

# سنگ‌ها و کانی‌ها از دیدگاه اقتصادی



مصطفی شهرابی

## درآمد

در جدول مندلیف تاکنون ۱۱۱ عنصر شناخته شده ثبت گردیده که اغلب آن‌ها به صورت ترکیب در طبیعت وجود دارند. به عنوان مثال دو عنصر کلر و سدیم به صورت نمک طعام یا سدیم کلرید دیده می‌شود ولی تک‌عنصرها به ندرت در طبیعت یافت می‌شوند.

ترکیباتی که در پوسته جامد زمین صورت سنگ، کانی، خاک،... دیده می‌شوند اغلب ترکیبی از دو یا چند عنصر هستند. ترکیب‌هایی چون کلریدها، سولفیدها، آمیدها، سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلرات‌ها، نترات‌ها و... از این جمله‌اند. عناصر فراوان موجود در پوسته زمین عبارتند از اکسیژن، سیلیسیم، آلومینیوم، آهن، کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم، تیتانیوم، منگنز و هیدروژن. ترکیب همین عناصر است که تشکیل کانی‌های کان‌سنگ‌ها و سنگ‌ها را می‌دهند و هر کدام به گونه‌ای مورد مصرف بشر، اعم از مصارف غذایی، صنعتی، تزئینی، دارویی... قرار می‌گیرند.

شناخت و استخراج این عناصر و ترکیب‌ها که گفتیم به صورت مواد خام در طبیعت وجود دارند از وظایف و توانمندی‌های دانش‌آموختگان علوم زمین است. بر آن شدیم که در این شماره و شماره‌های آینده به معرفی کان‌سنگ‌ها، کانی‌ها و سنگ‌ها و خاک‌ها از دیدگاه‌های مختلف به‌ویژه خواص و موارد مصرف آن‌ها در صنعت و اقتصاد پردازیم و شروع آن را معرفی «سنگ‌آهک» که یکی از فراوان‌ترین سنگ‌ها (کان‌سنگ‌ها) در طبیعت است قرار داده‌ایم.

**کلیدواژه‌ها:** سنگ آهک، میکرایت، آلوکم، آراگونیت، انیکس، گچ نوشتنی، لوماشل، آهک شکفته، عناصر کمیاب، کان‌سنگ، کلسیناسیون، صنایع ساختمانی

## سنگ‌آهک و کاربردهای آن

همواره با مقادیری کربنات منیزیم، سیلیس، رس و غیره همراه است. سنگ آهک به ندرت است تماماً از بلورهای کلسیت تشکیل شده باشد که در این حالت به آن میکرایت<sup>۱</sup> گفته می‌شود. همچنین ممکن است از تکه‌های مختلفی به نام آلوکم<sup>۲</sup> تشکیل شده باشد که در این صورت این تکه‌ها با سیمانی از بلورهای درشت و ریز کلسیت به هم پیوسته

سنگ آهک سنگی است رسوبی نام شیمیایی کلسیم کربنات و فرمول  $CaCO_3$ . درجه سختی آن حدود ۳ و جرم مخصوص آن  $2/7$  گرم بر سانتی‌متر مکعب است. کلسیت تنها کانی اصلی تشکیل دهنده سنگ آهک است. سنگ آهک صد در صد خالص معمولاً در طبیعت وجود ندارد و

شده‌اند. قطعات آلوکم ممکن است از ذرات و تکه‌های خرد شده رسوبات آهکی پیشین، الیت‌ها<sup>۲</sup> و یا قطعات آهکی پوسته جانوران تشکیل شده باشند. در حالتی که بخش بیشتری از عناصر سازنده یک سنگ آهکی پوسته یا صدف فسیل باشد، این سنگ در اصطلاح لوماشل<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. از گونه‌های دیگر سنگ آهک‌ها آراگونیت<sup>۵</sup> و تراورتن<sup>۶</sup> است که در اثر کارایی چشمه‌های آب گرم به وجود می‌آید. اگر افت دمای آب چشمه‌ها کند باشد آراگونیت به وجود می‌آید و اگر این افت دما به تندی صورت گیرد تراورتن تشکیل می‌شود.

در ایران به سنگ آراگونیت مرمر می‌گویند و نام تجارتي انواع رنگی آن انیکس<sup>۷</sup> است. گچ نوشتنی<sup>۸</sup> عبارت است از سنگ آهکی که سازنده‌های اصلی آن گونه‌هایی از فرامینیفرها هستند.

اساساً در طبیعت دو گونه سنگ آهک وجود دارد:

سنگ آهک با کلسیم زیاد<sup>۹</sup> که با حدود ۰/۵ تا ۰/۲٪ اکسید منیزیم همراه است؛ و سنگ آهک دولومیتی<sup>۱۰</sup> که ممکن است از نسبت‌های مختلف آهک و دولومیت تشکیل شده باشد.

## سنگ آهک

در صنعت عموماً به فراورده‌های زیر آهک<sup>۱۱</sup> گفته می‌شود:

- سنگ آهک  $CaCO_3$  خرد شده به ذرات ریز و دانه‌بندی شده؛

- آهک زنده (کلسینه<sup>۱۲</sup>) یا آهک بنایی که از پختن (کلسیناسیون) سنگ آهک به دست می‌آید؛

- آهک شکفته یا هیدراته<sup>۱۳</sup>  $Ca(OH)_2$  که از مجاورت آهک زنده با آب تهیه می‌شود؛

- سنگ آهک با کلسیم زیاد وقتی در اثر حرارت زیاد کاملاً کلسینه شده باشد. اگر ۱۰۰٪ ترکیب سنگ آهک را از کربنات کلسیم فرض کنیم در اثر حرارت ۴۴٪ از وزن خود را به دلیل متعاضد شدن  $CO_2$  از دست می‌دهد و تبدیل به آهک زنده می‌شود.

$CaO+CO_2$  حرارت+  $CaCO_3$

از آنجا که آهک زنده میل شدیدی به جذب آب (رطوبت) و  $(CO_2)$  موجود در هوا دارد باید آن را پیش از کاربرد دور از رطوبت و هوا نگاه داشت و یا چند هفته پس از تولید، آن را به مصرف رساند. نوع پایدارتر و تجارتي آهک که با افزودن آب به آهک زنده تهیه می‌شود، آهک شکفته نام دارد که پس از آب گرفتن به صورت ذرات ریز خرد شده و یا به صورت پودر درمی‌آید که معمولاً در پاکت بسته‌بندی و به بازار مصرف عرضه می‌شود. آهک را بدین صورت می‌توان

بیشتر از آهک زنده انبار کرده و نگاه داشت.

حرارت  $Ca(OH)_2 + CaO + H_2O$

آهک، بر حسب نوع مصرف، به صورت‌های سنگ آهک خرد شده، دانه‌بندی شده، آهک زنده و آهک شکفته به بازار عرضه می‌شود.

آهک زنده و آهک شکفته به دو صورت تهیه می‌گردند؛ یکی با ایجاد کوره‌های دستی آهک‌پزی در مقیاس کارگاه‌های کوچک آهک‌پزی با تولید کم، و دیگری با ایجاد کارخانه تولید آهک صنعتی که در آن سنگ آهک در کوره‌های ایستاده و یا دوار پخته می‌شود.

سنگ آهک مرغوب (با  $CaCO_3$  زیاد) در گرمای از ۸۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و سنگ آهک نامرغوب (رس‌دار و قدری دولومیتی) در گرمای از ۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته می‌شود. موارد کاربرد آهک در صنعت بستگی به مقدار اکسید کلسیم قابل حصول در آن دارد. کمتر سنگ آهکی وجود دارد که از نظر خلوص ۹۹٪ کربنات کلسیم داشته باشد، اما بیشتر سنگ آهک‌های قابل استفاده برای صنایع دارای ۹۸٪ خلوص کربنات کلسیم هستند. ناخالصی‌های آهکی شامل ترکیبات منیزیم، سیلیسیم، آلومینیم، آهن و منگنز است. این ناخالصی‌ها در کوره با مقادیری از اکسید کلسیم ترکیب شده و ترکیب‌های گوناگونی از سیلیسیم و آلومینیم و غیره را به وجود می‌آورند که برای برخی مصارف آهک زیان‌آور است. ولی اصولاً همه سنگ آهک‌هایی که دارای بیش از ۹۰٪ اکسید کلسیم ( $CaO$ ) باشند به شرطی که درصد مواد زیان‌آور آن‌ها در حد مجاز باشد در صنعت قابل مصرف هستند. در جدول ۱ صورت تجزیه آهک زنده<sup>۱۴</sup> تجارتي تیپیک ارائه شده است.

جدول ۱. صورت تجزیه آهک زنده به درصد

CaO	۹۳،۲۵-۹۸،۰۰
MgO	۰،۳۰-۲،۵۰
SiO <sub>2</sub>	۰،۲۰-۱،۵۰
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰،۱۰-۰،۴۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰،۱۰-۰،۵۰
H <sub>2</sub> O	۰،۱۰-۰،۹۰
CO <sub>2</sub>	۰،۴۰-۱،۵

اصولاً برای تهیه آهک پخته در کارخانه‌های تولید آهک، سنگ آهک مورد نیاز از نظر کیفی باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

$CaCO_3 > 90\%$

$SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3 < 3-4\%$

Mg CO<sub>3</sub> < 5%

افزون بر آن کیفیت ترکیب شیمیایی سنگ آهک در مجموعه معدن باید دارای وضع یکسان بوده و تغییرات CaO از ±۲ درصد فراتر نرود.

در شرایطی که سنگ آهک دارای ویژگی‌های بالا باشد می‌توان از آن آهک هوایی و اگر عیار  $SiO_2 + Fe_2O_3 + Al_2O_3$  از ۸ تا ۲۰٪ باشد آهک هیدرولیک یا آهک آبی تهیه کرد. در زیر شرح کوتاهی درباره آهک هوایی و آهک هیدرولیک (آهک آبی) ذکر می‌شود:

**آهک هوایی:** از سنگ آهک تقریباً خالص به‌وسیله کلسیناسیون<sup>۱۵</sup> سنگ آهک در حرارت نزدیک به ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد آهک هوایی تهیه می‌شود. این آهک به این دلیل آهک هوایی نامیده شده است که به‌وسیله کربنیتیزاسیون، CaO در زیر نفوذ CO<sub>2</sub> هوا سخت می‌شود و به همین جهت در زیر آب این نوع آهک گیرش پیدا نمی‌کند.

آهک‌های هوایی ناخالص را که تا ۵٪ خاک رس دارند آهک فقیر یا کم‌چربی، و آهک‌های هوایی خالص را آهک‌های پرچربی می‌نامند.

**آهک هیدرولیک:** برخلاف آهک‌های هوایی، آهک هیدرولیک قابلیت سخت شدن و گیرش هم در هوا و هم در آب دارد (پی‌سازی دیوارهای ساحل) این نمونه آهک‌ها را به‌وسیله نشان هیدرولیسیت<sup>۱۶</sup> (i) که عبارت است از نسبت ترکیبات اسیدی به ترکیبات بازی می‌توان رده‌بندی نمود.

$$A = \frac{\text{وزن عناصر اسیدی خاک رس } SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}{\text{وزن عناصر بازیک مواد آهکی } CaO + MgO}$$

جدول ۲. طبقه‌بندی آهک بر حسب نشان هیدرولیسیت

نوع مصرف	عناصر کمیاب مضر
صنایع تولید کلسیم کاربید	فسفر
صنایع تولید کلسیم فولاد	سولفورها (گوگرد)
صنایع تولید کلسیم منوفسفات	آرسنیک و فلورین
صنایع تولید کلسیم شیشه	آهن

### توضیح

کلسیناسیون و تهیه آهک هیدرولیک در حرارت نزدیک به ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود. البته نباید حرارت از این مقدار تجاوز نماید که در آن صورت پدیده کلینکریزاسیون ایجاد می‌شود.

اگر یک سنگ آهک دارای ۲٪ ناخالصی باشد این ناخالصی پس از کلسینه شدن سنگ آهک، بسیار زیادتر (نزدیک ۴٪) می‌شود. زیرا حدوداً ۵۰٪ از وزن آهک بعد از پخته شدن در اثر متصاعد شدن CO<sub>2</sub> کم می‌شود. به‌علاوه

مقدار کمی از سنگ آهک موجود، در جریان پختن کلسینه نمی‌شود؛ این قسمت از سنگ آهک را که کلسینه نمی‌شود اصطلاحاً مغزه (Core) می‌نامند. مغزه عموماً بین ۳ تا ۵٪ محصول را تشکیل می‌دهد و میزان آن بستگی به نوع کوره و روش پخت دارد. معمولاً ناخالصی‌ها در آهک زنده بین ۴ تا ۱۰٪ وزن آن را تشکیل می‌دهند و در مصارف شیمیایی آهک از عوامل مضر به حساب می‌آیند.

در شرایطی که منظور عرضه آهک به صورت شکفته باشد می‌توان آن را قبل از عرضه، به‌وسیله روش جدایش با فشار هوا<sup>۱۷</sup>، از وجود ناخالصی‌هایی مانند مغزه، سیلیکات‌ها و آلومینات‌ها به صورت فیزیکی پاک نمود. در عمل می‌توان آهک شکفته با ۷۲ تا ۷۲/۵٪ CaO تهیه نمود. (در شرایط خلوص کامل، آهک شکفته دارای ۷۴٪ CaO است که معادل آهک زنده با ۱۰۰٪ خلوص است) سایر ناخالصی‌های موجود در سنگ آهک عبارت از عناصر کمیابی<sup>۱۸</sup> چون گوگرد، فسفر، آرسنیک، منگنز، استرانسیم و فلورین است که مقدار آن‌ها به صورت ppm بیان می‌شود که تشکیل می‌شود. جدول ۳ عناصر کمیاب مضر بر حسب نوع مصرف در آهک ارائه شده است.

جدول ۳. عناصر کمیاب مضر بر حسب نوع مصرف در آهک

نوع مصرف	عناصر کمیاب مضر
صنایع تولید کلسیم کاربید	فسفر
فولاد	سولفورها
منوفسفات	آرسنیک و فلورین
شیشه	آهن

### مصارف آهک

سنگ آهک، کلوخه، گرد آهک زنده، خمیر و گرد آهک شکفته در صنایع زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- صنایع ساختمانی، برای تولید سیمان و تهیه آجرهای ماسه آهکی، ملات و شفته آهکی؛

- صنایع قندسازی، شیشه‌سازی؛

- صنایع فولاد؛

- صنایع تولید کلسیم کاربید C<sub>2</sub>Ca؛

- صنایع تولید منیزیم (Mg) و صنایع تولید

آلومینیوم (Al)؛

- صنایع شیمیایی، که در آن آهک به عنوان یک ماده اولیه و همچنین برای خنثی کردن اسید و مصارفی نظیر موارد زیر مصرف دارد:

- عامل چسبندگی<sup>۱۹</sup> - ماده قلیاکننده<sup>۲۴</sup>

- حلال<sup>۲۰</sup> - مواد روغنی جهت کم کردن

- جذب<sup>۲۱</sup> - استهلاک<sup>۱</sup>

- آبگیری تجزیه<sup>۲۲</sup> - جاذب رطوبت

- کمک ذوب<sup>۲۳</sup>

کلسیم در گرمای ۳۴۰۰ تا ۳۰۰۰ درجه سانتی‌گراد با کربن ترکیب شده و کلسیم کاربید (کاربیت) می‌دهد. کاربید نیز با آب ترکیب می‌شود و گاز استیلن ( $C_2H_2$ ) و آهک شکفته (CaO) می‌دهد.

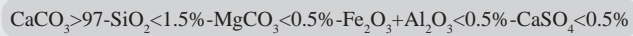
در اکثر بازارهای مصرف آهک، برای مصارف شیمیایی، آهک با کلسیم زیاد ترجیح داده می‌شود در صورتی که در مصارفی نظیر صنایع شیشه‌سازی و خمیر سولفیت<sup>۲۴</sup> و خنثی کردن اسید، آهک‌های دولومیتی ترجیح داده می‌شود. در صنایع فولاد آهک به صورت سنگ آهک و به عنوان کمک ذوب فولاد<sup>۲۷</sup> به کار می‌رود که یکی از مهم‌ترین موارد مصرف آهک است. در این صنایع، آهک باعث گرفتن ناخالصی‌های موجود در فولاد مثل فسفر، گوگرد و سیلیس می‌شود.

آهک در فلوتاسیون مواد معدنی و در تحصیل طلا و نقره در عمل سیانیدیزاسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد که نتیجه عمل، تولید ژیبس است.

در کوره آهک‌پزی کارخانجات قند، آهک به صورت سنگ آهک با دانه‌بندی ۸، ۱۳ و ۱۵ سانتی‌متر مصرف می‌شود. در این صورت خلوص سنگ آهک باید بیش از ۹۶٪ باشد. البته مقدار کمی آهک زنده نیز در صنایع قند مصرف

می‌شود (به میزان حدود ۳٪ چغندر مصرفی در کارخانه، آهک پخته مورد نیاز است).

ناخالصی مضر در سنگ آهکی که در صنایع قند مصرف می‌شود سیلیس است که مقدار آن نباید بیش از یک درصد باشد. سایر ناخالصی‌ها در صورتی که درصد کربنات بیش از ۹۷٪ باشد اشکال چندانی ایجاد نمی‌کند. در زیر ترکیب مجاز سنگ آهک مورد نیاز در صنایع قندسازی آمده است. جدول ۴. آهک شکفته برای تولید گریس (Grease)



در تهیه آجر ماسه آهکی اگر درصد اکسید منگنز (MgO) بیشتر باشد وقت بیشتری برای پخت آجر لازم است. در شرایطی که آهک خالص در دسترس نباشد مصرف آهک با ۸٪ اکسید منگنز نیز امکان‌پذیر است ولی فرایند تهیه آجر مشکل‌تر شده و زمان پخت افزایش می‌یابد؛ به‌علاوه مرغوبیت آجر نیز پایین می‌آید. در این صورت دانه‌های سنگ آهک مصرفی باید خیلی ریزتر شود.

جدول ۵. سنگ آهک برای مصرف در صنایع تهیه فولاد

نوع ترکیبات	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	L.O.I
درصد %	۵۴٫۵	۰٫۵	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۱	۴۳٫۶

جدول ۶. سنگ آهک برای مصرف در صنایع شیمیایی

ترکیب شیمیایی (درصد وزنی)	دسته اول	دسته دوم	دسته سوم	دسته چهارم
بیشینه کاهش وزن LOI	۴۶	۴۶	۴۶	۴۴
بیشینه SiO <sub>2</sub>	۰٫۷۵	-	۱	۲
بیشینه Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۱۵	-	۰٫۲۵	-
بیشینه CaO	۵۴	۵۳	۵۴	۵۰
بیشینه MgO	۲	۱	۰٫۸	۱
بیشینه Mn <sub>۲</sub> O <sub>۳</sub>	۰٫۰۶	-	-	-
بیشینه CO <sub>2</sub>	۴۲	۴۲	۴۲	۴۱
بیشینه S	-	-	۰٫۱	-
بیشینه P	-	-	۰٫۰۱	-
بیشینه Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	۰٫۵	۱٫۵
بیشینه Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + SiO <sub>2</sub>	-	۳	-	-



#### پی‌نوشت

1. Micrite 2. Allochem 3. O'olith
4. Lumachelle 5. Aragonite 6. Travertine
7. Onix 8. Chalk 9. High calcium limestone
10. Dolomitic limestone 11. Lime
12. Calcined limestone 13. Hydrated lime
14. Quick lime 15. Calcination
16. Hydrolicity 17. Air seperation
18. Trace elements 19. Bonding agent
20. Solvent 21. Absorbtion
22. Hydrolyzation 23. Flux
24. Causlicizing agent 25. Lubricant
26. Sulfite pulp 27. Fluxing of steel 28. solvey

#### منابع

۱. استانداردهای مربوط به آهک، آجر، گچ و شن و ماسه مؤسسه استاندارد آمریکا (ASTM)
۲. شاه‌بیگ، امیر. ۱۳۶۰ بررسی مصالح ساختمانی خاک رس سنگ آهک و گچ در استان آذربایجان شرقی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۳. کریم‌پور، محمدحسن. ۱۳۷۸. کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی معدنی کشور، دانشگاه فردوسی مشهد
۴. بنیان، احمد. ۱۳۶۳ مواد اولیه مصالح ساختمانی روش اکتشاف و مطالعه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

## سنگ آهک در صنایع تولید سیمان

ترکیب سنگ آهک مورد نیاز برای مصرف در تولید سیمان بستگی به نوع ماده مخلوط شونده (رس، مارن، شیل و غیره) با آن دارد ولی هرچه مواد مضر مثل  $Cl$ ,  $K_2O$  و  $Na_2O$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$  در آن کمتر باشد بهتر است.

## ویژگی سنگ آهک مصرفی در صنایع شیمیایی

(مطابق استاندارد ۴۷۴۱)

سنگ آهک‌هایی که در صنایع شیمیایی به کار می‌رود، با توجه به درجه مرغوبیت یا موارد استفاده مختلفی که براساس خصوصیات شیمیایی دارد به چهار دسته زیر تقسیم می‌شود:

۱. برای ساخت پودر سفیدکننده، مایع سفیدکننده، منسوجات، روغن جلا، خمیر کاغذ؛
۲. برای تولید سودا-اش به‌وسیله فرایند سلوی<sup>۲۸</sup>؛
- تولید سود سوزآور (NaOH) به‌وسیله فرایند سودا-آهک؛
۳. برای ساخت کاربید کلسیم؛
۴. برای فرایند تهیه شکر.