

آسیاب گلوله‌ای و محاسبات مربوط به آن

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

- ۱- حجم انواع جارمیل و بال‌میل را محاسبه کند.
- ۲- نسبت حجم مواد قابل بارگیری در جارمیل و بال‌میل در سایش تر و خشک را بیان کند.
- ۳- وزن مواد اولیه قابل سایش را با مشخص بودن وزن مخصوص مواد اولیه در بال‌میل و جارمیل، محاسبه کند.
- ۴- سرعت مناسب و بحرانی بال‌میل و جارمیل را محاسبه کند.
- ۵- مقدار آب لازم راجهت کاهش دانسیته دوغاب و رسیدن به دانسیته مشخص محاسبه نماید.
- ۶- 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 آسیاب کردن صحیح وابسته است و همواره ۵۰٪ انرژی در مرحله خردایش صرف آسیاب کردن می‌شود. در صنایع سرامیک معمولاً آسیاب کردن به دو روش خشک‌ساب و ترساب صورت می‌گیرد. معمولاً در آزمایشگاه از جارمیل، ولی در کارگاه و صنایع از بال‌میل بهره گرفته می‌شود.

جنس جداره داخلی و خارجی جارمیل‌ها از چینی سخت و پلاستیک فشرده و... و بال‌میل‌ها فولاد می‌باشد. برای پوشش داخلی (لاینینگ) بال‌میل‌ها 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 در اثر فشار ناشی از وزن خود، غلتیدن و سقوط گلوله‌ها متلاشی و به ذرات ریزتر تبدیل می‌گردند و در نتیجه دانه‌بندی ریزتر ذرات که هدف از آسیاب کردن است، حاصل می‌شود.

۹-۱- تعیین حجم جارمیل و بال‌میل

همان‌طور که 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، سانتی‌متر مکعب، دسی‌متر مکعب و یا متر مکعب و... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h$$

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 متر مکعب و لیتر محاسبه نمایید.

$$d = 1200 \text{ mm} = 1.2 \text{ m} \quad h = 220 \text{ cm} = 2.2 \text{ m}$$

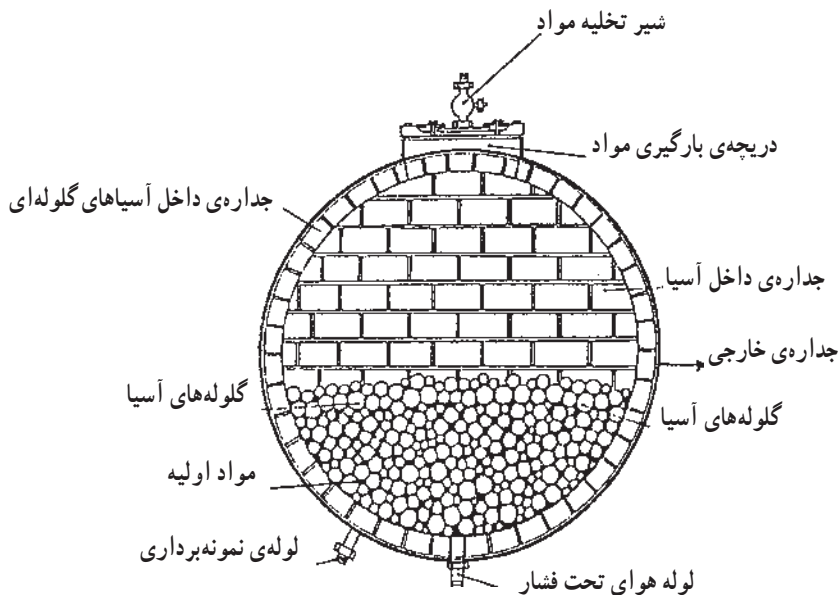
$$r = \frac{d}{2} = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m}$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3.14 \times (0.6)^2 \times 2.2 = 2.48 \text{ m}^3$$

$$2.48 \times 1000 = 2480 \text{ l}$$

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

مثال ۲: اگر قطر خارجی یک بال‌میل (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 بال میل به قطر داخلی آن نیاز است.

$$\text{سانتی متر } D = 110 = \text{قطر خارجی}$$

$$\text{سانتی متر } d = 110 - [2 \times (5 + 2)] = 96 = \text{قطر داخلی}$$

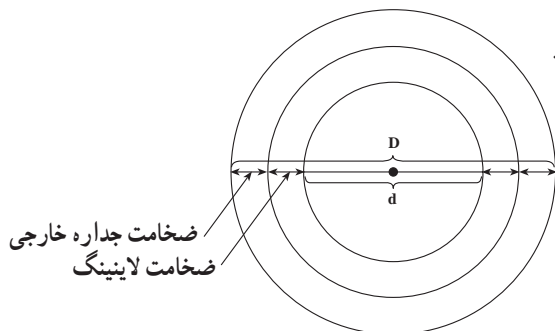
$$\text{متر } 0.48 = \frac{96}{200} = \frac{d}{2} = \text{شعاع داخلی}$$

$$\text{متر } 1.5 = \text{ارتفاع خارجی } H = 150$$

$$\text{متر } 1.36 = \text{ارتفاع داخلی } h = 150 - [2 \times (5 + 2)]$$

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h \quad V = 3.14 \times (0.48)^2 \times 1.36 \approx 0.984 = \text{لیتر } 984 = \text{مترمکعب}$$

* برای محاسبه‌ی قطر داخلی بال میل، 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.



۹-۲- تقسیم بندی حجمی بال میل در خشک سابی و ترسابی

در روش خشک ساب معمولاً حجم داخلی بال میل به ۳ قسمت مساوی تقسیم می شود. $\frac{1}{3}$

حجم برای گلوله ها و $\frac{1}{3}$ حجم برای مواد اولیه و $\frac{1}{3}$ حجم باقی مانده، فضای خالی می ماند.

در ترسابی، حجم داخلی بال میل به ۴ قسمت مساوی تقسیم می گردد. $\frac{1}{4}$ حجم (۲۵٪) برای

آب، $\frac{1}{4}$ حجم برای مواد اولیه، $\frac{1}{4}$ حجم برای گلوله و $\frac{1}{4}$ باقی مانده فضای خالی است. چون مخلوط

آب و مواد اولیه دوغاب را تشکیل می دهد پس $\frac{1}{4}$ حجم بال میل دوغاب است.

مثال ۳: حجم مفید بال میل ترسابی ۵۰۰ لیتر می باشد. ۲۵٪ حجم مفید بال میل را مشخص

نمایید.

$$500 \times \frac{25}{100} = 125 \text{ لیتر}$$

مثال ۴: در صورتی که $\frac{1}{3}$ حجم مفید جارمیل خشک ساب ۲ لیتر باشد، حجم مفید جارمیل

چند لیتر است؟

$$\text{لیتر } x = 2 \div \frac{1}{3} = 2 \times \frac{3}{1} = 6$$

برای تعیین سهمیه وزنی چهارگانه (آب، ماده اولیه، گلوله و فضای خالی) جارمیل و بال میل

ترساب با مشخص بودن حجم آن ها می توان 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 بال میل ترساب ۶۰۰ لیتر می باشد. چه مقدار وزنی آب با وزن

مخصوص ۱ گرم بر سانتی متر مکعب، مواد اولیه با میانگین وزن مخصوص ۲/۵ گرم بر سانتی متر مکعب،

گلوله با وزن مخصوص ۳ گرم بر سانتی متر مکعب برای بارگیری این بال میل مورد نیاز است؟

$$V = \frac{600 \times 25}{100} = 150 \text{ l} = 0.15 \text{ m}^3$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی آب

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

$$\rho_{\text{آب}} = 1000 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \rho = \frac{m}{V} \quad 1000 = \frac{m}{0.15} \Rightarrow m = 150 \text{ kg}$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی گلوله:

$$\rho_{\text{گلوله}} = 3000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow 3000 = \frac{m}{0.15} \Rightarrow m = 0.15 \times 3000 = 450 \text{ kg}$$

محاسبه سهمیه‌ی مواد اولیه:

$$\rho = 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow 2500 = \frac{m}{0.15} \Rightarrow m = 0.15 \times 2500 = 375 \text{ kg}$$

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

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

مثال ۶: وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل ترسایبی ۴۵۰ kg می‌باشد.

اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک ۲۵۰ kg کاتولین زدلیتز ۱۰۰ kg سیلیس همدان و ۱۰۰ kg فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال میل ۱۷۲ l باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از ماده اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5 \text{ g/cm}^3$)

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

$$450 \text{ kg} \times 1000 = 450000 \text{ g}$$

وزن کل مواد	حجم کل مواد اولیه
۴۵۰kg	۱۸۰l
۲۵۰	حجم کائولین زدلیتز $x = 100l$
۴۵۰kg	۱۸۰l
۱۰۰	حجم سیلیس همدان $y = 40l$
۴۵۰kg	۱۸۰l
۱۰۰	حجم فلدسپات چغایی $x = 40l$
حجم بال میل به Lit	حجم کائولین زدلیتز
۷۲۰	۱۰۰l
۱۰۰	درصد حجم کائولین زدلیتز $Z = 13/9\%$
۷۲۰Lit	حجم سیلیس همدان $40l$
۱۰۰	درصد حجم سیلیس همدان $x = 5/6\%$
۷۲۰Lit	حجم فلدسپات چغایی $40l$
۱۰۰	$K = 5/6\%$
	درصد حجم فلدسپات چغایی

درصد حجم باقی مانده بال میل جهت آب، گلوله و فضای خالی

$$100 - (13/9 + 5/6 + 5/6) = 100 - 25/1 = 74/9\% = 75\%$$

۹-۳- محاسبه سرعت دورانی بال میل ها

سرعت دورانی مناسب در بال میل ترساب ۶۰٪ تا ۷۰٪ سرعت بحرانی آن می باشد. سرعت

بحرانی از رابطه $N_C = \frac{42}{\sqrt{d}}$ که در آن N_C سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه) و d قطر

داخلی بال میل برحسب متر است. سرعت دورانی مناسب در بال میل خشک ساب پائین تر از ترساب و حدود ۸۰٪ تا ۹۰٪ سرعت بحرانی است.

مثال ۷: سرعت دورانی بال میل ترساب با قطر خارجی ۱۵۵ میلی متر و ضخامت دیواره

(مجموع ضخامت لاینینگ و جداره ی فلزی) ۲۰۰ میلی متر را محاسبه کنید. (سرعت دورانی مناسب

را ۶۵ درصد سرعت بحرانی بگیرید).

میلی متر $(2 \times 200) - 1550 = 1150$ قطر داخلی

متر $d = 1150 \div 1000 = 1/15$ قطر داخلی

$$N_C = \frac{42}{\sqrt{1/15}} = \frac{42}{1/0.72} = 39 \text{ rpm}$$

سرعت دورانی مناسب برای بال میل ترساب $25 \text{ rpm} = \frac{65}{100} \times 39$ سرعت دورانی مناسب

مثال ۸: سرعت بحرانی بال میلی 40 rpm است در صورتی که ضخامت لاینینگ آن 150 میلی متر

و ضخامت ورق فلزی 10 میلی متر باشد قطر خارجی بال میل را بر حسب mm محاسبه نمایید.

$$40 = \frac{42}{\sqrt{d}} \Rightarrow \sqrt{d} = \frac{42}{40} = 1/0.5 \Rightarrow d = 1/0.5^2$$

قطر داخلی بال میل $d = 1/1 \text{ m} = 1100 \text{ mm}$

قطر خارجی بال میل $1100 + 2 \times 150 + 2 \times 10 = 1420 \text{ mm}$

۹-۴- تعیین مقدار آب لازم جهت تصحیح دانسیته دوغاب

با معلوم بودن وزن لیتر دوغاب می توان با افزودن آب یا مواد اولیه به آن، دوغابی با وزن لیتر

کم تر یا بیش تر ساخت.

رابطه $m = \frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2} (L_g - V)$ برای این منظور به کار می رود که در آن:

ρ_1 : میانگین وزن مخصوص مواد اولیه موجود در دوغاب به g/cm^3

ρ_2 : وزن مخصوص مایع موجود در دوغاب به g/cm^3

L_g : وزن دوغاب با حجم V بر حسب گرم

V : حجم L_g گرم دوغاب بر حسب cm^3

m : مقدار ماده خشک موجود در L_g گرم دوغاب بر حسب گرم

مثال ۹: چه مقدار آب برای ساختن دوغابی با وزن مخصوص $1/65 \text{ g/cm}^3$ جهت افزودن

به 2000 گرم لعاب خشک با وزن مخصوص $2/8 \text{ g/cm}^3$ لازم است؟

در صورتی که وزن و حجم آب لازم را به ترتیب x و y فرض کنیم، می توانیم بنویسیم:

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

$$\text{حجم آمیز دوغاب} = \frac{2000}{2/8} = 714/2 \text{ cm}^3$$

$$1/65 = \frac{2000+x}{714/2+y}$$

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

$$1/65 = \frac{2000+y}{714/2+y}$$

$$y = 1264 \text{ cm}^3 \text{ حجم آب مورد نیاز}$$

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 واکنش پذیری سیمان پرتلند با آب در هنگام اندازه‌گیری وزن مخصوص به آن الکل اضافه می‌شود).

$$\rho_{\text{الکل}} = 0.8 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{سیمان پرتلند}} = 3.3 \text{ g/cm}^3$$

$$m = \frac{\rho_1}{\rho_1 - \rho_2} (L_g - V)$$

$$m = \frac{3.3}{3.3 - 0.8} (1750 - 1000) = \frac{3.3}{2.5} \times 750 = 990 \text{ g پودر سیمان}$$

الکل موجود در یک لیتر دوغاب ۷۶۰ = ۱۷۵۰ - ۹۹۰

الکل

پودر سیمان

۷۶۰g

۹۹۰g

x = 767/67g

۱۰۰۰

مقدار الکل لازم برای افزودن به ۱۰۰۰g پودر سیمان

$$\rho_2 = \frac{m}{V} = \frac{767/67}{V} = 0.8$$

$$V = \frac{767/67}{0.8} = 959/6 \text{ cm}^3$$

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 سانتی متر مکعب است.

تمرین

- ۱- اگر در یک بال میل قطر خارجی 3400 میلی متر، ضخامت آجر به کار گرفته شده در پوشش داخلی 20 سانتی متر، ارتفاع بیرونی بال میل $5/10$ متر و ضخامت جدار فلزی خارجی 20 میلی متر باشد. حجم مفید این بال میل را برحسب مترمکعب و لیتر حساب کنید.
- ۲- جار میلی از جنس چینی سخت با حجم کل 5 لیتر (غیرمفید) مورد نظر است اگر ارتفاع آن 60 سانتی متر و ضخامت دیواره اش 20 میلی متر باشد قطر داخلی آن را به دست آورید.
- ۳- 15% حجم داخلی یک بال میل $500,000$ میلی مترمکعب است حجم داخلی بال میل را حساب کنید.
- ۴- چه مقدار آب، مواد اولیه و گلوله برای بارگیری یک بال میل آزمایشگاهی با حجم مفید 300 لیتر لازم است در صورتی که میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5$ گرم بر سانتی مترمکعب، گلوله $2/8$ گرم بر سانتی مترمکعب و آب 1 گرم بر سانتی مترمکعب باشد (نسبت حجمی 25% رعایت گردد).
- ۵- مقدار حجم اشغال شده توسط هر یک از مواد اولیه (برحسب لیتر) را در مخلوط به دست آورید اگر مقدار وزنی مواد اولیه عبارتند از: فلدسپات چغایی $62/5$ کیلوگرم، سیلیس همدان 5000 گرم و زنون شسته 140 کیلوگرم. اگر حجم کل بال میل 300 لیتر باشد با محاسبه نشان دهید چه مقدار آب باید به بال میل افزوده شود تا 50% حجم مفید بال میل توسط دوغاب اشغال گردد (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه $2/5 \text{ g/cm}^3$ در نظر گرفته شود).
- ۶- سرعت بحرانی برحسب rpm (دور بر دقیقه) برای یک بال میل ترسابی با قطر خارجی 1200 میلی متر و ضخامت یک طرفه جداره لاستیکی 70 میلی متر و ضخامت ورق فلزی بال میل $1/5$ سانتی متر را حساب کنید.
- ۷- مقدار آب مورد نیاز برای افزودن به $10,000$ گرم پودر بدنه خشک با وزن مخصوص $2/7$ گرم بر سانتی مترمکعب جهت رسیدن به وزن لیتر 1850 g/Lit را برحسب لیتر به دست آورید (وزن مخصوص آب 1 g/cm^3 در نظر گرفته شود).

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

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Albite (soda spar)	$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	524.6
Alumina	Al_2O_3	102
Anatase (see titania)		
Andalusite	Al_2SiO_5	162.1
Anhydrite	CaSO_4	136.2
Anorthite	$\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	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	$\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	244.3
Barium chromate	BaCrO_4	253.3
Barium hydroxide	$\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	315.3
Barium oxide	BaO	153.3
Barium sulfate (barite)	BaSO_4	233.4
Bismuth oxide	Bi_2O_3	466.0
Bone ash	$13\text{CaO} \cdot 4\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{CO}_2$ (approx)	1341.3
Borax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	381.2
Boric acid	H_3BO_3	61.8
Boric oxide	B_2O_3	69.6
Calcite (see calcium carbonate)		
Calcium borate (colemanite)	$\text{Ca}(\text{BO}_2)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	161.7
Calcium carbonate (whiting)	CaCO_3	100.1
Calcium chloride	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	219.1
Calcium chloride (anhydrous)	CaCl_2	111.1
Calcium fluoride (fluorspar)	CaF_2	78.1
Calcium hydroxide	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	74.1
Calcium orthophosphate	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	310.3
Calcium oxide (lime)	CaO	56.1
Calcium sulfate (gypsum)	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	172.2
Carbon dioxide	CO_2	44.0
Chromium oxide	Cr_2O_3	152.0
Clay (kaolinite, china clay)	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	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	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	237.9
Cobaltous nitrate	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	290.9
Cobaltous oxide	CoO	74.9
Cobaltous phosphate	$\text{CO}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	420.7
Cordierite	$\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$	585.1
Corundum (see alumina)		
Cryolite	Na_3AlF_6	210
Cupric carbonate (basic)	$\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$	221
Cupric chloride	$\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	170.5
Cupric hydroxide	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	97.5

جدول ضمیمه (۱) — فرمول مولكولى مینرال‌ها و اكسیدهای موجود در مواد اولیه

نام ماده	فرمول مولكولى	وزن مولكولى (g)
Cupric nitrate	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	295.5
Cupric oxide	CuO	79.5
Cupric sulfate	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	249.6
Cuprous chloride	CuCl	99.0
Cuprous hydroxide	$\text{Cu}(\text{OH})$	80.5
Cuprous oxide	Cu_2O	143
Cuprous sulfate	$\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	241.1
Diopside	$\text{CaSiO}_3 \cdot \text{MgSiO}_3$	216.6
Dolomite	$\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$	184.4
Feldspar (see albite. anorthite. orthoclase)		
Ferric chloride	FeCl_3	162.3
Ferric hydroxide	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	106.8
Ferric oxide (hematite)	Fe_2O_3	159.6
Ferric sulfate	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	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	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	277.9
Ferrous sulfite	FeS	87.9
Flint (see silica)		
Gypsum (see Calcium sulfate)		
Ilmenite	FeTiO_3	151.7
Kaolinite (see clay)		
Kyanite	Al_2SiO_5	130.1
Lead borate	$\text{Pb}(\text{BO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	310.8
Lead carbonate	PbCO_3	267.2
Lead carbonate basic (white lead)	$2\text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	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	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	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	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	426.2
Nickel chloride	NiCl_2	129.7
Nickel oxide	NiO	74.7
Niter (saltpeter)(see potassium nitrate)		
Orthoclase (potash spar)	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$	556.8
Potash spar (see orthoclase)		
Potassium carbonate	K_2CO_3	138.2

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

نام ماده	فرمول مولکولی	وزن مولکولی (g)
Potassium chloride	KCl	74.5
Potassium chromate	K ₂ CrO ₄	194.2
Potassium dichromate	K ₂ Cr ₂ O ₇	294.2
Potassium ferrocyanide	K ₄ Fe(CN) ₆ ·3H ₂ O	422.2
Potassium hydroxide	KOH	56.1
Potassium mica	K ₂ O·3Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ ·2H ₂ O	796.8
Potassium nitrate (niter)	KNO ₃	101.1
Potassium oxide (potash)	K ₂ O	94.2
Potassium permanganate	KMnO ₄	158.1
Pyrophyllite	Al ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	360.4
Quartz (see silica)		
Silica (quartz, flint)	SiO ₂	60.1
Silicic acid	H ₂ SiO ₃	78.1
Sillimanite	Al ₂ SiO ₃	162.1
Soda ash (see sodium carbonate)		
Soda spar (see albite)		
Sodium bicarbonate	NaHCO ₃	84.0
Sodium carbonate (anhydrous)	Na ₂ CO ₃	106.0
Sodium carbonate (hydrated) (soda ash)	Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	286
Sodium chloride (salt)	NaCl	58.4
Sodium chromate	Na ₂ CrO ₄ ·10H ₂ O	342
Sodium dichromate	Na ₂ Cr ₂ O ₇ ·2H ₂ O	298.0
Sodium hydroxide (caustic, lye)	NaOH	40.0
Sodium mica	Na ₂ O·3Al ₂ O ₃ ·6SiO ₂ ·2H ₂ O	764.6
Sodium nitrate (soda niter)	NaNO ₃	85.0
Sodium oxide (soda)	Na ₂ O	62.0
Sodium silicate	variable Na ₂ O:SiO ₂ ratios	
Sodium sulfate (salt cake)	Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	322
Spinel	MgAl ₂ O 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 ₃ Si ₄ O 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 ₃ O 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 ₂ O	287.5
Zirconia	ZrO ₂	123.0
Zirconium silicate (zircon)	ZrSiO ₄	183.1

جدول تناوبی عناصر

عدد اتمی

11	2
Na	8
23/0	1

دورهی تناوب: n

n=1	H	1.008
-----	---	-------

علامت اختصاری اتم

آرایش الکترونی

اتم

عناصر واسطه

1	2	10	18	36	54	86	118
IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1	2	3	4	5	6	7	8
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
3	4	5	6	7	8	9	10
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
11	12	13	14	15	16	17	18
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
23.0	24.3	26.9	28.1	30.9	32.1	35.5	39.9
19	20	21	22	23	24	25	26
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe
39.1	40.1	44.9	47.9	50.9	52.0	54.9	55.8
37	38	39	40	41	42	43	44
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru
85.5	87.6	88.9	91.2	92.9	95.9	98.9	101.1
55	56	57	58	59	60	61	62
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os
132.9	137.3	138.9	178.5	180.9	183.8	186.2	190.2
87	88	89	90	91	92	93	94
Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu
223.0	226.0	227.0	232.0	231.0	238.0	237.0	244.0

n=6	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
n=7	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Mn	No	Lr	