدار گوگرد و هیدروژن ۴) تعداد کربن و پیوند چندگانه

☑ **پاسخ :** گزینه‌ی «۴» با افزایش تعداد کربن و نیز تعداد پیوند دوگانه و چندگانه در هیدروکربن ارزش حرارتی افزایش می‌یابد.

مثال ۷: مشکل گازهای طبیعی جهت استفاده در صنعت ذوب به عنوان عامل انرژی کدام است؟

۱) وجود گوگرد در آن ۲) وجود هیدروژن در آن ۳) وجود نیتروژن در آن ۴) مقدار اکسیژن موجود در آن

☑ **پاسخ :** گزینه «۱» وجود گوگرد باعث بوجود آمدن ترکیبی مضر در مذاب می‌شود. گرچه به تولید حرارت و انرژی کمک می‌کند.

مثال ۸: کدام ماده به عنوان گاز آب مورد استفاده برای تولید انرژی می‌باشد؟

۱) CO ۲) $H_۲$ ۳) $H_۲O + N_۲$ ۴) $CO + H_۲$

☑ **پاسخ :** گزینه «۴» $Co + H_۲$ به عنوان گاز آب یکی از عوامل تولید انرژی کاربرد دارد.