

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 را جهت 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.

$$d = 1200 \div 1000 = 1.2 \text{ m} \quad h = 220 \div 100 = 2.2 \text{ m}$$

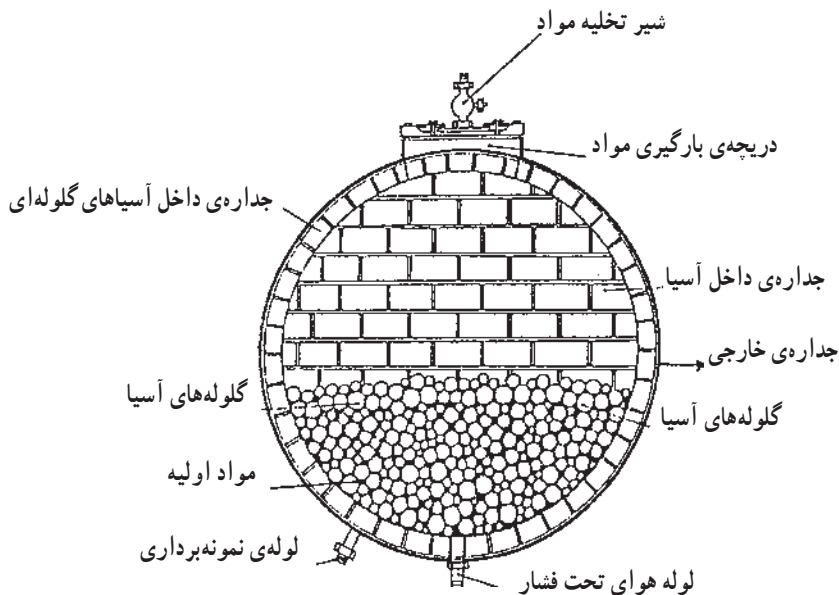
$$r = \frac{d}{2} = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m}$$

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

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

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.

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

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

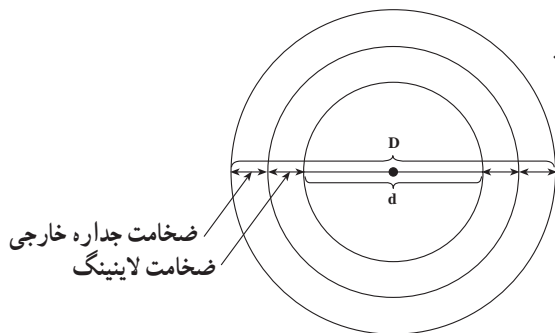
$$\text{متر } 0.48 = \frac{96}{2} = \frac{d}{2} = \text{شعاع داخلی}$$

$$\text{متر } 1.5 = \frac{H}{5} = \text{ارتفاع خارجی}$$

$$\text{متر } 1.36 = \frac{h}{36} = \text{ارتفاع داخلی}$$

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

* 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 تر سابی

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 تر سابی، 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 تر سابی ۵۰۰ لیتر می باشد. ۲۵٪ حجم مفید بال میل را مشخص

نمایید.

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

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

ترسب 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 تر ساب 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 $1150 - (200 \times 2) = 1150$ = 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 دوغایی 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 (غیر مفید) 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

علامت اختصاری اتم

آرایش الکترونی

اتم

n=1	1	H	1.008
n=2	3	Li	6.94
n=2	4	Be	9.00
n=3	11	Na	23.0
n=3	12	Mg	24.3
n=4	19	K	39.1
n=4	20	Ca	40.1
n=5	37	Rb	85.5
n=5	38	Sr	87.6
n=6	55	Cs	132.9
n=6	56	Ba	137.3
n=7	87	Fr	223
n=7	88	Ra	226
n=7	89	Ac	227
n=7	104	Rf	261
n=7	105	Db	262
n=7	106	Sg	263
n=7	107	Bh	264
n=7	108	Hs	265
n=7	109	Mt	266
n=7	110	Ds	267
n=7	111	Rg	268
n=7	112	Cn	269
n=7	113	Nh	270
n=7	114	Fl	271
n=7	115	Mc	272
n=7	116	Lv	273
n=7	117	Ts	274
n=7	118	Og	275
n=7	119	Uu	276
n=7	120	Uub	277
n=7	121	Uut	278
n=7	122	Uuq	279
n=7	123	Uubq	280
n=7	124	Uubq	281
n=7	125	Uubq	282
n=7	126	Uubq	283
n=7	127	Uubq	284
n=7	128	Uubq	285
n=7	129	Uubq	286
n=7	130	Uubq	287
n=7	131	Uubq	288
n=7	132	Uubq	289
n=7	133	Uubq	290
n=7	134	Uubq	291
n=7	135	Uubq	292
n=7	136	Uubq	293
n=7	137	Uubq	294
n=7	138	Uubq	295
n=7	139	Uubq	296
n=7	140	Uubq	297
n=7	141	Uubq	298
n=7	142	Uubq	299
n=7	143	Uubq	300
n=7	144	Uubq	301
n=7	145	Uubq	302
n=7	146	Uubq	303
n=7	147	Uubq	304
n=7	148	Uubq	305
n=7	149	Uubq	306
n=7	150	Uubq	307
n=7	151	Uubq	308
n=7	152	Uubq	309
n=7	153	Uubq	310
n=7	154	Uubq	311
n=7	155	Uubq	312
n=7	156	Uubq	313
n=7	157	Uubq	314
n=7	158	Uubq	315
n=7	159	Uubq	316
n=7	160	Uubq	317
n=7	161	Uubq	318
n=7	162	Uubq	319
n=7	163	Uubq	320
n=7	164	Uubq	321
n=7	165	Uubq	322
n=7	166	Uubq	323
n=7	167	Uubq	324
n=7	168	Uubq	325
n=7	169	Uubq	326
n=7	170	Uubq	327
n=7	171	Uubq	328
n=7	172	Uubq	329
n=7	173	Uubq	330
n=7	174	Uubq	331
n=7	175	Uubq	332
n=7	176	Uubq	333
n=7	177	Uubq	334
n=7	178	Uubq	335
n=7	179	Uubq	336
n=7	180	Uubq	337
n=7	181	Uubq	338
n=7	182	Uubq	339
n=7	183	Uubq	340
n=7	184	Uubq	341
n=7	185	Uubq	342
n=7	186	Uubq	343
n=7	187	Uubq	344
n=7	188	Uubq	345
n=7	189	Uubq	346
n=7	190	Uubq	347
n=7	191	Uubq	348
n=7	192	Uubq	349
n=7	193	Uubq	350
n=7	194	Uubq	351
n=7	195	Uubq	352
n=7	196	Uubq	353
n=7	197	Uubq	354
n=7	198	Uubq	355
n=7	199	Uubq	356
n=7	200	Uubq	357
n=7	201	Uubq	358
n=7	202	Uubq	359
n=7	203	Uubq	360
n=7	204	Uubq	361
n=7	205	Uubq	362
n=7	206	Uubq	363
n=7	207	Uubq	364
n=7	208	Uubq	365
n=7	209	Uubq	366
n=7	210	Uubq	367
n=7	211	Uubq	368
n=7	212	Uubq	369
n=7	213	Uubq	370
n=7	214	Uubq	371
n=7	215	Uubq	372
n=7	216	Uubq	373
n=7	217	Uubq	374
n=7	218	Uubq	375
n=7	219	Uubq	376
n=7	220	Uubq	377
n=7	221	Uubq	378
n=7	222	Uubq	379
n=7	223	Uubq	380
n=7	224	Uubq	381
n=7	225	Uubq	382
n=7	226	Uubq	383
n=7	227	Uubq	384
n=7	228	Uubq	385
n=7	229	Uubq	386
n=7	230	Uubq	387
n=7	231	Uubq	388
n=7	232	Uubq	389
n=7	233	Uubq	390
n=7	234	Uubq	391
n=7	235	Uubq	392
n=7	236	Uubq	393
n=7	237	Uubq	394
n=7	238	Uubq	395
n=7	239	Uubq	396
n=7	240	Uubq	397
n=7	241	Uubq	398
n=7	242	Uubq	399
n=7	243	Uubq	400
n=7	244	Uubq	401
n=7	245	Uubq	402
n=7	246	Uubq	403
n=7	247	Uubq	404
n=7	248	Uubq	405
n=7	249	Uubq	406
n=7	250	Uubq	407
n=7	251	Uubq	408
n=7	252	Uubq	409
n=7	253	Uubq	410
n=7	254	Uubq	411
n=7	255	Uubq	412
n=7	256	Uubq	413
n=7	257	Uubq	414
n=7	258	Uubq	415
n=7	259	Uubq	416
n=7	260	Uubq	417
n=7	261	Uubq	418
n=7	262	Uubq	419
n=7	263	Uubq	420
n=7	264	Uubq	421
n=7	265	Uubq	422
n=7	266	Uubq	423
n=7	267	Uubq	424
n=7	268	Uubq	425
n=7	269	Uubq	426
n=7	270	Uubq	427
n=7	271	Uubq	428
n=7	272	Uubq	429
n=7	273	Uubq	430
n=7	274	Uubq	431
n=7	275	Uubq	432
n=7	276	Uubq	433
n=7	277	Uubq	434
n=7	278	Uubq	435
n=7	279	Uubq	436
n=7	280	Uubq	437
n=7	281	Uubq	438
n=7	282	Uubq	439
n=7	283	Uubq	440
n=7	284	Uubq	441
n=7	285	Uubq	442
n=7	286	Uubq	443
n=7	287	Uubq	444
n=7	288	Uubq	445
n=7	289	Uubq	446
n=7	290	Uubq	447
n=7	291	Uubq	448
n=7	292	Uubq	449
n=7	293	Uubq	450
n=7	294	Uubq	451
n=7	295	Uubq	452
n=7	296	Uubq	453
n=7	297	Uubq	454
n=7	298	Uubq	455
n=7	299	Uubq	456
n=7	300	Uubq	457
n=7	301	Uubq	458
n=7	302	Uubq	459
n=7	303	Uubq	460
n=7	304	Uubq	461
n=7	305	Uubq	462
n=7	306	Uubq	463
n=7	307	Uubq	464
n=7	308	Uubq	465
n=7	309	Uubq	466
n=7	310	Uubq	467
n=7	311	Uubq	468
n=7	312	Uubq	469
n=7	313	Uubq	470
n=7	314	Uubq	471
n=7	315	Uubq	472
n=7	316	Uubq	473
n=7	317	Uubq	474
n=7	318	Uubq	475
n=7	319	Uubq	476
n=7	320	Uubq	477
n=7	321	Uubq	478
n=7	322	Uubq	479
n=7	323	Uubq	480
n=7	324	Uubq	481
n=7	325	Uubq	482
n=7	326	Uubq	483
n=7	327	Uubq	484
n=7	328	Uubq	485
n=7	329	Uubq	486
n=7	330	Uubq	487
n=7	331	Uubq	488
n=7	332	Uubq	489
n=7	333	Uubq	490
n=7	334	Uubq	491
n=7	335	Uubq	492
n=7	336	Uubq	493
n=7	337	Uubq	494
n=7	338	Uubq	495
n=7	339	Uubq	496
n=7	340	Uubq	497
n=7	341	Uubq	498
n=7	342	Uubq	499
n=7	343	Uubq	500

n=6	58	Ce	140.1	59	Pr	140.9	60	Nd	144.2	61	Pm	144	62	Sm	150.4	63	Eu	152.0	64	Gd	157.3	65	Tb	158.9	66	Dy	162.5	67	Ho	164.9	68	Er	167.3	69	Tm	168.9	70	Yb	173.0	71	Lu	175.0
n=7	88	Th	232.0	89	Pa	231	90	U	238.0	91	Np	237	92	Pu	244	93	Am	243	94	Cm	247	95	Bk	247	96	Cf	251	97	Es	252	98	Fm	257	99	Mn	258	100	No	259	101	Lr	260

لاکتیما

اکتیما