

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 راجهت 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 خشک ساب و تر ساب 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، سانتی متر مکعب، دسی متر مکعب و یا متر مکعب و... انتخاب کرد. برای محاسبه حجم یک استوانه از رابطه زیر استفاده می‌شود.

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

$$V = \text{حجم استوانه}$$

$$r = \text{شعاع قاعده داخلی بال‌میل}$$

$$h = \text{ارتفاع داخلی بال‌میل}$$

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.

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

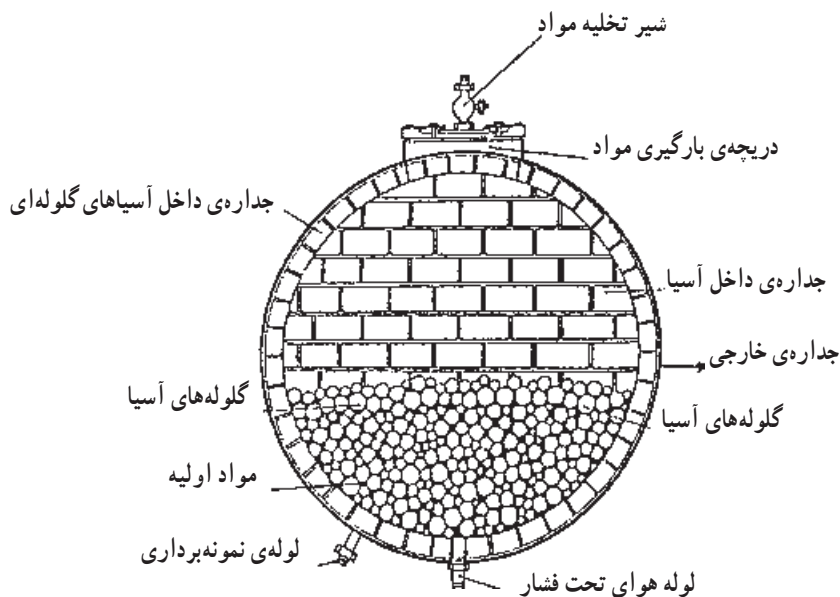
$$r = \frac{d}{2} = \frac{1.2}{2} = 0.6 \text{ m}$$

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

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

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.

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

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

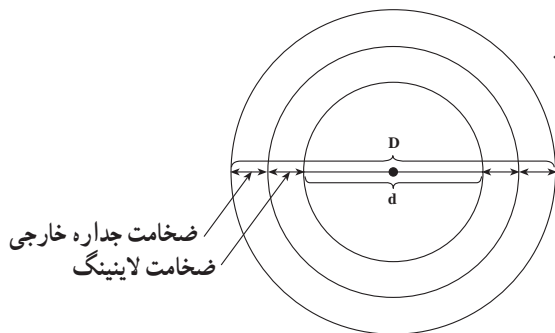
$$\text{متر } 0.48 = \frac{96}{2} = \frac{d}{2} = \text{شعاع داخلی}$$

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

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

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

* 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.

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

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

چند لیتر است؟

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

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

$$V = \frac{۶۰۰ \times ۲۵}{۱۰۰} = ۱۵۰ \text{ m}^3 = ۱۵۰ \text{ لیتر}$$

محاسبه سهمیه‌ی وزنی آب

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

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

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 ترسایی ۴۵۰ kg می‌باشد.

اگر وزن مواد اولیه افزوده شده به بال میل به تفکیک ۲۵۰ kg کاتولین زدلیتر ۱۰۰ kg سیلیس همدان و ۱۰۰ kg فلدسپات چغایی بوده و حجم کل بال میل ۷۲۰ l باشد، درصد حجم اشغال شده توسط هر یک از ماده اولیه را محاسبه نمایید. (میانگین وزن مخصوص مواد اولیه 2.5 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 $x = ۱۰۰l$
۴۵۰kg	۱۸۰l
۱۰۰	حجم سیلیس همدان $y = ۴۰l$
۴۵۰kg	۱۸۰l
۱۰۰	حجم فلدسپات چغایی $x = ۴۰l$
حجم بال میل به Lit	حجم کائولین زدلیتز
۷۲۰	۱۰۰l
۱۰۰	درصد حجم کائولین زدلیتز $Z = ۱۳/۹\%$
۷۲۰Lit	حجم سیلیس همدان $۴۰l$
۱۰۰	درصد حجم سیلیس همدان $x = ۵/۶\%$
۷۲۰Lit	حجم فلدسپات چغایی $۴۰l$
۱۰۰	$K = ۵/۶\%$
	درصد حجم فلدسپات چغایی

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

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

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 $N_C = \frac{۴۲}{\sqrt{d}}$ 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 ۱۵۵۰ 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 $(2 \times 100) - 1550 = 1150$ 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 برحسب 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 $1100 + 2 \times 150 + 2 \times 10 = 1420 \text{ mm}$

۴-۹- 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 برحسب گرم

V : حجم L_g گرم دوغاب برحسب cm^3

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

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

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

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

چون چگالی آب ۱ است نتیجه می گیریم وزن و حجم آن از نظر عددی یکی می باشد. 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 اندازه گیری وزن مخصوص به آن الکلی اضافه می شود).

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

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

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

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

$$1750 - 990 = 760 \text{ الکلی موجود در یک لیتر دوغاب}$$

الکلی	پودر سیمان
-------	------------

۷۶۰g	۹۹۰g
------	------

x = ۷۶۷/۶۷g	۱۰۰۰
-------------	------

مقدار الکلی 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 الکلی مورد نیاز برای افزودن به ۱۰۰۰ گرم پودر سیمان پرتلند جهت رسیدن به وزن لیتري ۱۷۵۰ gr/Lit برابر با ۹۵۹/۶ سانتی مترمکعب 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 sulfit	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	$\text{Pb}(\text{BO}_2)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	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

وزن مولکولی (g)	فرمول مولکولی	نام ماده
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 (sce 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

دوره تناوب: n

n=1	1
	H
	1/0/1

علامت اختصاری اتم

Na

جرم اتمی

23/0

عناصر واسطه

7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22		23		24		25		26		27		28		29		30		31		32		33		34		35		36		37		38		39		40		41		42		43		44		45		46		47		48		49		50		51		52		53		54		55		56		57		58		59		60		61		62		63		64		65		66		67		68		69		70		71		72		73		74		75		76		77		78		79		80		81		82		83		84		85		86		87		88		89		90		91		92		93		94		95		96		97		98		99		100		101		102		103		104		105		106		107		108		109		110		111		112		113		114		115		116		117		118		119		120		121		122		123		124		125		126		127		128		129		130		131		132		133		134		135		136		137		138		139		140		141		142		143		144		145		146		147		148		149		150		151		152		153		154		155		156		157		158		159		160		161		162		163		164		165		166		167		168		169		170		171		172		173		174		175		176		177		178		179		180		181		182		183		184		185		186		187		188		189		190		191		192		193		194		195		196		197		198		199		200		201		202		203		204		205		206		207		208		209		210		211		212		213		214		215		216		217		218		219		220		221		222		223		224		225		226		227		228		229		230		231		232		233		234		235		236		237		238		239		240		241		242		243		244		245		246		247		248		249		250		251		252		253		254		255		256		257		258		259		260		261		262		263		264		265		266		267		268		269		270		271		272		273		274		275		276		277		278		279		280		281		282		283		284		285		286		287		288		289		290		291		292		293		294		295		296		297		298		299		300		301		302		303		304		305		306		307		308		309		310		311		312		313		314		315		316		317		318		319		320		321		322		323		324		325		326		327		328		329		330		331		332		333		334		335		336		337		338		339		340		341		342		343		344		345		346		347		348		349		350		351		352		353		354		355		356		357		358		359		360		361		362		363		364		365		366		367		368		369		370		371		372		373		374		375		376		377		378		379		380		381		382		383		384		385		386		387		388		389		390		391		392		393		394		395		396		397		398		399		400		401		402		403		404		405		406		407		408		409		410		411		412		413		414		415		416		417		418		419		420		421		422		423		424		425		426		427		428		429		430		431		432		433		434		435		436		437		438		439		440		441		442		443		444		445		446		447		448		449		450		451		452		453		454		455		456		457		458		459		460		461		462		463		464		465		466		467		468		469		470		471		472		473		474		475		476		477		478		479		480		481		482		483		484		485		486		487		488		489		490		491		492		493		494		495		496		497		498		499		500		501		502		503		504		505		506		507		508		509		510		511		512		513		514		515		516		517		518		519		520		521		522		523		524		525		526		527		528		529		530		531		532		533		534		535		536		537		538		539		540		541		542		543		544		545		546		547		548		549		550		551		552		553		554		555		556		557		558		559		560		561		562		563		564		565		566		567		568		569		570		571		572		573		574		575		576		577		578		579		580		581		582		583		584		585		586		587		588		589		590		591		592		593		594		595		596		597		598		599		600		601		602		603		604		605		606		607		608		609		610		611		612		613		614		615		616		617		618		619		620		621		622		623		624		625		626		627		628		629		630		631		632		633		634		635		636		637		638		639		640		641		642		643		644		645		646		647		648		649		650		651		652		653		654		655		656		657		658		659		660		661		662		663		664		665		666		667		668		669		670		671		672		673		674		675		676		677		678		679		680		681		682		683		684		685		686		687		688		689		690		691		692		693		694		695		696		697		698		699		700		701		702		703		704		705		706		707		708		709		710		711		712		713		714		715		716		717		718		719		720		721		722		723		724		725		726		727		728		729		730		731		732		733		734		735		736		737		738		739		740		741		742		743		744		745		746		747		748		749		750		751		752		753		754		755		756		757		758		759		760		761		762		763		764		765		766		767		768		769		770		771		772		773		774		775		776		777		778		779		780		781		782		783		784		785		786		787		788		789		790		791		792		793		794		795		796		797		798		799		800		801		802		803		804		805		806		807		808		809		810		811		812		813		814		815		816		817		818		819		820		821		822		823		824		825		826		827		828		829		830		831		832		833		834		835		836		837		838		839		840		841		842		843		844		845		846		847		848		849		850		851		852		853		854		855		856		857		858		859		860		861		862		863		864		865		866		867		868		869		870		871		872		873		874		875		876		877		878		879		880		881		882		883		884		885		886		887		888		889		890		891		892		893		894		895		896		897		898		899		900		901		902		903		904		905		906		907		908		909		910		911		912		913		914		915		916		917		918		919		920		921		922		923		924		925		926		927		928		929		930		931		932		933		934		935		936		937		938		939		940		941		942		943		944		945		946		947		948		949		950		951		952		953		954		955		956		957		958		959		960		961		962		963		964		965		966		967		968		969		970		971		972		973		974		975		976		977		978		979		980		981		982		983		984		985		986		987		988		989		990		991		992		993		994		995		996		997		998		999		1000		1001		1002		1003		1004		1005		1006		1007		1008		1009		1010		1011		1012		1013		1014		1015		1016		1017		1018		1019		1020		1021		1022		1023		1024		1025		1026		1027		1028		1029		1030		1031		1032		1033		1034		1035		1036		1037		1038		1039		1040		1041		1042		1043		1044		1045		1046		1047		1048		1049		1050		1051		1052		1053		1054		1055		1056		1057		1058		1059		1060		1061		1062		1063		1064		1065		1066		1067		1068		1069		1070		1071		1072		1073		1074		1075		1076		1077		1078		1079		1080		1081		1082		1083		1084		1085		1086		1087		1088		1089		1090		1091		1092		1093		1094		1095		10	
---	--	---	--	---	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	-----	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	------	--	----	--