فصل نهم

آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن

هدف‌های رفتاری: انتظار می‌رود هنرجو پس از پایان این فصل بتواند :

۱ــ حجم انواع جارمیل و بال‌میل را محاسبه کند.

۲ــ نسبت حجم مواد قابل بارگیری در جارمیل و بال‌میل در سایش تر و خشک را بیان کند.

۳ــ وزن مواد اولیه قابل سایش را با مشخص بودن وزن مخصوص مواد اولیه در بال میل و جارمیل، محاسبه کند.

۴ــ سرعت مناسب و بحرانی بال‌میل و جارمیل را محاسبه کند.

۵ــ مقدار آب لازم راجهت کاهش دانسیته دوغاب و رسیدن به دانسیته مشخص محاسبه نماید.

۶ــ مقدار ماده اولیه لازم را جهت افزایش دانسیته دوغاب تا رسیدن به دانسیته مشخص محاسبه کند.

مقدمه

در ادامه مرحله خردایش مواد اولیه سرامیک به مرحله پایانی می‌رسیم که آسیاب کردن نام دارد. آسیاب کردن در اثر فشار ناشی از ضربه و سایش صورت می‌گیرد. این مرحله بسیار با اهمیت است و می‌توان گفت کیفیت مواد اولیه به فرآوری آن‌ها و آسیاب‌کردن صحیح وابسته است و همواره ۵۰٪ انرژی در مرحله خردایش صرف آسیاب کردن می‌شود. در صنایع سرامیک معمولاً آسیاب‌کردن به دو روش خشک‌ساب و ترساب صورت می‌گیرد. معمولاً در آزمایشگاه از جارمیل، ولی در کارگاه و صنایع از بال میل بهره گرفته می‌شود.

جنس جداره داخلی و خارجی جارمیل‌ها از چینی سخت و پلاستیک فشرده و... و بال‌میل‌ها فولاد می‌باشد. برای پوشش داخلی (لاینینگ) بال میل‌ها از آجرهای ساخته شده از چینی

سخت، آلومینا، استاتیت و یا قطعات لاستیکی استفاده می‌شود.

بال‌میل‌های صنایع سرامیک یک استوانه فولادی دارای پوشش داخلی مناسب می‌باشند که درون آن‌ها گلوله از جنس چینی سخت، آلومینا یا فلینیت در ابعاد مختلف استفاده می‌شود. مواد ساییدنی در حین چرخیدن بال‌میل دراثر فشار ناشی از وزن خود، غلتیدن و سقوط گلوله‌ها متلاشی و به ذرات ریزتر تبدیل می‌گردند و درنتیجه دانه‌بندی ریزتر ذرات که هدف از آسیاب کردن است، حاصل می‌شود.

۱ــ۹ــ تعیین حجم جارمیل و بال‌میل

همان‌طورکه گفته شد شکل هندسی جارمیل و بال‌میل استوانه است با داشتن ابعاد داخلی استوانه حجم آن محاسبه می‌شود. با داشتن سطح قاعده استوانه و ارتفاع داخلی آن می‌توان حجم را محاسبه کرد. واحد حجم را می‌توان برحسب لیتر، سانتی‌مترمکعب، دسی‌مترمکعب و یا مترمکعب و... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$V = \pi . r^{۲} . h$

$V =$ حجم استوانه

$r =$ شعاع قاعده داخلی بال‌میل

$h =$ ارتفاع داخلی بال‌میل

مثال ۱: حجم استوانه‌ای که قطر داخلی (d) آن ۱۲۰۰ میلی‌متر و دارای ارتفاع داخلی ۲۲۰ سانتی‌متر می‌باشد را برحسب مترمکعب و لیتر محاسبه نمایید.

$d = ۱۲۰۰ \div ۱۰۰۰ = ۱/۲ m \qquad h = ۲۲۰ \div ۱۰۰ = ۲/۲ m$

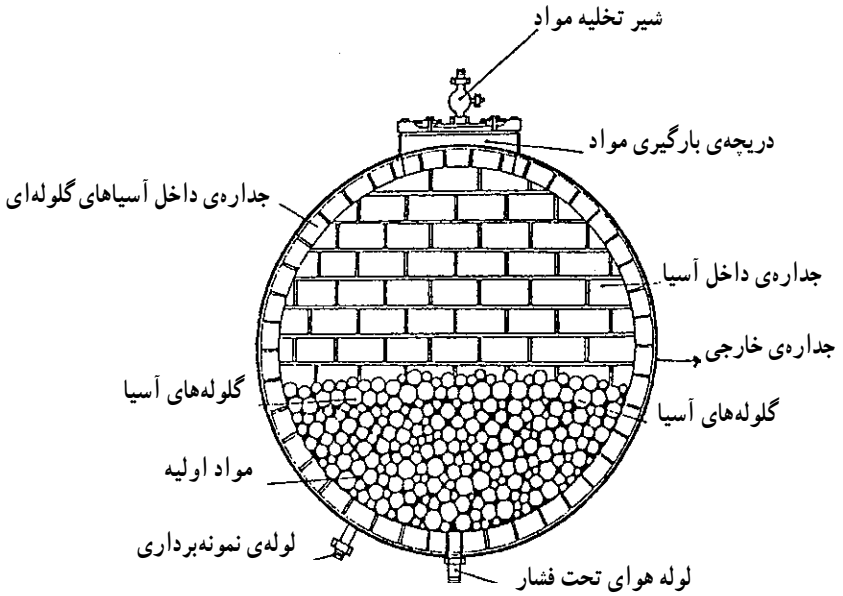
$r = \frac{d}{۲} = \frac{۱/۲}{۲} = ۰/۶ m$

$V = \pi . r^{۲} . h = ۳/۱۴ \times (۰/۶)^{۲} \times ۲/۲ = ۲/۴۸ m^{۳}$

$۲/۴۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۴۸۰ l$

چون هر مترمکعب ۱۰۰۰ لیتر می‌باشد پس حجم استوانه معادل ۲۴۸۰ لیتر است.

مثال ۲: اگر قطر خارجی یک بال میل (D) ۱۱۰ سانتی‌متر، ضخامت پوشش داخلی ۵ سانتی‌متر، ضخامت بدنه ورق فلزی ۲ سانتی‌متر ارتفاع (طول) بال‌میل ۱۵۰ سانتی‌متر باشد، حجم داخلی (مفید) بال‌میل را برحسب لیتر محاسبه نمایید؟



برای محاسبه حجم داخلی بال‌میل به قطر داخلی آن نیاز است.

قطر خارجی = D = ۱۱۰ سانتی‌متر

قطر داخلی = d = ۱۱۰ − [*۲ × (۵ + ۲)] = ۹۶ سانتی‌متر

شعاع داخلی = $\frac{d}{۲} = \frac{۹۶}{۲}$ = ۴۸ سانتی‌متر = ۰/۴۸ متر

ارتفاع خارجی = H = ۱۵۰ سانتی‌متر = ۱/۵ متر

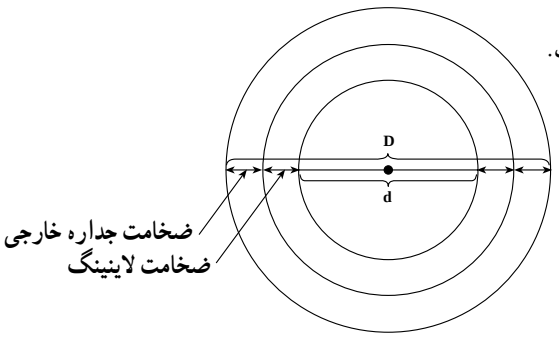
ارتفاع داخلی = h = ۱۵۰ − [**۲ × (۵ + ۲)] = ۱۳۶ سانتی‌متر = ۱/۳۶ متر

$V = \pi . r^{۲} . h$ $V = ۳/۱۴ \times (۰/۴۸)^{۲} \times ۱/۳۶ \simeq ۰/۹۸۴$ مترمکعب = ۹۸۴ لیتر

---

* برای محاسبه‌ی قطر داخلی بال‌میل، چون جداره‌ی خارجی ولاینینگ در دو طرف قاعده‌ی آسیاب وجود دارد می‌بایست عدد(۲) در مجموع ضخامت جداره خارجی ولاینینگ ضرب شود.

** توضیح بالا در محاسبه‌ی ارتفاع داخلی نیز صادق است.



۲ــ۹ــ تقسیم‌بندی حجمی بال‌میل در خشک‌سابی و ترسابی

در روش خشک‌ساب معمولاً حجم داخلی بال‌میل به ۳ قسمت مساوی تقسیم می‌شود. $\frac{۱}{۳}$ حجم برای گلوله‌ها و $\frac{۱}{۳}$ حجم برای مواد اولیه و $\frac{۱}{۳}$ حجم باقی‌مانده، فضای خالی می‌ماند.

در تر سابی، حجم داخلی بال‌میل به ۴ قسمت مساوی تقسیم می‌گردد. $\frac{۱}{۴}$ حجم(٪ ۲۵) برای آب، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای مواد اولیه، $\frac{۱}{۴}$ حجم برای گلوله و $\frac{۱}{۴}$ باقی مانده فضای خالی است. چون مخلوط آب و مواد اولیه دوغاب را تشکیل می‌دهد پس $\frac{۱}{۲}$ حجم بال میل دوغاب است.

مثال ۳: حجم مفید بال‌میل ترسابی ۵۰۰ لیتر می‌باشد. ٪۲۵ حجم مفید بال‌میل را مشخص نمایید.

$$۵۰۰ \times \frac{۲۵}{۱۰۰} = ۱۲۵ \text{ لیتر}$$

مثال ۴: درصورتی که $\frac{۱}{۳}$ حجم مفید جارمیل خشک‌ساب ۲ لیتر باشد، حجم مفید جارمیل چند لیتر است؟

$$x = ۲ \div \frac{۱}{۳} = ۲ \times \frac{۳}{۱} = ۶ \text{ لیتر} \quad \text{(حجم مفید جارمیل)}$$

برای تعیین سهمیه وزنی چهارگانه (آب، ماده اولیه، گلوله و فضای خالی) جارمیل و بال‌میل ترساب با مشخص‌بودن حجم آن‌ها می‌توان از رابطه $\rho = \frac{m}{V}$ استفاده کرد که در آن m جرم، V حجم و ρ وزن مخصوص است.

مثال ۵: حجم داخلی (مفید) یک بال‌میل تر ساب ۶۰۰ لیتر می‌باشد. چه مقدار وزنی آب با وزن مخصوص ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب، مواد اولیه با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، گلوله با وزن مخصوص ۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای بارگیری این بال‌میل مورد نیاز است؟

$$V = \frac{۶۰۰ \times ۲۵}{۱۰۰} = ۱۵۰ \ l = ۰/۱۵۰ m^۳ \text{ سهمیه‌ی حجمی هر جزء داخل بال میل}$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی آب

$$\text{آب } \rho = 1\ g/cm^3 \Rightarrow \text{آب } \rho = 1\times 1000 = 1000\ kg/m^3$$

$$\text{آب } \rho = 1000\ kg/m^3 \quad \rho = \frac{m}{v} \quad 1000 = \frac{m}{0/15} \Rightarrow m = 150kg$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی گلوله :

$$\text{گلوله } \rho = 3000\frac{kg}{m^3} \Rightarrow 3000 = \frac{m}{0/150} \Rightarrow m = 0/150\times 3000 = 450kg \text{ گلوله}$$

محاسبه سهمیه‌ی مواداولیه :

$$\rho = 2500\frac{kg}{m^3} \Rightarrow 2500 = \frac{m}{0/150} \Rightarrow m = 0/150\times 2500 = 375kg$$

نکته: توجه داشته باشید که چون در این محاسبات برای آب و ماده اولیه حجم برابر درنظر گرفته شده است پس وزن مخصوص دوغاب در صورت تغییرنکردن میانگین وزن مخصوص مواد اولیه همواره ثابت خواهد ماند.

درصد حجم اشغال‌شده توسط هر یک از مواد اولیه در بال‌میل و جارمیل با معلوم بودن وزن هر یک از مواد اولیه را می‌توان محاسبه کرد. همچنین محاسبه حجم مواد اولیه و درصدی از حجم کل بال‌میل که توسط هریک از مواد اولیه اشغال شده است، ممکن می‌باشد. برای آشنایی با روش محاسبه مثالی آورده می‌شود.

مثال ۶: وزن مواد اولیه افزوده شده به بال‌میل ترسابی $450kg$ می‌باشد.

اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک $250kg$ کائولین زدلیتز $100kg$ سیلیس همدان و $100kg$ فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال‌میل $720l$ باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از ماده اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5\ g/cm^3$)

$$\text{حجم کل مواد اولیه} \quad \rho = \frac{m}{V} \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{450000}{2/5} = 180000cm^3 = 180l$$

$$450kg\times 1000 = 450/000g$$

حجم کل مواد اولیه	وزن کل مواد
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم کائولین زدلیتز x = ۱۰۰l	۲۵۰
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم سیلیس همدان y = ۴۰l	۱۰۰
۱۸۰l	۴۵۰kg
حجم فلدسپات چغایی x = ۴۰l	۱۰۰
حجم کائولین زدلیتز	حجم بال‌میل به Lit
۱۰۰l	۷۲۰
درصد حجم کائولین زدلیتز Z = ۱۳/۹٪	۱۰۰
حجم سیلیس همدان ۴۰l	۷۲۰Lit
درصد حجم سیلیس همدان x = ۵/۶٪	۱۰۰
حجم فلدسپات چغایی ۴۰l	۷۲۰Lit
K = ۵/۶٪	۱۰۰
درصد حجم فلدسپات چغایی	

درصد حجم باقی‌مانده بال میل جهت آب، گلوله و فضای خالی

$$۱۰۰-(۱۳/۹+۵/۶+۵/۶)=۱۰۰-۲۵/۱=۷۴/۹٪\simeq ۷۵٪$$

۳ـ۹ـ محاسبه سرعت دورانی بال میل‌ها

سرعت دورانی مناسب در بال‌میل ترساب ٪۶۰ تا ٪۷۰ سرعت بحرانی آن می‌باشد. سرعت بحرانی از رابطه $N_C=\frac{۴۲}{\sqrt{d}}$ که در آن N_C سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه)و d قطر داخلی بال‌میل برحسب متر است. سرعت دورانی مناسب در بال‌میل خشک ساب پائین‌تر از ترساب و حدود ٪۸۰ تا ٪۹۰ سرعت بحرانی است.

مثال ۷: سرعت دورانی بال‌میل ترساب با قطر خارجی ۱۵۵۰ میلی‌متر و ضخامت دیواره (مجموع ضخامت لاینینگ و جداره‌ی فلزی) ۲۰۰ میلی‌متر را محاسبه کنید. (سرعت دورانی مناسب را ۶۵ درصد سرعت بحرانی بگیرید).

میلی‌متر ۱۱۵۰ = (۲۰۰×۲) − ۱۵۵۰ = قطر داخلی

متر ۱/۱۵ = ۱۱۵۰ ÷ ۱۰۰۰ = d قطر داخلی

$$N_C = \frac{۴۲}{\sqrt{۱/۱۵}} = \frac{۴۲}{۱/۰۷۲} = ۳۹\text{rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال‌میل ترساب $\frac{۶۵}{۱۰۰} \times ۳۹ = ۲۵$ rpm = سرعت دورانی مناسب

مثال ۸: سرعت بحرانی بال میلی ۴۰rpm است درصورتی که ضخامت لاینینگ آن ۱۵۰میلی‌متر و ضخامت ورق فلزی ۱۰ میلی‌متر باشد قطر خارجی بال میل را برحسب mm محاسبه نمایید.

$$۴۰ = \frac{۴۲}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{۴۲}{۴۰} = ۱/۰۵ \Rightarrow d = ۱/۰۵^۲$$

قطر داخلی بال میل $d = ۱/۱m = ۱۱۰۰mm$

قطر خارجی بال میل ۱۱۰۰ + ۲×۱۵۰ + ۲×۱۰ = ۱۴۲۰mm

۴ــ۹ــ تعیین مقدار آب لازم جهت تصحیح دانسیته دوغاب

با معلوم‌بودن وزن لیتر دوغاب می‌توان با افزودن آب یا مواد اولیه به آن، دوغابی با وزن لیتر کم‌تر یا بیش‌تر ساخت.

رابطه $m = \frac{\rho_۱}{\rho_۱ - \rho_۲}(L_g - V)$ برای این منظور به‌کار می‌رود که در آن :

$\rho_۱$: میانگین وزن مخصوص مواد اولیه موجود در دوغاب به $g/cm^۳$

$\rho_۲$: وزن مخصوص مایع موجود در دوغاب به $g/cm^۳$

L_g : وزن دوغاب با حجم V برحسب گرم

V : حجم L_g گرم دوغاب برحسب $cm^۳$

m : مقدار ماده خشک موجود در L_g گرم دوغاب برحسب گرم

مثال ۹: چه مقدار آب برای ساختن دوغابی با وزن مخصوص $۱/۶۵ g/cm^۳$ جهت افزودن به ۲۰۰۰ گرم لعاب خشک با وزن مخصوص $۲/۸ g/cm^۳$ لازم است؟

درصورتی‌که وزن و حجم آب لازم را به‌ترتیب x و y فرض کنیم، می‌توانیم بنویسیم :

$$\text{چگالی دوغاب} = \frac{\text{مجموع جرم اجزای آمیز دوغاب}}{\text{مجموع حجم اجزای آمیز دوغاب}}$$

$$\text{حجم آمیز دوغاب} = \frac{۲۰۰۰}{۲/۸} = ۷۱۴/۲\,cm^۳$$

$$۱/۶۵ = \frac{۲۰۰۰+x}{۷۱۴/۲+y}$$

چون چگالی آب ۱ است نتیجه می‌گیریم وزن و حجم آن از نظر عددی یکی می‌باشد. پس برای تعیین حجم آب مورد نیاز داریم :

$$۱/۶۵ = \frac{۲۰۰۰+y}{۷۱۴/۲+y}$$

$$y = ۱۲۶۴\ cm^۳ \text{ حجم آب مورد نیاز}$$

مثال ۱۰: مقدار الکلی که باید به ۱۰۰۰g پودر سیمان پرتلند افزوده شود تا وزن مخصوص دوغاب ۱۷۵۰ g/l گردد، را محاسبه نمایید. (به دلیل واکنش‌پذیری سیمان پرتلند با آب در هنگام اندازه‌گیری وزن مخصوص به آن الکل اضافه می‌شود).

$$\rho_{\text{الکل}} = ۰/۸\,g/cm^۳$$

$$\rho_{\text{سیمان پرتلند}} = ۳/۳\,g/cm^۳$$

$$m = \frac{\rho_۱}{\rho_۱ - \rho_۲}(L_g - V)$$

$$m = \frac{۳/۳}{۳/۳-۰/۸}(۱۷۵۰-۱۰۰۰) = \frac{۳/۳}{۲/۵}\times ۷۵۰ = ۹۹۰g \text{ پودر سیمان}$$

$$۱۷۵۰-۹۹۰ = ۷۶۰ \text{ الکل موجود در یک لیتر دوغاب}$$

پودر سیمان	الکل
۹۹۰g	۷۶۰g
۱۰۰۰	x = ۷۶۷/۶۷g

مقدار الکل لازم برای افزودن به ۱۰۰۰g پودر سیمان

$$\rho_۲ = \frac{m}{V} = \frac{۷۶۷/۶۷}{V} = ۰/۸$$

$$V = \frac{۷۶۷/۶۷}{۰/۸} = ۹۵۹/۶\,cm^۳$$

بنابراین حجم الکل مورد نیاز برای افزودن به ۱۰۰۰ گرم پودر سیمان پرتلند جهت رسیدن به وزن لیتری ۱۷۵۰ gr/Lit برابر با ۹۵۹/۶ سانتی‌مترمکعب است.

تمرین

۱ــ اگر در یک بال میل قطر خارجی ۳۴۰۰ میلی‌متر، ضخامت آجر به‌کار گرفته شده در پوشش داخلی ۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع بیرونی بال‌میل ۵/۱۰ متر و ضخامت جدار فلزی خارجی ۲۰ میلی‌متر باشد. حجم مفید این بال‌میل را برحسب مترمکعب و لیتر حساب کنید.

۲ــ جار میلی از جنس چینی سخت با حجم کل ۵ لیتر (غیرمفید) مورد نظر است اگر ارتفاع آن ۶۰ سانتی‌متر و ضخامت دیواره‌اش ۲۰ میلی‌متر باشد قطر داخلی آن‌را به‌دست آورید.

۳ــ ۱۵٪ حجم داخلی یک بال میل ۵۰۰,۰۰۰ میلی‌مترمکعب است حجم داخلی بال میل را حساب کنید.

۴ــ چه مقدار آب، مواد اولیه و گلوله برای بارگیری یک بال‌میل آزمایشگاهی با حجم مفید ۳۰۰ لیتر لازم است درصورتی‌که میانگین وزن مخصوص مواد اولیه ۲/۵ گرم بر سانتی‌مترمکعب، گلوله ۲/۸ گرم بر سانتی‌مترمکعب و آب ۱ گرم بر سانتی‌مترمکعب باشد (نسبت حجمی ۲۵٪ رعایت گردد).

۵ــ مقدار حجم اشغال‌شده توسط هر یک از مواد اولیه (برحسب لیتر)را در مخلوط به‌دست آورید اگر مقدار وزنی مواد اولیه عبارتند از : فلدسپات چغایی ۶۲/۵ کیلوگرم، سیلیس همدان ۵۰۰۰ گرم و زنوز شسته ۱۴۰ کیلوگرم. اگر حجم کل بال میل ۳۰۰ لیتر باشد با محاسبه نشان دهید چه مقدار آب باید به بال میل افزوده شود تا ۵۰٪ حجم مفید بال میل توسط دوغاب اشغال گردد (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5\ g/cm^3$ در نظر گرفته شود).

۶ــ سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه) برای یک بال‌میل ترسابی با قطر خارجی ۱۲۰۰ میلی‌متر و ضخامت یک طرفه جداره لاستیکی ۷۰ میلی‌متر و ضخامت ورق فلزی بال میل ۱/۵ سانتی‌متر را حساب کنید.

۷ــ مقدار آب مورد نیاز برای افزودن به ۱۰,۰۰۰ گرم پودر بدنه خشک با وزن مخصوص ۲/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب جهت رسیدن به وزن لیتر ۱۸۵۰ g/Lit را برحسب لیتر به‌دست آورید (وزن مخصوص آب $1\ g/cm^3$ در نظر گرفته شود).

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

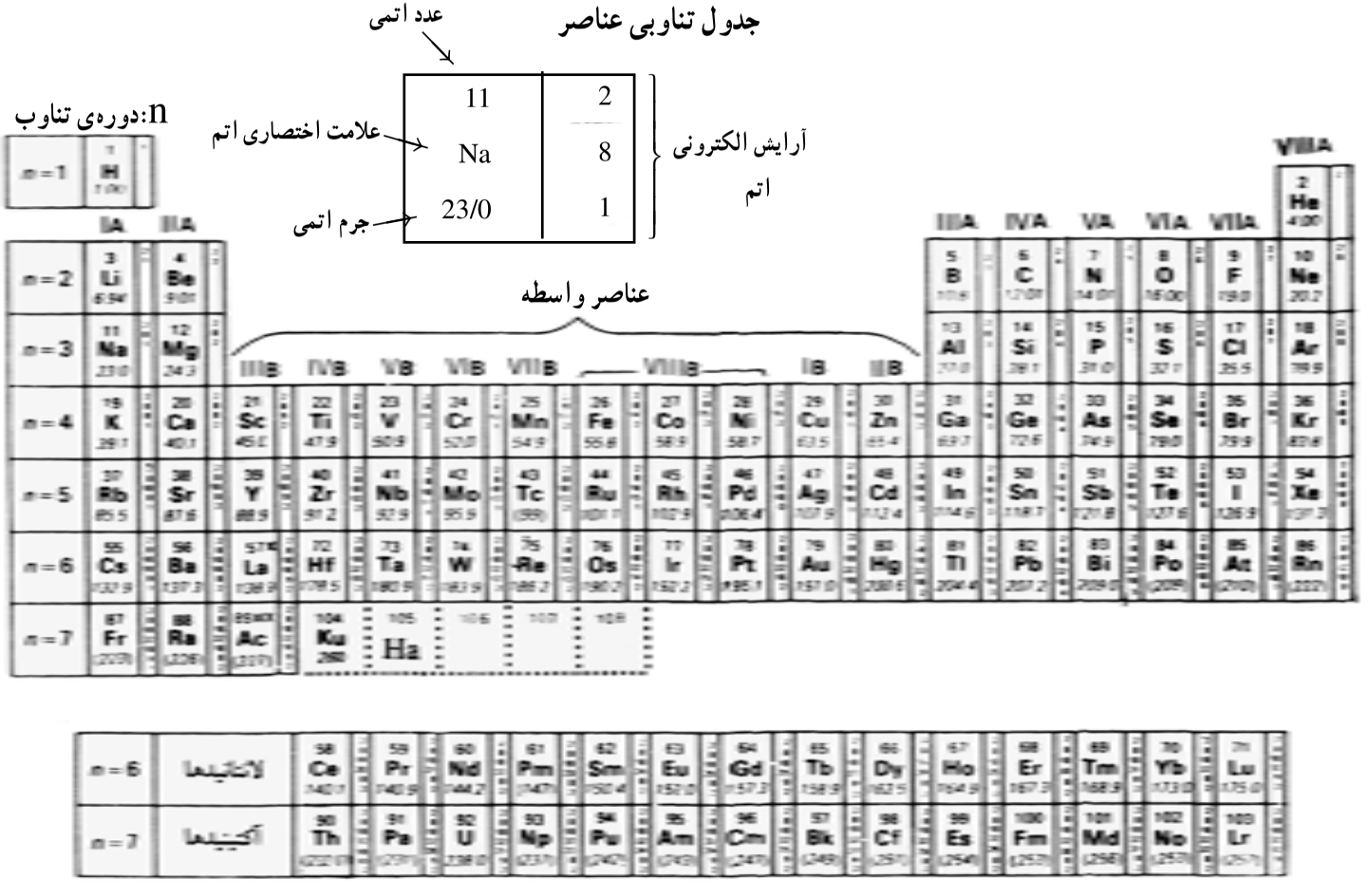
نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Albite (soda spar)	$Na_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	524.6
Alumina	Al_2O_3	102
Anatase (see titania)		
Andalusite	Al_2SiO_5	162.1
Anhydrite	$CaSO_4$	136.2
Anorthite	$CaO.Al_2O_3.2SiO_2$	278.3
Antimony oxide	Sb_2O_3	291.6
Aragonite (see calcium carbonate)		
Arsenious oxide	As_2O_3	197.8
Barium carbonate	$BaCO_3$	197.3
Barium chloride	$BaCl_2.2H_2O$	244.3
Barium chromate	$BaCrO_4$	253.3
Barium hydroxide	$Ba(OH)_2.8H_2O$	315.3
Barium oxide	BaO	153.3
Barium sulfate (barite)	$BaSO_4$	233.4
Bismuth oxide	Bi_2O_3	466.0
Bone ash	$13CaO.4P_2O_5.CO_2$ (approx)	1341.3
Borax	$Na_2B_4O_7.10H_2O$	381.2
Boric acid	H_3BO_3	61.8
Boric oxide	B_2O_3	69.6
Calcite (see calcium carbonate)		
Calcium borate (colemanite)	$Ca(BO_2)_2.2H_2O$	161.7
Calcium carbonate (whiting)	$CaCO_3$	100.1
Calcium chloride	$CaCl_2.6H_2O$	219.1
Calcium chloride (anhydrous)	$CaCl_2$	111.1
Calcium fluoride (fluorspar)	CaF_2	78.1
Calcium hydroxide	$Ca(OH)_2$	74.1
Calcium orthophosphate	$Ca_3(PO_4)_2$	310.3
Calcium oxide (lime)	CaO	56.1
Calcium sulfate (gypsum)	$CaSO_4.2H_2O$	172.2
Carbon dioxide	CO_2	44.0
Chromium oxide	Cr_2O_3	152.0
Clay (kaolinite, china clay)	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$	258.2
Cobaltic chloride	$CoCl_3$	165.4
Cobalt (II, III) oxide	Co_3O_4	240.7
Cobalt (III) oxide	Co_2O_3	165.8
Cobaltous carbonate	$CoCO_3$	118.9
Cobaltous chloride	$CoCl_2.6H_2O$	237.9
Cobaltous nitrate	$Co(NO_3)_2.6H_2O$	290.9
Cobaltous oxide	CoO	74.9
Cobaltous phosphate	$CO_3(PO_4)_2.3H_2O$	420.7
Cordierite	$Mg_2Al_4Si_5O_{18}$	585.1
Corundum (see alumina)		
Cryolite	Na_3AlF_6	210
Cupric carbonate (basic)	$CuCO_3.Cu(OH)_2$	221
Cupric chloride	$CuCl_2.2H_2O$	170.5
Cupric hydroxide	$Cu(OH)_2$	97.5

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Cupric nitrate	$Cu(NO_3)_2.6H_2O$	295.5
Cupric oxide	CuO	79.5
Cupric sulfate	$CuSO_4.5H_2O$	249.6
Cuprous chloride	$CuCl$	99.0
Cuprous hydroxide	$Cu(OH)$	80.5
Cuprous oxide	Cu_2O	143
Cuprous sulfate	$Cu_2SO_4.H_2O$	241.1
Diopside	$CaSiO_3.MgSiO_3$	216.6
Dolomite	$CaCO_3.MgCO_3$	184.4
Feldspar (see albite. anorthite. orthoclase)		
Ferric chloride	$FeCl_3$	162.3
Ferric hydroxide	$Fe(OH)_3$	106.8
Ferric oxide (hematite)	Fe_2O_3	159.6
Ferric sulfate	$Fe_2(SO_4)_3.9H_2O$	561.9
Ferro -terric oxide (magnetite)	Fe_3O_4	231.4
Ferrous carbonate (siderite)	$FeCO_3$	115.8
Ferrous oxide (wustite)	FeO	71.8
Ferrous sulfate	$FeSO_4.7H_2O$	277.9
Ferrous sulfit	FeS	87.9
Flint (see silica)		
Gypsum (see Calcium sulfate)		
Ilmenite	$FeTiO_3$	151.7
Kaolinite (see clay)		
Kyanite	Al_2SiO_3	130.1
Lead borate	$Pb(BO_2)_2.H_2O$	310.8
Lead carbonate	$PbCO_3$	267.2
Lead carbonate basic (white lead)	$2PbCO_3.Pb(OH)_2$	775.6
Lead chloride	$PbCl_2$	278.2
Lead dioxide	PbO_2	239.2
Lead oxide (litharge)	PbO	223.2
Lead oxide (red lead)	Pb_3O_4	685.6
Lithium carbonate	Li_2CO_3	73.8
Magnesium carbonate (magnesite)	$MgCO_3$	84.3
Magnesium chloride	$MgCl_2.6H_2O$	203.3
Magnesium oxide (magnesia, periclase)	MgO	40.3
Manganese dioxide	MnO_2	86.9
Manganous carbonate	$MnCO_3$	114.9
Manganous oxide	MnO	70.9
Microcline (see orthoclase)		
Mullite	$Al_6Si_2O_{13}$	426.2
Nickel chloride	$NiCl_2$	129.7
Nickel oxide	NiO	74.7
Niter (saltpeter)(see potassium nitrate)		
Orthoclase (potash spar)	$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2$	556.8
Potash spar (see orthoclase)		
Potassium carbonate	K_2CO_3	138.2

جدول ضمیمه (۱) ــ فرمول مولکولی مینرال‌ها و اکسیدهای موجود در مواد اولیه

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Potassium chloride	KCl	74.5
Potassium chromate	K_2CrO_4	194.2
Potassium dichromate	$K_2Cr_2O_7$	294.2
Potassium ferrocyanide	$K_4Fe(CN)_6.3H_2O$	422.2
Potassium hydroxide	KOH	56.1
Potassium mica	$K_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	796.8
Potassium nitrate (niter)	KNO_3	101.1
Potassium oxide (potash)	K_2O	94.2
Potassium permanganate	$KMnO_4$	158.1
Pyrophyllite	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$	360.4
Quartz (sce silica)		
Silica (quartz, flint)	SiO_2	60.1
Silicic acid	H_2SiO_3	78.1
Sillimanite	Al_2SiO_3	162.1
Soda ash (see sodium carbonate)		
Soda spar (see albite)		
Sodium bicarbonate	$NaHCO_3$	84.0
Sodium carbonate (anhydrous)	Na_2CO_3	106.0
Sodium carbonate (hydrated) (soda ash)	$Na_2CO_3.10H_2O$	286
Sodium chloride (salt)	$NaCl$	58.4
Sodium chromate	$Na_2CrO_4.10H_2O$	342
Sodium dichromate	$Na_2Cr_2O_7.2H_2O$	298.0
Sodium hydroxide (caustic, lye)	$NaOH$	40.0
Sodium mica	$Na_2O.3Al_2O_3.6SiO_2.2H_2O$	764.6
Sodium nitrate (soda niter)	$NaNO_3$	85.0
Sodium oxide (soda)	Na_2O	62.0
Sodium silicate	variable Na_2O:SiO_2 ratios	
Sodium sulfate (salt cake)	$Na_2SO_4.10H_2O$	322
Spinel	$MgAl_2O_4$	142.3
Strontium carbonate	$SrCO_3$	147.6
Strontium oxide	SrO	103.6
Sulfur dioxide	SO_2	64.1
Sulfur trioxide	SO_3	80.1
Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	379.3
Tin chloride (stannic)	$SnCl_4$	260.3
Tin chloride (stannous)	$SnCl_2$	189.5
Tin oxide (stannic)	SnO_2	150.7
Tin oxide (stannous)	SnO	134.7
Titania (rutile, anatase)	TiO_2	79.9
Uranium dioxide	UO_2	270.0
Uranium oxide	U_3O_8	842.0
Uranium trioxide	UO_3	286.0
Wollastonite	$CaSiO_3$	116.2
Zinc carbonate	$ZnCO_3$	125.4
Zinc oxide	ZnO	81.4
Zinc sulfate	$ZnSO_4.7H_2O$	287.5
Zirconia	ZrO_2	123.0
Zirconium silicate (zircon)	$ZrSiO_4$	183.1


جدول تناوبی عناصر
عدد اتمی
11
Na
23/0
2
8
1
علامت اختصاری اتم
جرم اتمی
آرایش الکترونی اتم
n:دوره‌ی تناوب
عناصر واسطه
IA
IIA
IIIA
IVA
VA
VIA
VIIA
VIIIA
IIIB
IVB
VB
VIB
VIIB
VIIIB
IB
IIB
لانتانیدها
اکتنیدها