وزارت صنایع و معادن
سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
*گروه فرآوری و کاربرد مواد معدنی*

**مصوبه سفرهای استانی ریاست جمهوری**

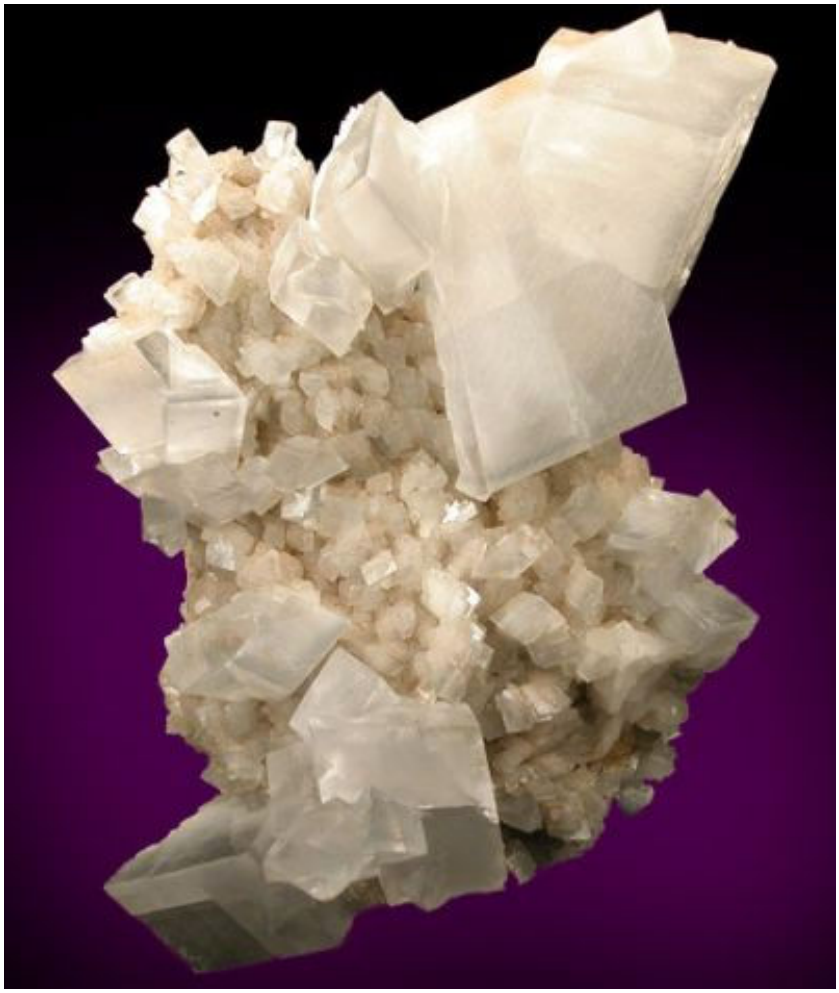
# بررسی کاربردهای دولومیت کرمانشاه و امکان استحصال منیزیم از آن

تهیه کننده :

**میرزاآقا محمدی**

**سید عباس فاضلی**

تیرماه ۱۳۸۸



# فهرست مطالب


**فصل ۱ ..... ۱**

**۱-۱ مقدمه ..... ۱**

**۱-۲ مشخصات عمومی و کانی شناسی ..... ۲**

**۱-۳ نحوه نام گذاری سنگهای دولومیتی(دولوستون) ..... ۳**

**۱-۴ زمین شناسی دولومیت و فرآیندها دولومیتی شدن ..... ۴**

*۱-۴-۱ استان سمنان ..... ۶*

*۱-۴-۲ استان کرمان ..... ۶*

*۱-۴-۳ استان مرکزی ..... ۷*

*۱-۴-۴ استان سیستان و بلوچستان ..... ۷*

*۱-۴-۵ استان زنجان ..... ۸*

*۱-۴-۶ استان اصفهان ..... ۸*

*۱-۴-۷ استان مازندران ..... ۹*

*۱-۴-۸ استان کرمانشاه ..... ۹*

*۱-۴-۹ استان آذربایجان غربی ..... ۱۰*

*۱-۴-۱۰ استان همدان ..... ۱۰*

*۱-۴-۱۱ استان آذربایجان شرقی ..... ۱۱*

*۱-۴-۱۲ استان هرمزگان ..... ۱۱*

*۱-۴-۱۳ استان تهران ..... ۱۱*

*۱-۴-۱۴ استان لرستان ..... ۱۱*

*۱-۴-۱۵ استان بوشهر ..... ۱۲*

*۱-۴-۱۶ استان فارس ..... ۱۲*

**۱-۵ روشهای متداول فرآوری دولومیت ..... ۱۲**

**۱-۶ مصارف عمده دولومیت و مشخصات فنی آن ..... ۱۶**

*۱-۶-۱ صنایع شیشه: ..... ۱۷*

*۱-۶-۲صنایع کاشی ..... ۱۷*

*۱-۶-۳ صنایع تولید فر آورده های نسوز ..... ۱۸*

۱-۶-۴ دولومیت به عنوان کمک ذوب ..... ۱۹
۱-۶-۵ مصارف دولومیت در گندله سازی ..... ۲۰
۱-۶-۶ تولید منیزیا از آب دریا ..... ۲۱
۱-۶-۷ تولید فلز منیزیم به روش حرارتی ..... ۲۲
**فصل ۲ ..... ۲۹**
**۲-۱ مقدمه ..... ۲۹**
**۲-۲ آماده سازی نمونه ..... ۲۹**
**۲-۳ تجزیه شیمیایی ..... ۳۰**
**۲-۴ مطالعه پراش اشعه ایکس (XRD) ..... ۳۱**
**۲-۵ مطالعات نمونه دستی ..... ۳۱**
**۲-۶ مطالعه میکروسکوپی ..... ۳۲**
**۲-۷ پیش بینی کاربردهای دولومیت کرمانشاه ..... ۳۲**
**۲-۸ نتیجه گیری و پیشنهادات ..... ۳۳**

# فهرست اشکال

شکل(۱-۱): فلوشیت فرآوری دولومیت جهت تولید اگرگات .....۱۳

شکل(۱-۲): فلوشیت فرآوری سنگ دولومیت جهت تولید لاشه سنگ .....۱٤

شکل(۱-۳): فلوشیت فرآوری سنگ دولومیت جهت تولید دولومیت کلسینه.....۱۵

شکل(۱-٤): کاربردهای مختلف دلومیت .....۱٦

شکل(۱-۵): فلوشیت کلی تولید منیزیم به روش پیجن .....۲٤

شکل(۱-٦): رآکتور فرآیند بولزانو.....۲٦

شکل(۱-۷): رآکتور فرآیند مگنترم .....۲۸

شکل(۲-۱): فلوشیت آماده سازی نمونه.....۳۰

شکل(۲-۲): عکس بلورهای ریز دولومیت (۱۵ تا ۳۰ میکرون) در معیت مقادیری میکریت در نمونه دولومیت آهکی کرمانشاه در نیکول‌های عمود بر هم.....۳۲

شکل(۲-۳): نمودار کاربردهای دولومیت کرمانشاه .....۳۳

**فهرست جداول**

جدول(۱-۱): رنگ آمیزی و تغییرات رنگ کانیهای کربناته توسط محلولهای آلیزارین رد اس- فروسیانید ..... ۳

جدول(۱-۲): انواع سنگهای دولومیتی و نحوه نام گذاری آنها ..... ۳

جدول(۱-۳): آنالیز سه نمونه از دولومیت کرکوه شهمیرزاد(درصد) ..... ٦

جدول(۱-٤): آنالیز دولومیت اطراف شهربابک(درصد) ..... ٦

جدول(۱-۵):آنالیز دولومیت منطقه جاده سیرجان(درصد) ..... ۷

جدول(۱-٦): آنالیز سنگ دولومیت معدن تراندشت(درصد) ..... ۷

جدول(۱-۷): آنالیز سنگ دولومیت منطقه دلکان(درصد) ..... ۷

جدول(۱-۸): آنالیز سنگ دولومیت منطقه سهند علیا(درصد) ..... ۸

جدول(۱-۹): آنالیز سنگ دولومیت منطقه احمد آباد آبگرم(درصد)..... ۸

جدول(۱-۱۰): آنالیز سنگ دولومیت معدن لاچو زفره(درصد) ..... ۹

جدول(۱-۱۱): آنالیز شیمیایی دولومیت معدن قشلاق دهفول(درصد) .....۱۰

جدول(۱-۱۲): نتیجهٔ آنالیز شیمیایی ۲ نمونه از معادن دولومیت استان تهران(برحسب درصد) .....۱۱

جدول(۱-۱۳): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع شیشه .....۱۷

جدول(۱-۱٤): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع کاشی .....۱۸

جدول(۱-۱۵): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع شیشه .....۱۸

جدول(۱-۱٦): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در تولید منیزیا از آب دریا.....۲۱

جدول(۲-۱): جدول ترکیب شیمیایی دولومیت کرمانشاه(XRF).....۳۱

# فصل ۱

# کلیات

## ۱-۱ مقدمه

دولومیت به انواعی از سنگهای آهکی اطلاق می شود که حاوی بیش از ۵۰ درصد کربنات بوده و بیش ازنیمی از آن از دولومیت تشکیل شده است . به دلیل اینکه واژه دولومیت به عنوان نام کانی نیز مورد استفاده قرار می گیرد ، پیشنهاد شده است که از این واژه برای نام سنگ استفاده نگردد و به جای آن از واژه "دولوستون" استفاده شود. در واقع دولومیت به سنگ رسوبی اطلاق می شود که حاوی بیشتر از ۵۰ درصد کانی کلسیت و دولومیت باشد و کانی دولومیت آن بیشتر از کلسیت باشد.

دولومیت یکی از کانیهای کربناته کلسیم و منیزیم می‌باشد. دولومیت نخستین بار توسط زمین شناس فرانسوی به نام دولومیو در سال ۱۷۹۹ میلادی به صورت یک کانه مجزا معرفی گردید که به افتخار وی منطقه کوههای تیرول جنوبی را که شامل مقادیر زیادی از این نوع کانی بود، دولومیت نامیده شد.

## ۱-۲ مشخصات عمومی و کانی شناسی

**ترکیب شیمیایی:** دولومیت کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم با فرمول شیمیایی $CaMg(CO_3)_2$ است و ترکیب شیمیایی آن به شرح زیر می‌باشد:

$CO_2$ =٤٧/٩ CaO =٣٠ MgO =٢١/٧

**سیستم تبلور:** این کانی در سیستم های هگزاگونال و تری گونال(کلاسه رومبوئدریک) دیده شده است.

**اگرگات** : شکری، دانه ای، کلیه ای، گلوله ای و گاهی متخلخل

**شکستگی**: صدفی

**رنگ** : نیمه شفاف، سفید مایل به خاکستری، زرد قهوه ای و گاهی سبز و یا سیاه

**رنگ خاکه** : سفید

**جلا:** شیشه ای

**سختی:** در مقیاس موس: ۴-۳/۵

**وزن مخصوص**: $g/cm^3$ ۳-۲/۸

**کانی های همراه:** کلسیت ، پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مارکاسیت، گالن، فلوریت، سلستین، ژیپس، انیدریت، سیدریت و کوارتز

**سایر خصوصیات** : در مقابل فوتک ذوب نمی گردد .شعله را نارنجی می کند . اسید کلریدریک سرد بر آن بی‌اثر است . اندازه بلورها تا حدود ۲ میلیمتر می‌رسد و خاصیت خرد شوندگی دارد . ناخالصی به صورت ایزومورف آهن، منگنز، روی، نیکل، کبالت، مواد نفتی وغیره وجود دارد.

**روش های تشخیص**: دولومیتها تقریبا در شرایط زمین شناسی و فیزیوگرافی تشکیل سنگ آهکها به وجود می آیند . رنگ آمیزی یکی از روشهای رایج برای تشخیص دولومیت از کلسیت در مقاطع نازک است. جدول(۱-۱) رنگ آمیزی و تغییرات رنگ کانیهای کربناته توسط محلولهای آلیزارین رد - اس و فروسیانید پتاسیم را نشان می دهد. معیارهای دیگری که می توان مورد استفاده قرار داد عبارتند از ، شکل بلوری منظم، ساختمان منطقه ای و ماکل.

**جدول(۱-۱): رنگ آمیزی و تغییرات رنگ کانیهای کربناته توسط محلولهای آلیزارین رد اس- فروسیانید**

| کانی | آلیزارین رد- اس | فروسیانید پتاسیم | ترکیبی از هر دو |
|---|---|---|---|
| کلسیت | -- | -- | صورتی تا نارنجی |
| دولومیت | -- | -- | -- |
| دولومیت آهن دار | خیلی کم رنگ | فیروزه‌ای پر رنگ | فیروزه‌ای کم رنگ تا پر رنگ یا سبز |

## ۱-۳ نحوه نام گذاری سنگهای دولومیتی(دولوستون)

به طور کلی , سنگهایی که در آنها مقدار کلسیت بیشتر از دولومیت است، سنگ آهک دولومیتی و سنگهایی که در آنها دولومیت بیشتر از کلسیت است دولومیتهای آهک، دولومیتهای کلسیتی، دولومیتهای کلسیم دار یا کالک دولومیت نامیده می شوند. جدول(۱-۲) این تقسیم بندی را به تفصیل نشان می‌دهد.

**جدول(۱-۲): انواع سنگهای دولومیتی و نحوه نام گذاری آنها**

| بیش از ۹۰ درصد دولومیت | ۹۰٪-۵۰ دولومیت | ۵۰٪-۱۰ دولومیت | ۱۰٪> دولومیت |
|---|---|---|---|
| دولومیت | کلسی دولومیت | سنگ آهک دولومیتی | سنگ آهک |

## ١-٤ زمین شناسی دولومیت و فرآیندها دولومیتی شدن

دولومیت یکی از سنگهای کربناتی است که از رسوبات عادی دریایی بشمار می‌رود. برای مثال در بیشتر نقاط جهان در سنگهای تریاس دولومیت ها نمود بارزی دارند. بخش اعظم دولومیت ها در شرایط بیرونی از طریق رسوب از آب دریا در شرایط آب و هوای گرم و خشک و در وضعیتی که آب دریا حاوی نمک فراوان و هوا حاوی مقدار زیادی دی‌اکسیدکربن باشد، بوجود می‌آید. دولومیتهای دیاژنتیکی در نتیجه جایگزینی متاسوماتیک کلسیت با دولومیت در جریان دیاژنز تشکیل می‌شوند. دولومیتهای مناسب صنعت در مجموعه‌های کربناتی پلاتفرمی، نواحی چین خورده و فرورفتگیهای بین کوهها یافت می‌شوند.

دولومیت بصورت اولیه خیلی کم تشکیل می شود. سه عامل باعث عدم تشکیل دولومیت در آب دریا بصورت اولیه می شود که عبارتند از:

- هیدراتاسیون یون منگنز
- فعالیت یونی کم کربنات
- فعالیت یونی بالای آب دریا

در شرایط مناسب نسبت Mg/Ca زیاد می‌شود و دولومیت تشکیل می گردد که این شرایط شامل:

- خروج کلسیم بصورت ژیپس یا کانی های تبخیری
- مخلوط شدن آب دریا با ٣٠٪ آب شیرین جوی

.مدلهای مختلفی برای دولومیتی شده ارائه شده است که در زیر به آن پرداخته می‌شود:

**مدل سبخا**: این محیط مناسبترین محیط تشکیل دولومیت است. در این مدل نیز دولومیت ها همراه با رسوبات تبخیری همراهند.

**مدل مخلوط شدگی**: در این مدل که با تبخیری ها همراه نیست، مخلوط شدن آب های جوی و دریـائی را داریم.

**مدل پائین رفتن سطح آب دریا**: در این محیطها سطح آب دریا پیوسـته در حـال پـائین رفـتن اسـت و دولومیت در بخش های بالا آمده تشکیل می گردد.

**مدل تدفینی**: دراین مدل در اثر فشار وزن رسوبات آبهای درون حفره ای غنی ازمنگنز و درون شبکه ای کانی های رسی منیزیم دار آزاد شده و به بخش های با فشار پائین حرکت مـی نماینـد. دولومیـت هـای تشکیل شده در این منطقه درشت بلور هستند. این دولومیت ها چـون بـا محلـول هـای گرمـابی همـراه هستند لذا با کانی های سولفیدی دیده می شوند. از مشکلات ایجاد دولومیت در محیط دفنی عدم وجود یک منبع مدام سیال در این محیط ها می باشد.

**۳-۱-۲- ذخایر و معادن دولومیت در ایران**

میزان ذخیره دولومیت ایران در حدود ٤٤ میلیون تن می‌باشد که قسمت اعظم آن در استان همدان (حدود ٤٥ درصد) قرار دارد. دولومیت در استان هـای سیـستان و بلوچـستان، زنجـان، کرمـان، همـدان (معادن قشلاق دهفول)، سمنان (کرکوه و بیابانک)، تهران (تیزاب و حریر)، قـزوین، کرمانـشاه، اصـفهان (لاچوله و حسن رباط)، خوزستان، آذربایجان غربی و فارس وجود دارد.

بزرگترین ذخیره دولومیت ایران متعلق بـه دولومیـت هـای همـدان (در حـدود ٤٥٪) اسـت کـه دولومیت در آن با ضخامت زیادی بر روی آهک منطقه قرار گرفته است و به صورت گسله در مجاورت تشکیلات جوان تر واقع شده است که عامل ایجاد آن قرارگیری این منطقه در زون سنندج سیرجان که از فعال ترین زون ها از نظر تأثیر فازهای تکتونیکی و ایجاد درزه و شکاف و شکستگی ها می باشد.

### ۱-۴-۱ استان سمنان

یکی از معادن مهم این استان معدن دولومیت کرکوه شهمیرزاد است که در حال حاضر با توجه به مرغوبیت محصول استخراجی(پایین بودن درصد اکسید آهن) از این معدن در شیشه سازی قزوین مصرف می گردد . این معدن در ۲۳ کیلومتری شمال غرب سمنان (۱۵ کیلومتری جاده سمنان – سنگر) واقع شده است. آنالیز سه نمونه از دولومیت کرکوه شهمیرزاد به شرح‌جدول(۱-۳) می باشد .بهره برداری این معدن به عهده شرکت باریت ایران می باشد.

**جدول(۱-۳): آنالیز سه نمونه از دولومیت کرکوه شهمیرزاد(درصد)**

| L.O.I | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO |
|---|---|---|---|---|
| ۴۷/۳۵ | ۰/۵۶ | ۰/۲۷ | ۲۰/۳۷ | ۳۱/۴۷ |
| ۴۷/۴۰ | ۰/۷۳ | ۰/۱۷ | ۲۰/۶۰ | ۳۱/۱۴ |
| ۴۷/۵۲ | ۰/۵۴ | ۰/۲۰ | ۲۰/۷۳ | ۳۱ |

### ۱-۴-۲ استان کرمان

معادن دولومیت در این استان در سیرجان ، شمال شرقی استان , اسفندقه و شهر بابک می باشد. دولومیت اطراف شهر بابک در منطقه کوه سفید دارای آنالیز شیمیایی جدول(۱-٤) می باشد:

**جدول(۱-٤): آنالیز دولومیت اطراف شهربابک(درصد)**

| L.O.I | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO |
|---|---|---|---|---|
| ۴۸/۰ | ۰/۲۸ | ۰/۱۸ | ۲۰/۵۳ | ۳۱ |

دولومیت منطقه جاده سیرجان که ذخیره احتمالی آن حدود یک میلیون تن برآورد گردیده است ، دارای کیفیت خوب و آنالیز شیمیایی مطابق با جدول(۱-۵) می‌باشد.

**جدول(۱-۵):آنالیز دولومیت منطقه جاده سیرجان(درصد)**

| L.O.I | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO |
|---|---|---|---|---|
| ۴۵/۸۲ | ۰/۱۱ | ۰/۰۵ | ۲۰/۰۸ | ۳۰/۸۴ |

با توجه به اینکه این معادن در نزدیکی معدن سنگ آهن گل گهر واقع شده است و راه آهن بندر عباس -سیرجان -اصفهان از کنار آن عبور می کند، سنگ دولومیت این معدن به راحتی قابل حمل به ذوب آهن اصفهان و مجتمع فولاد مبارکه می باشد.

### ۱-۴-۳ استان مرکزی

معدن فعال این استان معدن تواندشت است که در ۵۹ کیلومتری جنوب شرقی بروجرد واقع شده و دارای ذخیره احتمالی ٤ میلیون تن بوده می‌باشد. آنالیز سنگ دولومیت آن به شرح جدول(۱-٦) است.

**جدول(۱-٦): آنالیز سنگ دولومیت معدن تراندشت(درصد)**

| L.O.I | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO |
|---|---|---|---|---|
| ۴۶/۷ | ۰/۱۸ | ۰/۳ | ۲۲/۰۱ | ۲۹/۸۰ |

### ۱-۴-۴ استان سیستان و بلوچستان

معدن دولومیتی که دراین استان شناسایی شده درمنطقه دلکان قرار دارد. . ذخیره دولومیتی این منطقه بسیار زیاد و بیش از دهها میلیون تن تخمین زده می شود.آنالیزشیمیایی دو نمونه ازآن بصورت جدول(۱-۷) می‌باشد.

**جدول(۱-۷): آنالیز سنگ دولومیت منطقه دلکان(درصد)**

| L.O.I | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | MgO | CaO | $SiO_2$ | شماره نمونه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴۵/۰۷ | ۰/۶۷ | ۰/۲۶ | ۲۰/۲۸ | ۳۰/۸۱ | ۱/۱۲ | ۱ |
| ۴۵/۸ | ۰/۵۵ | ۰/۰۸ | ۲۰/۶۵ | ۳۰/۲۹ | ۰/۸۷ | ۲ |

### ۱-۴-۵ استان زنجان

در این استان ذخایر متعددی از دولومیت گزارش شده است که عموما در دو منطقه سهند علیا (ماهنشان) و منطقه احمد آباد آبگرم قرار دارند.

دو منطقه سهند علیا در ۱۳۰ کیلومتری غرب زنجان و در مسیر جاده ماه نشان- پری قرار دارد .آنالیز شیمیایی دو نمونه از این منطقه به صورت جدول(۱-۸) است.

**جدول(۱-۸): آنالیز سنگ دولومیت منطقه سهند علیا(درصد)**

| شماره نمونه | $SiO_2$ | CaO | MgO | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | L.O.I |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۶ | ۳۰/۹۴ | ۲۱/۱۱ | ۰/۱۳ | ۰/۲۲ | ۴۵/۷۹ |
| ۲ | ۰/۷ | ۳۱/۲۹ | ۲۰/۷۳ | ۰/۱۲ | ۰/۰۳ | ۴۶/۳۶ |
| ۳ | ۰/۱۶ | ۳۰/۸۱ | ۲۱/۸۱ | ۰/۱۱ | ۰/۱۶ | ۴۷/۶۰ |

منطقه احمد آباد آبگرم در حاشیه شمال غرب جاده تاکستان – آوج در نزدیکی آبگرم واقع است. آنالیز شیمیایی دو نمونه از این منطقه به صورت جدول(۱-۹) است.

**جدول(۱-۹): آنالیز سنگ دولومیت منطقه احمد آباد آبگرم(درصد)**

| $SiO_2$ | CaO | MgO | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | L.O.I |
|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۹۴ | ۳۱/۵ | ۲۰/۳۰ | ۰/۵۸ | ۰/۴۳ | ۴۶/۱ |

### ۱-۴-۶ استان اصفهان

در استان اصفهان از چهار معدن موجود تنها دو معدن آن فعال می باشد.

**معدن لاچوله زفره:** محل این معدن در ۷۰ کیلومتری شمال شرق اصفهان می باشد. میزان استخراج سالانه این معدن ۹٤۰۰ تن است که به وسیله شرکت ملی فولاد ایران بهره برداری می شود. دولومیت استخراجی به

ذوب آهن حمل و جهت تولید آجر نسوز مصرف می گردد. آنالیز شیمیایی برای یک نمونه از این معدن به شرح جدول(۱-۹) است

**جدول(۱-۱۰): آنالیز سنگ دولومیت معدن لاچو زفره(درصد)**

| شماره نمونه | $SiO_2$ | CaO | MgO | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | L.O.I |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰/۳۴ | ۳۱/۸۷ | ۲۰/۱۶ | ۰/۳۳ | ۰/۱۹ | ۴۶/۸۶ |
| ۲ | ۰/۱۴ | ۳۰/۹۱ | ۲۰/۹۲ | ۰/۱۱ | ۰/۲۵ | ۴۶/۹۸ |

**دولومیت حسن رباط**: این معدن در ۸۸ کیلومتری جنوب دلیجان واقع شده است. استخراج سالانه این معدن ۷۰۰۰ تن است که به وسیله آقای جواد باطنی برای تهیه مواد نسوز و استفاده در کاشی اصفهان مورد بهره برداری قرار می گیرد. درصد اکسید منیزیم این معدن ۲۲ درصد است.

**دولومیت قره بلطاق داران**: در ۱۸۲ کیلومتری شمال غرب اصفهان واقع شده است و میزان اکسید منیزیم آن ۲۲/۵ درصد است. به علت دارا بودن مقداری آهن برای صنایع شیشه نامناسب و برای صنایع کاشی کاملا مناسب می‌باشد . این معدن در حال حاضر غیر فعال است.

**دولومیت بوئین**: این معدن گرچه ذخیره بالایی دارد ، ولی به دلایل پایین بودن اکسید منیزیم آن(حدود ۱۶ درصد) و بالا بودن مقدار آهن، بهره برداری از آن فعلا صورت نمی گیرد.

### ۱-۴-۷ استان مازندران

معدن دولومیت گرماب که در ۵۸ کیلومتری شمال کرج و در جنوب روستای گرماب واقع شده است. ایم معدن درگذشته موردبهره برداری قرار می‌گرفته است، اما در حال حاضر متروکه است.

### ۱-۴-۸ استان کرمانشاه

ذخایر دولومیت این استان در اسلام آباد غرب واقع است . این استان دارای دو معدن فعال می باشد.

**معدن دولومیت اسلام آباد غرب (بدره ای):** این معدن در ٦ کیلومتری شمال شرق اسلام آباد واقع شده است .دولومیت این منطقه از کیفیت مناسبی برای صنایع شیشه برخوردار است .معدن مذکور توسط شرکت اینترسرام مورد بهره برداری قرار می گیرد.

**معدن دولومیت اسلام آباد غرب(سه راه ملاوی):** این معدن در ٥ کیلومتری جنوب شرق اسلام آباد غرب و در شرق جاده ملاوی(سه را ه ملاوی) قرار گرفته است که به وسیله شرکت اینترسرام بهره برداری می‌شود.

### ۱-۴-۹ استان آذربایجان غربی

دولومیت چپونولود آباد صائین دژ در شمال شرق شهرستان صائین دژ که دارای ذخایری از دولومیت سازند الیکا مربوط سه دوره تریاس می باشد.

### ۱-۴-۱۰ استان همدان

این استان دارای ذخایر بسیار خوبی از دولومیت است. درصد اکسید منیزیم در این ذخایر ۱۹ الی ۲۲ درصد است. این ذخایر در مناطق سید دره، قلعه میر آخور، زاغه آنوچ و در نواحی بین اسلام آباد تا نهاوند واقع شده‌اند. دولومیت این استان به عنوان آجر نسوز در کارخانه های تولید فولاد آهن به عنوان عایق استفاده می گردد. آنالیز دو نمونه از معدن قشلاق دهفول در جدول(۱-۱۱) آمده است.

**جدول(۱-۱۱): آنالیز شیمیایی دولومیت معدن قشلاق دهفول(درصد)**

| شماره نمونه | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲/۲۳ | ۱/۲۲ | ۱/۲۵ | ۳۰/۹۶ | ۲۰/۵ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ |
| ۲ | ۲/۲ | ۱/۲۲ | ۱/۲۱ | ۳۰/۹۸ | ۲۱ | ۰/۰۶ | ۰/۰۵ |

### ۱-۴-۱۱ استان آذربایجان شرقی

این استان دارای ذخایری از دولومیت در نواحی اطراف مراغه بوده که از آن برای تهیه اکسید منیزیم مورد نیاز کارخانه های استان استفاده می شود.

### ۱-۴-۱۲ استان هرمزگان

درمنطقه حاجی آباد که در ۱٦٥ کیلومتری شمال بندر عباس واقع شده است رگه های خاکستری رنگ دولومیت به صورت متناوب با آهک قرار دارد که در این منطقه ذخیره قابل توجه ای از این ماده معدنی گزارش شده است.

### ۱-۴-۱۳ استان تهران

استان تهران دارای دو معدن فعال دولومیت با تولید سالانه ۲۰ هزار تن می باشد. یکی از آنها به نام دولومیت هویر دماوند است. این معدن در ۲۳ کیلومتری شمال شرق دماوند و در ۲۰ کیلومتری شمال شرق آبادی چنار واقع شده است. ذخیره قطعی این معدن ۱۰۰ هزار تن و میزان استخراج سالیانه ۱۲۰۰۰ تن است که توسط شرکت معادن توابع دماوند مورد بهره برداری قرار می گیرد. آنالیز شیمیایی آن به شرح جدول(۱-۱۲) است.

**جدول(۱-۱۲): نتیجهٔ آنالیز شیمیایی ۲ نمونه از معادن دولومیت استان تهران(برحسب درصد)**

| معدن | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دولومیت تیزاب | ۱/۴۵ | ۰/۵ | ۰/۴۲ | ۳۱/۶ | ۲۰/۲۳ | ۴ | ۵ |
| دولومیت حریر | ۱/۹۶ | ۰/۷ | ۰/۶۴ | ۳۰/۳ | ۲۱/۳ | --- | --- |

### ۱-۴-۱۴ استان لرستان

دراین استان ذخایر بسیاری از دولومیت گزارش شده است ولی فاقد معدن فعال می باشد.

### ۱-۴-۱۵ استان بوشهر

این استان دارای معدن دولومیت مکوه (جم) واقع در ۹ کیلومتری شرق بخش جم می‌باشد. میزان استخراج سالانه آن ٦٧٥٠٠ تن پیش بینی شده است و دارای ذخیره احتمالی ۲۵ میلیون تن می باشد. مطالعه انجام گرفته بر روی نمونه این کانه بیانگر آن است که سنگ فوق در شیشه سازی، تصفیه آب و مصالح ساختمانی قابل استفاده است.

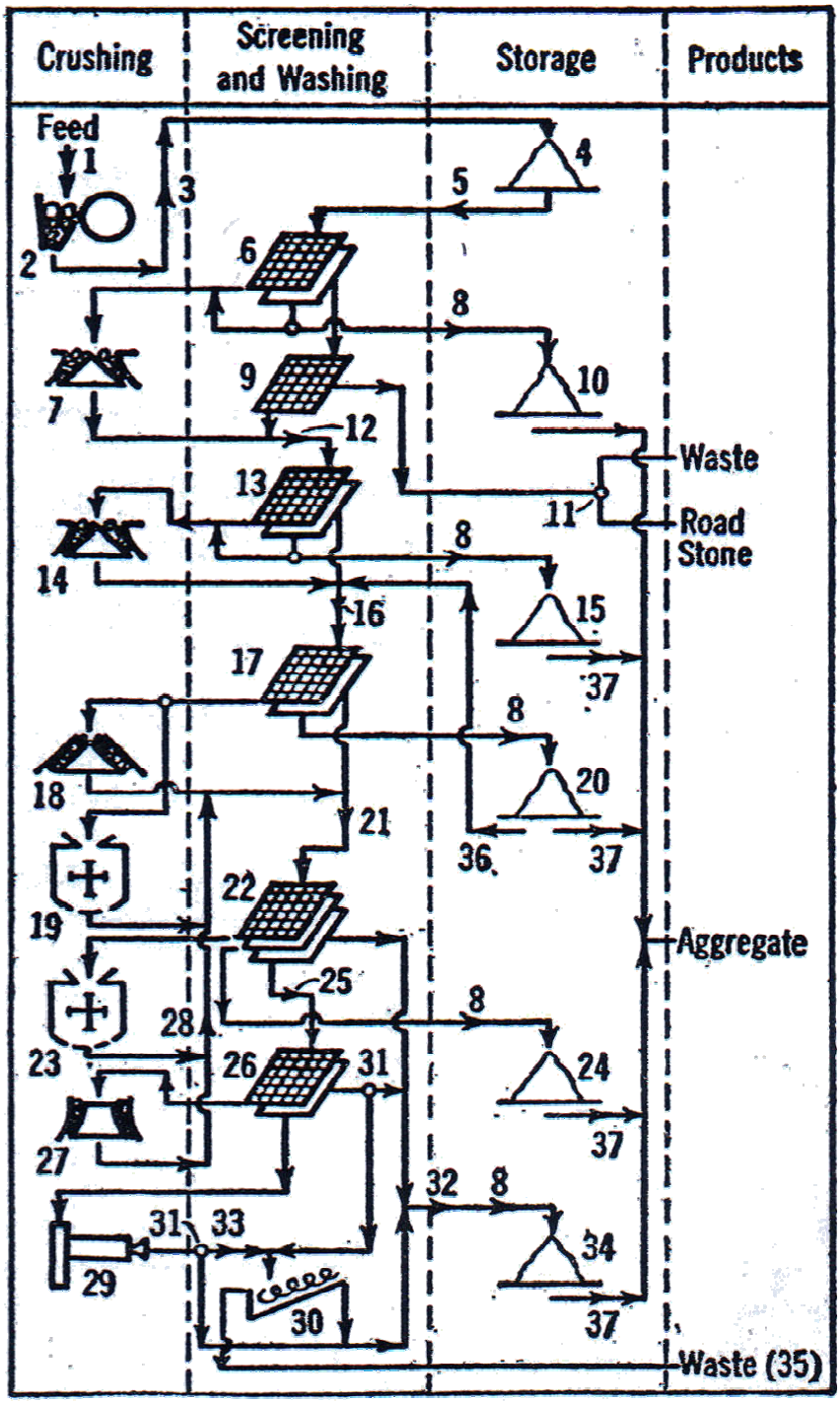
### ۱-۴-۱۶ استان فارس

پتانسیل دولومیتی این استان در منطقه استهبان و آباده شناسایی شده است. با تحقیقات انجام گرفته مشخص شده است که میزان اکسید منیزیم آن ۲۲-۲۰ درصد است و ذخایر این مناطق بسیار قابل توجه است.

## ۱-۵ روشهای متداول فرآوری دولومیت

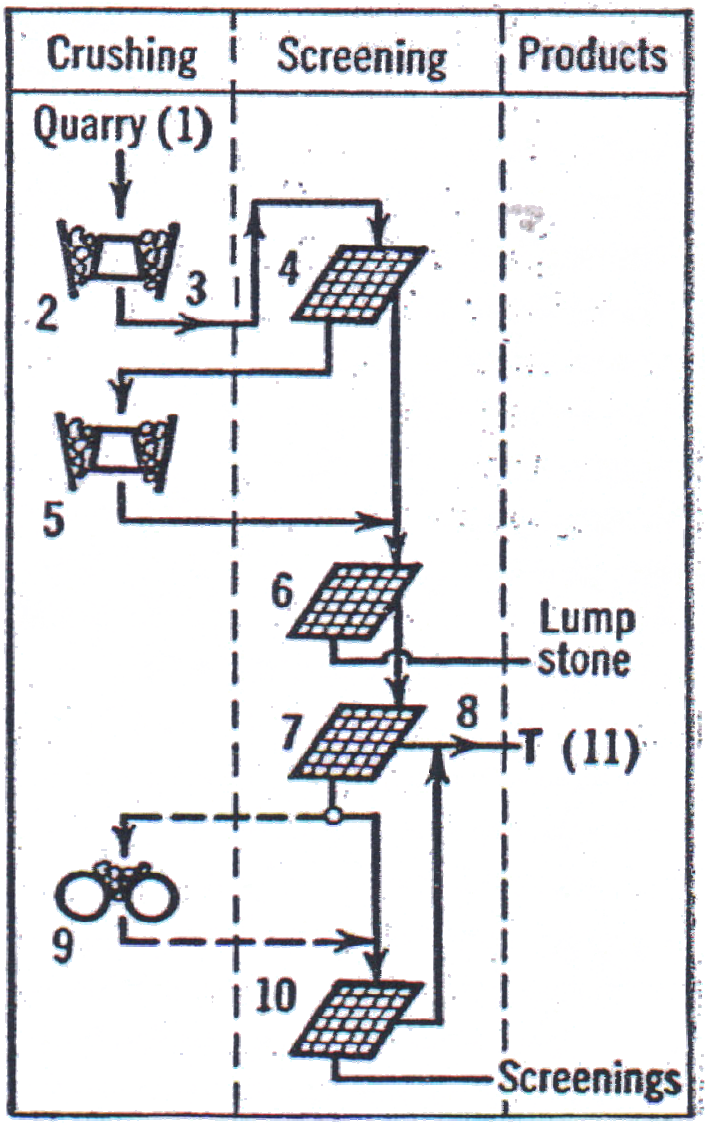
معمولا به علت ملاحظات اقتصادی کاربرد دولومیت با توجه به آنالیز شیمیایی ذخایر تعیین می‌شود و نمی‌توان از روشهای مختلف جدایش برای افزایش عیار و بهبود کیفیت آن استفاده کرد. روش فرآوری دولومیت برای کاربردهای خام آن تنها شامل خردایش، شستشوی ساده و دانه‌بندی برای کاربردهای مختلف است. فلوشیت‌های شکل(۱-۱) و (۱-۲) نمونه‌ای از این مدارهای فرآوری را نشان می‌دهد.

جهت کاربرد متالورژی معمولا از دولومیت کلسینه استفاده می‌شود. کلسیناسیون بسته به کاربرد آن در دمای ۱۰۰۰ یا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد انجام می‌شود. فلوشیت این روش در شکل(۱-۳) به تصویر کشیده شد است.



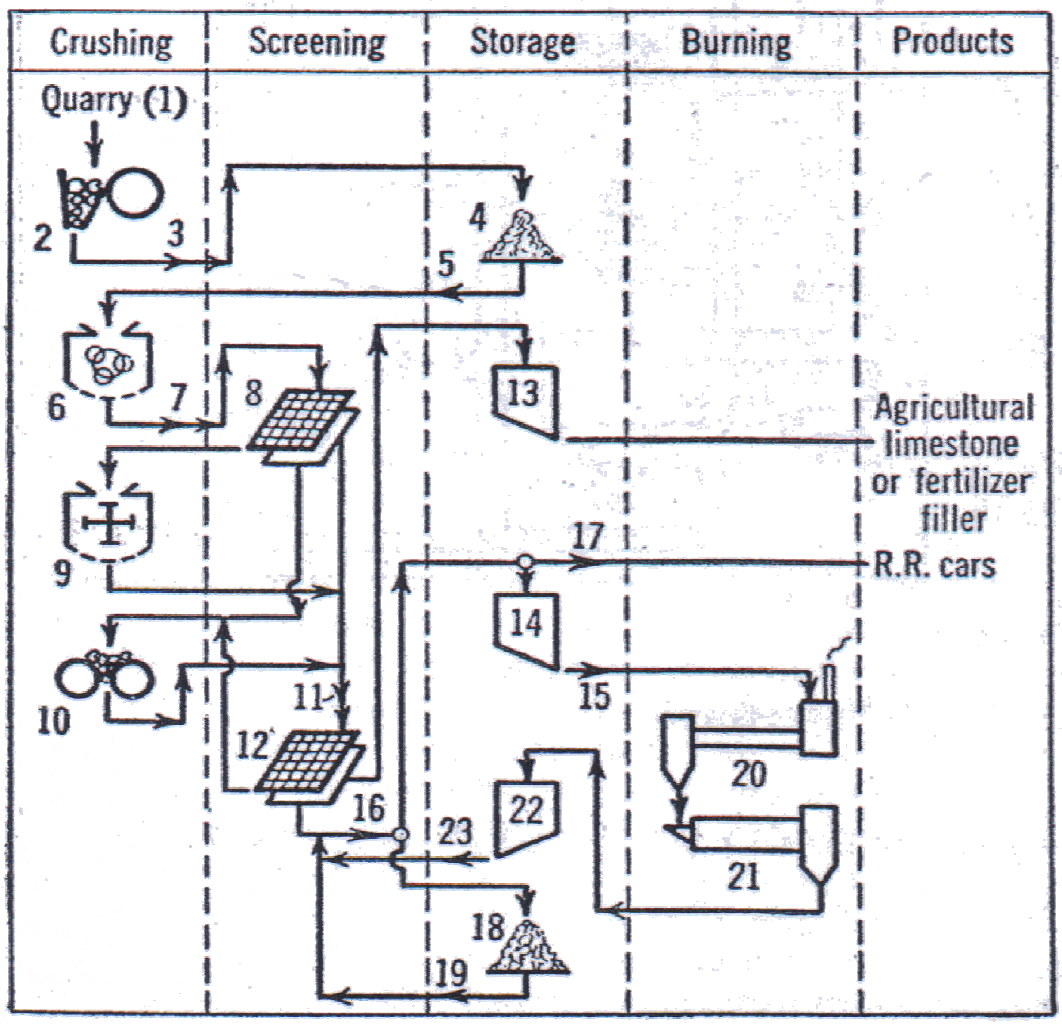

**شکل(۱-۱): فلوشیت فرآوری دولومیت جهت تولید اگرگات**

۱- خوراک
۲- سنگ شکن ژیراتوری
۳- نوار نقاله
٤- استوکپایل
٥- فیدر
٦- سرند لرزان
۷- سنگ شکن مخروطی استاندارد
۸- نقاله استاکر
۹- سرند
۱۰-استوکپایل
۱۱-نوار نقاله
۱۲-نوار نقاله
۱۳-سرند
١٤-سنگ شکن مخروطی استاندارد
۱٥-استوکپایل
١٦-نوار نقاله
١٧-سرند
١٨-سنگ شکن مخروطی سرکوتاه
۱۹-سنگ شکن ضربه‌ای
۲۰-استوکپایل
۲۱-نوار نقاله
۲۲-سرند
۲۳-پودر کن
٢٤-استوکپایل
٢٥-سرند لرزان
٢٦-سرند
۲۷-ژیراتوری نوع R
۲۸-نوار نقاله
۲۹-آسیای میله‌ای
۳۰-شستشو دهنده
۳۱- تقسیم کن
۳۲-نقاله
۳۳- نقاله مارپیچ




**شکل(۱-۲): فلوشیت فرآوری سنگ دولومیت جهت تولید لاشه سنگ**

۱- خوراک معدنکاری شده
۲- سنگ شکن ژیراتوری
۳- نوار نقاله
۴- سرند لرزان
۵- سنگ شکن ژیراتوری
۶- سرند لرزان
۷- سرند لرزان
۸- پمپ شن کش و مخزن آن
۹- سنگ شکن غلتکی
۱۰- سرند لزران
۱۱- باطله

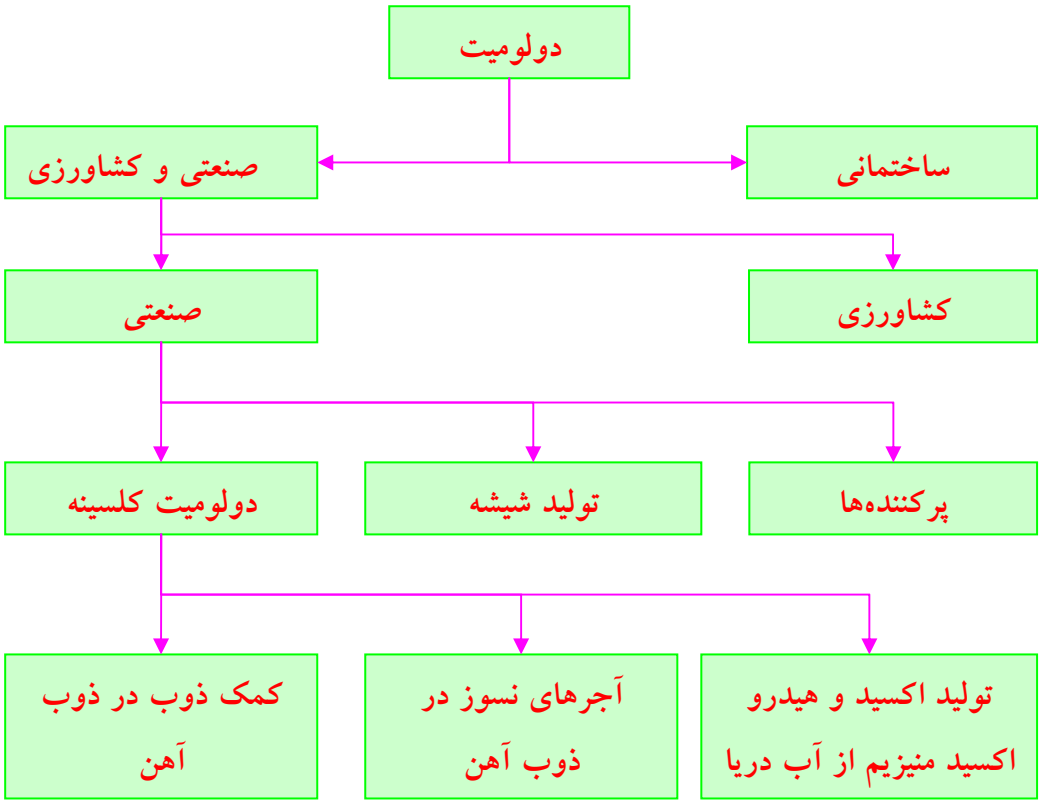



**شکل(۱-۳): فلوشیت فرآوری سنگ دولومیت جهت تولید دولومیت کلسینه**

۱- خوراک معدنکاری شده
۲- سنگ شکن فکی
۳- نوار نقاله
۴- استوکپایل
۵- نوار نقاله
۶- سنگ شکن غلتکی
۷- نوار نقاله
۸- سرند
۹- آسیای چکشی
۱۰- سنگ شکن غلتکی
۱۱- بالابر
۱۲- سرند
۱۳- سیلو
۱۴- سیلو
۱۵- نقاله زنجیری
۱۶- نقاله
۱۷- بارگیر کامیون
۱۸- استوکپایل
۱۹- بالابر باکتی
۲۰- کوره گردان
۲۱- خنک کن گردان
۲۲- سیلو
۲۳- نقاله

## ۱-۶ مصارف عمده دولومیت و مشخصات فنی آن

بطور کلی کاربردهای دولومیت را می‌توان به دو دسته کلی ساختمانی و صنعتی و کشاورزی تقسیم بندی کرد. این تقسیم بندی به تفصیل در شکل(۱-٤) به تصویر کشیده شده است.




**شکل(۱-٤): کاربردهای مختلف دلومیت**

در صنعت ساختمان دولومیت جایگزین مناسبی برای سنگ آهک است. اما کاربردهای مهم آن به علت دارا بودن منیزیم می‌باشد. در کشاورزی جهت اصلاح خاک و بالابردن pH آن در خاکهای اسیدی و همچنین جبران کمبود منیزیم خاک استفاده می‌شود. دولومیت کلسینه در ذوب آهن جهت کمک ذوب و همچنین ساخت آجرهای نسوز در کوره‌های ذوب استفاده می‌شود. این محصول همچنین برای بازیابی منیزیا از آب دریا مورد استفاده قرار می‌گیرد. دولومیت خام در صنعت شیشه برای افزایش پایداری آن

جایگزین بخشی از کربنات کلسیم می‌شود. در صنایع رنگ، لاستیک، پلاستیک و کاغذ در صورت سفید بودن جایگزین مناسب برای کربنات کلسیم می‌باشد.

### ۱-۶-۱ صنایع شیشه

بیشترین مصرف دولومیت ایران در صنعت شیشه سازی است . ناخالصی مهم دولومیت برای شیشه مقدار اکسید آهن میباشد . دولومیت عمدتا در ساخت شیشه های داروئی ، ظروف شیشه ای و بطریها استفاده می شود .آنالیز شیمیائی استاندارد دولومیت مصرفی این صنعت به شرح جدول(۱-۱۳) می باشد. بمنظور مصرف در شیشه مضروف حد نصاب مجاز برای $Fe_2O_3$ ۰/۱ درصد و برای $Cr_2O_3$ ۰/۰۰۱درصد است.

میزان مصرف دولومیت در شیشه جام ٤ درصد و در شیشه مظروف ۱۵ درصد است. جمع مصرف دولومیت درشیشه جام ، مظروف ،حباب و شیشه های صنعتی با تولیدات فعلی ایران ۳۳۸۵۵ تن می باشد.

**جدول(۱-۱۳): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع شیشه**

| MgO | CaO | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | S | کربن آلی | مواد نامحلول در اسید | رطوبت |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| >۲۱/۴ | >۲۹/۵ | ۰/۴ | ۰/۲۵ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۶ | ۰/۱ |

### ۱-۶-۲ صنایع کاشی

پس از صنعت شیشه سازی بیشترین رقم مصرفی دولومیت کشور در صنایع کاشی می‌باشد. آنالیز شیمیایی استاندارد مصرف دولومیت در این صنعت به صورت است. میزان مصرف دولومیت در کاشی ١٤ % است. در حال حاضر میزان تولید کاشی ایران به طور تقریبی ۲۰ میلیون متر مربع است , با توجه به اینکه وزن هر متر مربع کاشی تقریبا ۱۱ کیلو گرم است، پس وزن کاشی تولیدی ۲۲۰ میلیون کیلوگرم

خواهد بود. در کاشی تولیدی فعلی با در نظر گرفتن مصرف ١٤ % دولومیت، میزان مصرف دولومیت در کاشی تولیدی ۳۰۸۰۰ تن خواهد بود.

**جدول(۱-١٤): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع کاشی**

| L.O.I | $Na_2O$ | $K_2O$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | MgO | CaO |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴۱ | ۰/۲ | ۰/۴ | ۰/۴ | ۳ | ۴ | ۲۰–۲۳ | ۳۰–۳۲ |

### ۱-۶-۳ صنایع تولید فر آورده های نسوز

در این صنعت دولومیت جهت ساخت آجرهای نسوز مورد استفاده قرار می‌گیرد.این آجرها جهت مصرف در جداره داخلی نسوز پاتیل ها و کوره های صنایع فولادسازی ، سیمان، ذوب فلـزات و آهـک تولید می شوند.

برای این منظور دولومیت یا سنگ آهک دولومیتی را در کـوره هـا ی مخـصوص تـا ۱۵۰۰ درجـه سانتیگراد حرارت می دهند. این عمل سبب حذف بیشتر دی اکسید کربن می شـود کـه ممکـن اسـت در آهک معمولی باقی بماند. محصول به دست آمده از این عملیات دولومیت گداخته مرده[1]نامیده مـی‌شـود. مشحصات فنی دولومیت مصرفی در این کاربرد به شرح جدول(۱-۱۵) است.

**جدول(۱-۱۵): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در صنایع شیشه**

| Mn | مجموع( $Fe_2O_3 + Al_2O_3 + SiO_2$) | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | CaO | MgO |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۱–۰/۳ | ۳–۲ | ۱/۵ | ۰/۱–۰/۵ | ۰/۲–۰/۸ | ۵۸–۶۲ | ۳۶–۴۱ |

ذوب آهن ایران با تولید سالیانه ۱/۹ میلیون تن فولاد به ازای هر تـن فـولاد تولیـدی ٤/٥ کیلـوگرم آجرهای نسوز دولومیتی مصرف می‌کند . در نتیجه کل مصرف سالیانه آجر نسوز ٨٦٠٠ تن خواهد بود. بـا

[1] - **dead burned dolomite**

در نظر گرفتن اینکه ۹۰ درصد ترکیب آجرهای نسوز از دولومیت باشد مصرف دولومیت در آجرهای فوق ۷۷٤۰ تن خواهد بود.

### ۱-۶-۴ دولومیت به عنوان کمک ذوب

در کوره های ذوب فولاد به دو جهت از دولومیت استفاده می شود:

- **حفاظت از آجرهای نسوز**

فولاد مذاب میل ترکیبی زیادی با منیزیم و کلسیم دارد، بنابراین موجب خوردگی آجرهای نسوز منیزیتی دیواره خواهدشد. برای جلوگیری از این عمل با شارژ آهک و دولومیت را به داخل کوره، مذاب را با Ca و Mg اشباع می‌کنند تا خوردگی دیواره به حداقل برسد.

- **پایین آورن ویسکوزیته سرباره**

هنگام تخلیه مذاب به داخل پاتیل‌ها ، مقداری از سرباره که در قسمت بالا قرار دارد با فولاد مذاب مخلوط و یا مقداری از آن به بیرون پرتاب می شود علت آن ویسکوزیته بالای سرباره و در نتیجه عدم جدایش مناسب آن از مذاب است. .اضافه کردن دولومیت موجب بهبود و کاهش گرانروی سرباره خواهد شد.

عناصر مضر و مواد زائد در دولومیت به منظور مصرف در کوره های ذوب فولاد بیشتر شامل عناصر و اکسیدهای عناصر S ، P ، $SiO_2$، $Al_2O_3$، $K_2O$ و $NaO_2$ می‌باشد.

- **سولفور**

سولفور باعث می شود که فولاد در درجه حرارتهای زیا د شکننده شود. سولفور موجود در سنگ دولومیت باید کمتر از ۰/۰۵ باشد. مقادیر بیشتر از این باعث آلودگی هوا می گردد . در قسمت احیا نیز باعث صدمه زدن به کاتالیستها می شود.

- **فسفر**

فسفر در گندله سازی و احیا اثر منفی دارد و عمده قسمت آن در بخش ذوب بـه صـورت سـرباره جدا می‌شود ولی مقداری از آن در فولاد باقی می‌ماند. فسفر باعث می گردد که فولاد در حال سـرد شـدن خاصیتی شکنندگی پیدا نموده و این را شکنندگی در حالت سرد می‌نامند. میزان $P_2O_5$ در دولومیـت بایـد کمتر از ۰/۰٤ درصد باشد.

- سیلیس **($SiO_2$)**

سیلیس یکی از عناصر مزاحم بوده و موجب مصرف زیاد سوخت و انرژی ، مصرف زیاد آهـک ، خوردگی دیواره کوره ها می شود. هر چقدر میزان آن طبق استاندارد از یک درصد کمتر باشد، موجب کم شدن معضلات فوق است.

- **آلومینیم($Al_2O_3$)**

مقدار مجاز اکسید آلومینیم کمتر از ۰/۰٤ درصد است. از طرفی بـه ازای هـر یـک درصـد آلومینـا معمولا ۲ درصد سیلیس وجود دارد.

- اکسیدهای قلیایی**($K_2O$ و $NaO_2$)**

اکسیدهای قلیایی باعث کم شدن مقاومت مکانیکی در گندله و متورم شدن گندلـه در هنگـام احیـا شدن می شود. حداکثر میزان قابل قبول در هر دو اکسید ۰/۱ درصد است.

### ۱-۶-۵ مصارف دولومیت در گندله سازی

علت مصرف دولومیت در گندله سازی همانند مصرف آن در ذوب به خـاطر اسـتفاده از آجرهـای نسوز منیزیتی می باشد تا آجرهای نسوز دچار خوردگی نگردد. علاوه بر مورد مصرف فوق، طرح جدیدی

توسط کارشناسان فولاد سازی ، برای حذف بنتونیت و جایگزینی دولومیت به جای آن ارائه گردبـده اسـت که موجب افزایش میزان MgO تا ۸ الی ۱۰ درصد شده است.

بنتونیت در گندله سازی برای ایجاد چسبندگی دانه‌های آهنی مورد استفاده قـرار مـی‌گیـرد. ایـن مـاده دارای ۶۰ درصد سیلیس و آلومینیم که از عناصر مضر هستند. با طرح جدید بـا جـایگزینی مقـدار از بنتونیـت بـا دولومیـت ضمن کاهش عناصر مضر میزان مصرف آهک به هنگام ذوب و همچنین میزان مصرف دولومیت به منظور جذب سیلیس و آلومینیم پایین آمده و راندمان کار بالا می‌رود.

### ۱-۶-۶ تولید منیزیا از آب دریا

شورابه حاصل از تبخیر آب دریا حاوی کلرید و سولفات منیزیم است. جهت بازیابی منیزیم از این شورابه از دولومیت کلسینه استفاده می‌شود. شیمی فرآیند به شرح زیر است.

$$MgO.CaO + H_2O \text{ =====> } Mg(OH)_2\downarrow + Ca(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + MgCl2 + MgSO_4 \text{ =====> } 2Mg(OH)_2\downarrow\ CaSO_4\downarrow + CaCl_2$$

هیدرواکسید منیزیم ترسیب یافته جمع‌آوری و کلسینه می‌شود. محصول فرآیند MgO با عیار فنـی لازم برای کاربردهای مختلف است.

جهت مصرف در این صنعت دولومیت کلسینه باید دارای مشخصات جدول(۱-۱۶) باشد.

**جدول(۱-۱۶): مشخصات فنی دولومیت مصرفی در تولید منیزیا از آب دریا**

| $SiO_2$ (٪) | $Fe_2O_3$ (٪) | $Al_2O_3$ (٪) | $CaCO_3$ (٪) | $MgCO_3$ (٪) |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۶ | ۰/۴ | ۰/۵ | ۴۰/۴۱ | ۵۷/۱۰ |

### ۱-۶-۷ تولید فلز منیزیم به روش حرارتی

تولید فلز منیزیم به روش حرارتی فرآیند احیاء متالوترمیک نامیده می‌شود. فرآیند متالوترمیک صنعتی برای تولید منیزیم بر اساس احیاء اکسید منیزیم با فروسیلیکن (FeSi) می باشد. اکسید منیزیم به شکل دولومیت کلسینه(MgO.CaO) و در بعضی از مواقع منیزیت کلسینه غنی از MgO می باشد. واکنش اصلی به صورت زیر است:

$$2CaO(s) + 2MgO(s) + Si(s) \text{ ======> } 2Mg(g) + CaSiO4(s)$$

این واکنش به شدت گرماگیر است($\Delta G$ =۲۱۰ kJ/mol ). در دمای $^{\circ}C$ ۱۸۰۰ فشار بخار آن ۰/۱ مگاپاسکال است. در فرآیندهای صنعتی جهت محدود کردن خوردگی و جلوگیری از واکنشهای جانبی در سیستم های گازی واکنش تحت خلاء و در دمای پائین تر ($^{\circ}C$ ۱۵۰۰-۱۲۰۰) انجام می شود. فرآیند احیاء معمولا به صورت ناپیوسته انجام می شود. طرحهای رتورت مختلفی پیشنهاد شده است. عوامل تعیین کننده انتقال حرارت است و تلاشهایی جهت توسعه فرآیندهای پیوسته انجام شده است. هدف بیشتر کارهای توسعه ای در جهت افزایش ظرفیت رتور ها و بهبود بازیابی فلز بوده است. سه روش اصلی برای محفظه های واکنش به کار رفته است.

- رتورت با گرمایش خارجی و تولید ۷۰ کیلوگرم در روز(فرآیند پیجن[1])
- رتورت با گرمایش داخلی و تولید ۳ تن در روز(فرآیند بولزانو[2])
- رتورت با گرمایش داخلی با سرباره مذاب و تولید ۱۲ تن در روز(فرآیند مگنترم[3])

[1]- Pidgeon

[2]- Bolzano

[3]- Magnetherm

### ۱-٦-۷-۱ فرآیند پیجن

فرآیند پیجن در اوایل ۱۹٤۰ توسط پیجن توسعه یافت و هم اکنون در شرکتهای تیمینکو کانـادا و صنایع یوب ژاپن مورد استفاده قرار می گیرد. در ایـن روش ابتـدا دولومیـت کلـسینه شـده و سـپس بـا فروسیلیکون احیاء می‌گردد و شیمی فرآیند به شرح ذیل می‌باشد:

$$MgCO_3.CaCO_3 \longrightarrow MgO.CaO + 2CO_2$$

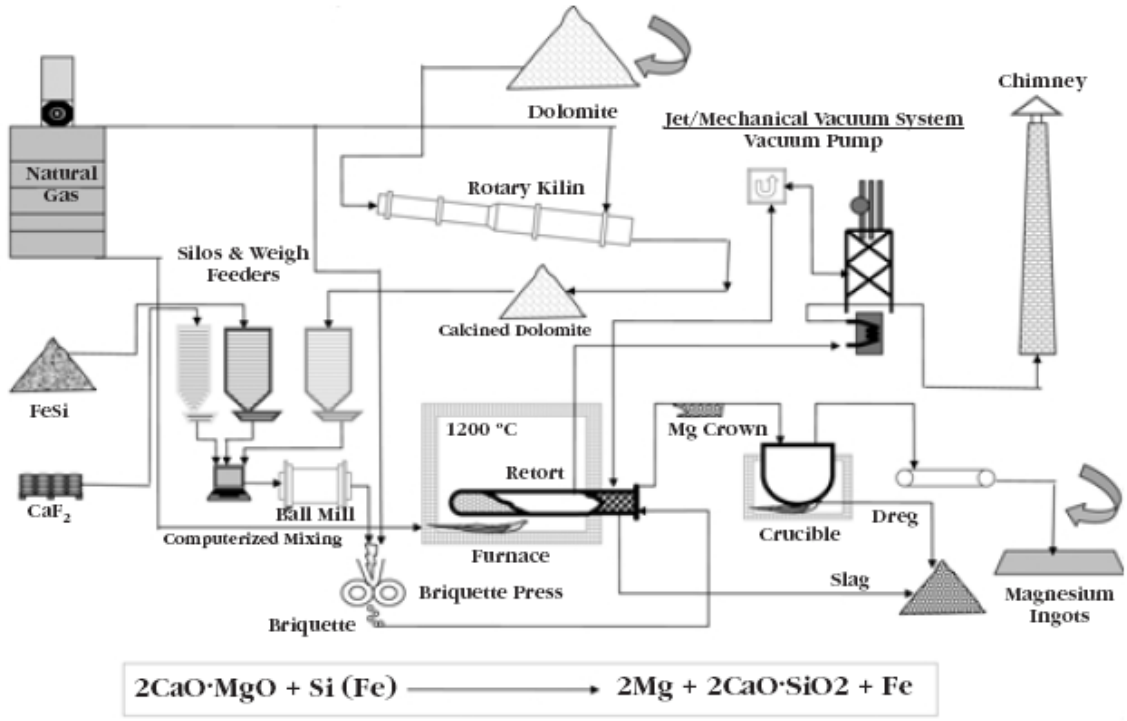
$$2Mg.CaO + FeSi \longrightarrow 2CaO.SiO_2(Fe) + 2Mg$$

فرآیند در داخل رتورت‌های استوانه‌ای به قطر داخلی ۲۵ سانتی‌متر و طول ۳ متر و ضخامت پوسته ۲/۵ سانتیمتر از جنس فولاد نیکل- کرم انجام می‌شود. بانک ۲۴ تایی از این رتورت‌ها به طور افقی در داخل کوره‌های با سوخت نفت –گاز نگهداری می‌شوند، به طوری که ۲/۴۴ متر آن در داخل کوره و۶۱ سانتیمتر آن خارج از کوره قرار می‌گیرد. انتهایی که در داخل کوره قرار می‌گیرد به طور کامل مسدود است اما انتهای دیگر توسط دربی که به طور کامل آب بندی است بسته می‌شود. این قسمت توسط غلاف آبی پوشیده شده به عنوان کندانسور عمل می‌کند. مواد به نسبت ۱:۵ دولومیت کلسینه شده به فروسیلیکون خرد و مخلوط شده و به صورت بریکت در می‌آید. این بریکت‌ها تا دمای ۷۰۰ درجه پیش گرمایش شده و سپس به رتورت خوراک دهی می‌شود. با توجه به ماهیت گرماگیر بودن واکنش این پیش گرمایش باعث انتقال گرمای قابل توجه به رتورت و همچنین باعث پخت و افزایش مقاومت بریکت می‌شود.

نقطه جوش منیزیم ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. با افزایش دمای کوره تا۱۱۵۰ درجه سانتیگراد منیزیم به صورت بخار احیاء شده و به کندانسور انتقال می‌یابد. مکش با فشار ۰/۰۲۵ میلیمتر جیوه باعث تسهیل این عمل می‌شود. با انتقال بخار منیزیم پسماند بریکت پس از ۸ ساعت که در رتورت باز شد، از آن تخلیه می‌شود. این بلورهای منیزیم ذوب شده و ریخته گری می‌شود.

استفاده از دولومیت کلسینه شده در مقایسه با اکسید منیزیم ترجیح داده می‌شود. زیرا در این صورت به جای $MgSiO_2$ ، $CaSiO_2$ تشکیل شده و از افت آن جلوگیری می‌شود. از آلومینیوم می‌توان به جای فروسیلیکون به عنوان عامل احیاءاستفاده کرد. ولی آلومینیوم در مقایسه با فروسیلیکون گران تر است.

عمر رتورت های نیکروم به علت تنش های زیاد حرارتی در حدود ۸ ماه است. ظرفیت هر رتورت ۱۰۹ کیلوگرم شارژ می‌باشد که از این بار طی زمان ماند ۸ ساعت ۱۴/۵ کیلوگرم فلز منیزیم با خلوص ۹۹/۹۸ درصد تولید می‌شود. شکل(۱-۵) نمای کل از روش پیجن برای تولید منیزیم را نشان می‌دهد.




**شکل(۱-۵): فلوشیت کلی تولید منیزیم به روش پیجن**

### ۱-٦-۷-۲ فرآیند بولزانو

فرآیند بولزانو در ایتالیا در شرکت SAIM و شرکت براس ماگ برزیل مورد استفاده قرار می گیرد. در این فرآیند، رتورت استوانه ای با آستر آجری و گرمایش آن داخلی است. شکل(۱-٦) نمایی از این

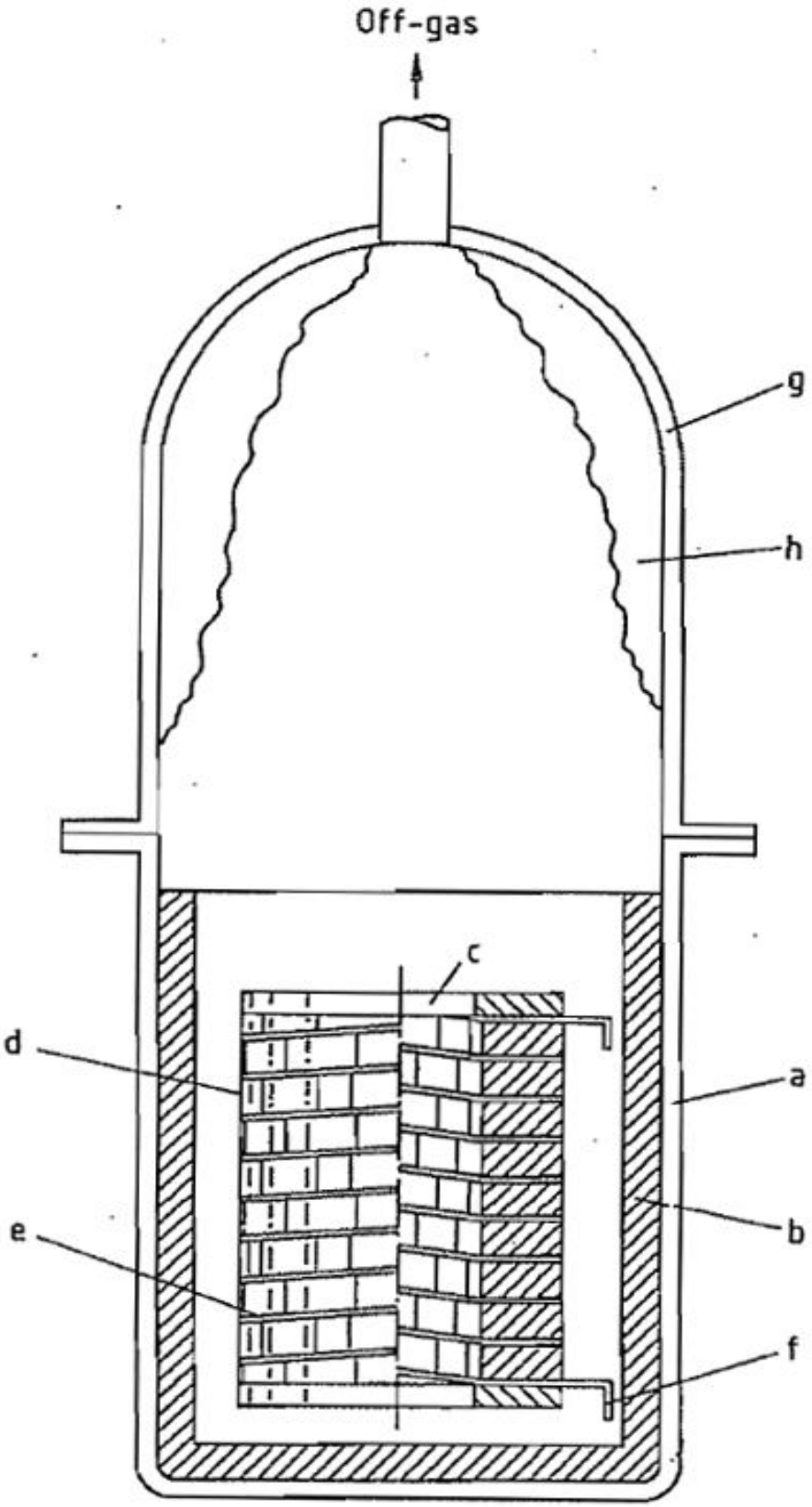
رتورت را نشان می دهد. بار ورودی به رتورت بریکت های دولومیت کلسینه و فروسیلیکن مخلوط است که توسط خط ویژه (d) بر روی سیستم نگهدارنده بار (e) خوراک دهی می شود. گرمایش الکتریکی داخلی (f) از طریق سیستم نگهدارنده بار اعمال می شود. فرآیند در دمای ۱۲۰۰ و فشار کمتر از ٤۰۰ پاسکال انجام می شود. بخار منیزیم در داخل کندانسور در دمای ۵۰۰-٤۰۰ درجه سانتیگراد تقطیر می شود. کندانسور با آب خنک می شود. هر راکتور ظرفیت تولید دو تن منیزیم در هر سیکل ۲٤-۲۰ ساعت را دارد. زمان وقفه در هر سیکل در حدود ۰/۷۵ تا ۰/۵ ساعت است. برای تولید یک تن منیزیم ۷/۳-۷ مگاکیلووات انرژی، ۵/۲-۵ تن دولومیت کلسینه و ۰/۷ تن سیلیکن موجود در ۷۸ درصد فروسیلیکن نیاز هست. ۸۱ درصد سیلیکون مصرفی بازیافت می شود. به ازای هرتن منیزیم تولیدی ۵/۲ – ۵ تن سرباره تولید می شود که قابل فروش برای صنایع پلاستر و آجرهای ساختمانی است. مکانیزه کردن حمل بار و دفع سرباره چالشهای موجود در این فرآیند هستند. خلوص منیزیم تولیدی در این فرآیند۹۹/۹۹-۹۹/۹۸ درصد است.

### ۱-٦-۷-۳ فرآیند مگنترم:

فرآیند مگنترم توسط شرکت پچینی الکترومتالورژی[1]در سال ۱۹٦۳ توسعه یافت و هنوز هم در کارخانه استخراج منیزیم ماریگانس فرانسه مورد استفاده قرار می گیرد. این فرآیند همچنین در حال حاضر توسط شرکتهای آلیاژهای شمال غربی(ایالات متحده آمریکا)، فلزات و مواد شمیایی ژاپن و مگنوهورم (یوگسلاوی پیشین) مورد استفاده قرار می گیرد. کل تولید منیزیم جهانی از این روش ٦۵۰۰ تن در سال است. معادله کلی برای فرآیند به صورت زیر است:

$$2CaOMgO_{(s)} + Al_2O_{3(s)} + FeSi_{(s)} ====> Ca_2SiO_4.(s)\ Al_2O_{3(l)} + Fe_{(l)} + 2Mg_{(g)}$$

[1] - Pechiney Electrometallurgie

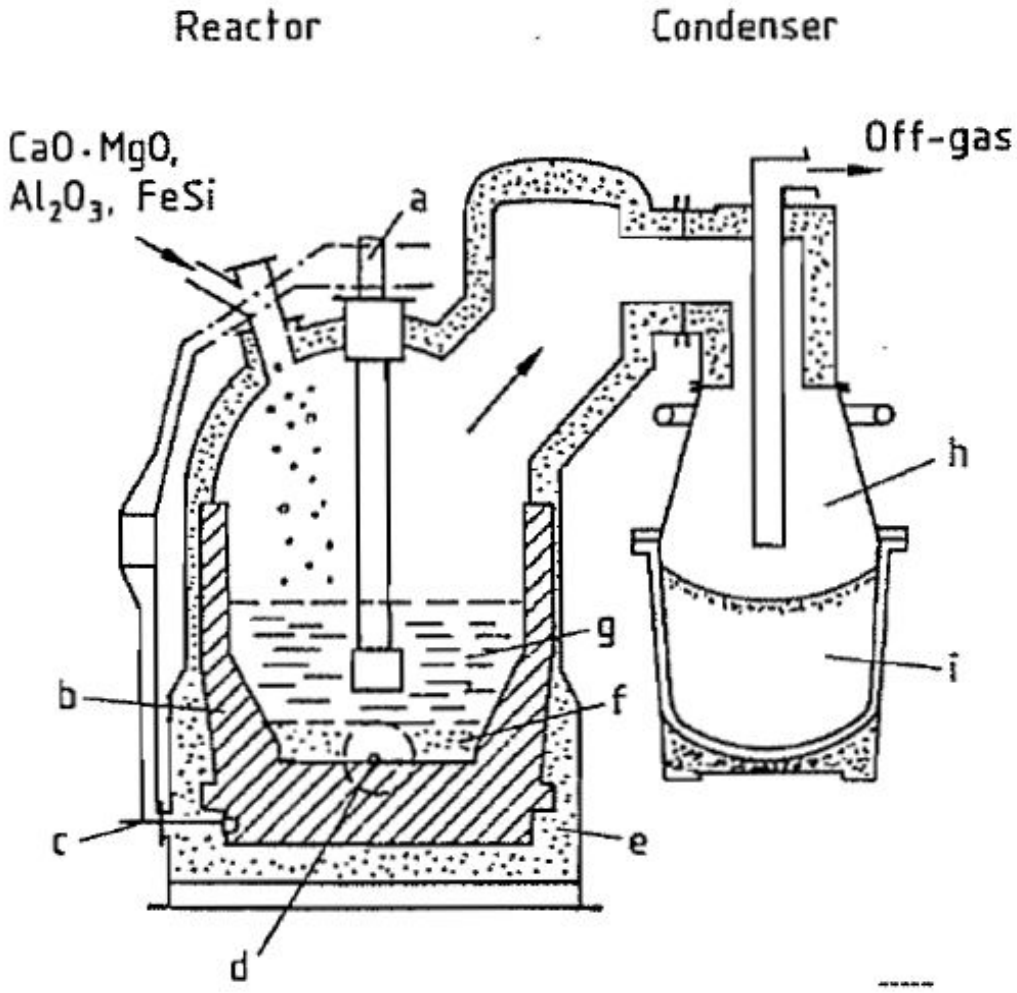



**شکل(۱-٦): رآکتور فرآیند بولزانو**

سرباره دی کلسیم سیلیکات تشکیل یافته در اثر واکنش دولومیت کلسینه با فروسیلیکن(فرآیند پیچن و بولرانو) دارای نقطه ذوب ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد است و در دمای واکنش(۱۲۰۰ درجه سانتیگراد) به صورت جامد است. در فرآیند مگنترم قسمتی از سرباره با ترکیب کلی .2CaO.SiO2.nAl2O3 در دمای ۱۶۰۰-۱۵۵۰ درجه سانتیگراد مذاب است. سرباره حاوی ۵۰ درصد Ca2SiO4 ، ۱۸ درصد Al2O3 ، ۱٤ درصد MgO و ۱۸ درصد CaO است و در یک محفظه فولادی با آستر آجری و کربن با گرمایش الکتریکی نگهداری می شود(شکل(۱-۷)). توان ورودی ٤۵۰۰ کیلووات توسط الکترودهای مسی(a) خنک شونده با آب از بالای سرباره (g) به آستر گرافیتی کف رآکتور(b) اعمال می شود. دولومیت کلسینه و آلومینا درشت دانه با ابعاد ۳۰-۳ میلیمتر به همراه فروسیلیکن با کمترین نرمه از طریق دریچه در سقف کوره توسط خلاء ۰/٦۷- ۰/٤۰ کیلوپاسکال خوراک دهی می شود. سقف کوره توسط آب خنک می شود. بخار منیزیم در سیستم کندانسور جداگانه تقطیر می شود. ناخالصی های عمده فلز تولیدی در ماریگانس فرانسه منگنز ۰/۰٤ درصد، سیلیس ۰/۰۳ درصد، آهن ۰/۰۱ درصد، روی ۰/۰۰۷ درصد و مس ۰/۰۰۵ درصد است.

سرباره تولیدی همگن نبوده و حاوی ٤۰ درصد $Ca_2SiO_4$ جامد است. عمده واکنش گرماگیر نزدیک سطح سرباره رخ می دهد. با حرکت به سمت پائین در سرباره مذاب و افت فشار واکنش کند شده و نهایتا در لایه کف فروسیلیکنی با عیار ۲۰ درصد متوقف می شود. سرباره و این لایه فروسیلیکنی دو بار در هر سیکل ۱۸ ساعتی تخلیه می شوند. در هر سیکل بیش از ۱۰ تن منیزیم تولید می شود. جهت انجام واکنش در فشار اتمسفر پیشنهاد شده است ترکیب سرباره با مقدار بیشتری اکسید منیزیم تنظیم و سطح روی سرباره توسط مشعل های قوسی یا پلاسما تا دمای ۱۹۵۰-۱۹۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده شود. تولید یک تن منیزیم به ۵/۷ تن دولومیت کلسینه، ۰/۷۵ تن بوکسیت، ۰/٦۵ تن سیلیکن موجود در ۷۷ درصد فروسیلیکن(۸۸ درصد Si بازیابی می شود) و کمتر از ۹ مگاوات برق نیاز

دارد. در حدود ٦ تن سرباره به ازای یک تن منیزیم تولید می شـود و قابـل مـصرف در صـنایع سـیمان، ساخت جاده و منبع منیزیم و سیلیس در کشاورزی است. محصول جانبی فروسیلیکن ۲۰ درصـد (۰/۱۵ تن به ازای یک تن منیزیم)در صنایع متالورژی در تولید واسطه های سنگین برای جدایش کانیهـا و گـل حفاری قابل استفاده است. ظرفیت تولید فرآیند به ازای هر نفر سال ۵۰ تن برآورد می شود.




**شکل(۱-۷): رآکتور فرآیند مگنترم**

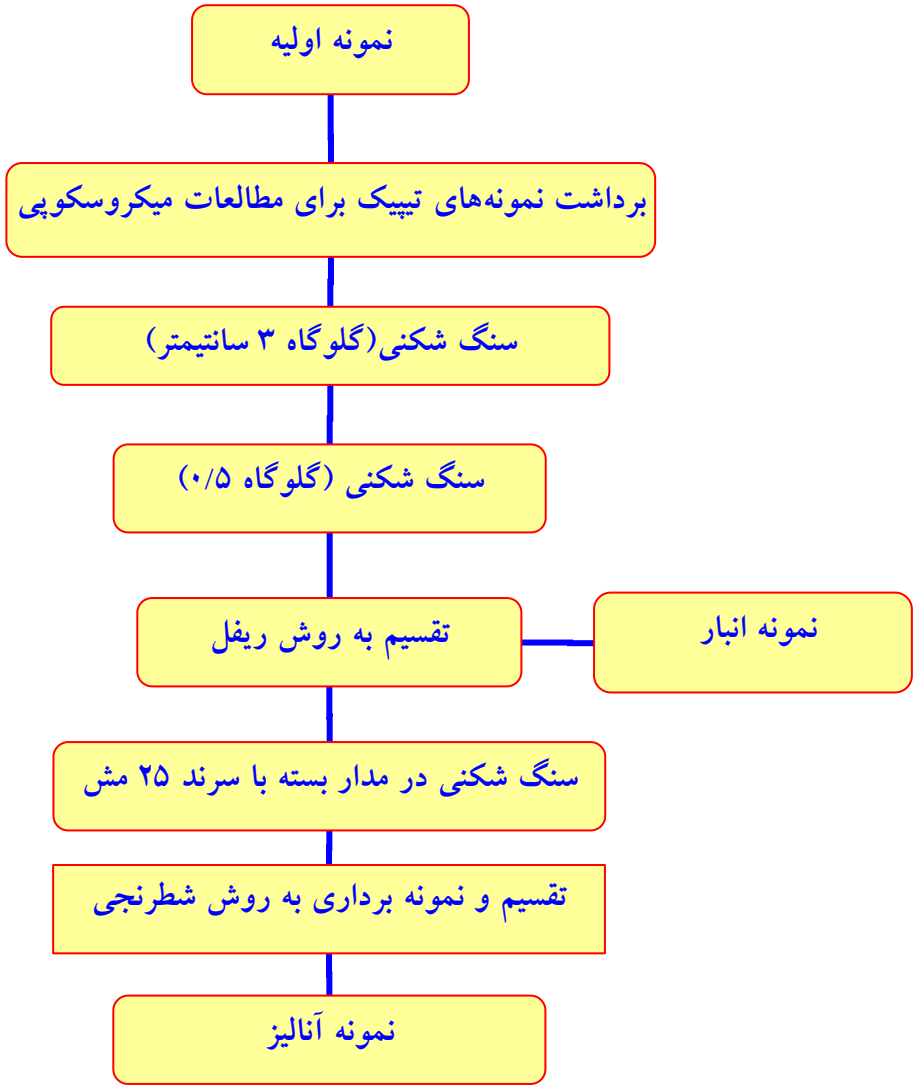
# فصل ۲
# کانسار دولومیت کرمانشاه

## ۲-۱ مقدمه

در اوایل مرداد ماه ۱۳۸۴ طبق مکاتبات انجام شده با صنایع و معادن استان کرمانشاه بازدیدی از برخی از پتانسیل‌های معدنی آن به عمل آمد. یکی از کانسارهایی که توسط کارشناسان صنایع معادن استان مورد توجه و معرفی شد کانسار دولومیت کرمانشاه بوده است. از کانسار فوق نمونه جهت مطالعات مقدماتی برداشته شد. آنچه که در زیر آمده است نتیجه مطالعات این نمونه می‌باشد.

## ۲-۲ آماده سازی نمونه

نمونه برداشت شده از این کانسار در حدود ۵ کیلوگرم بوده است. از این ماده نمونه‌ای تیپیک برای مطالعات مقطع صیقلی و نازک برداشته شد. پس از آن باقیمانده نمونه طبق فلوشیت شکل(۲-۱) آماده سازی و در نهایت از آن نمونه آنالیزی جهت شناسایی نمونه اخذ و جهت آنالیز به آزمایشگاه ارسال شد.




**شکل(۲-۱): فلوشیت آماده سازی نمونه**

## ۲-۳ تجزیه شیمیایی

نتایج تجزیه شیمیایی به روش XRF نمونه دولومیت کرمانشاه در جدول(۲-۱) آمده است. این نتایج نشان می‌دهد که نمونه حاوی ۸٦ درصد دولومیت و ١٤ درصد کلسیت می‌باشد.

## ۲-٤ مطالعه پراش اشعه ایکس (XRD)

نتایج بررسی مطالعه نمونه‌های آهک بلورین و دولومیت آهکی در آزمایشگاه کانی‌شناسی سازمان زمین شناسی نشان می‌دهد که نمونه‌ها حاوی دولومیت و کلسیت است. این مطلب موید نتایج ترکیب شیمیایی نمونه است.

**جدول(۲-۱): جدول ترکیب شیمیایی دولومیت کرمانشاه(XRF)**

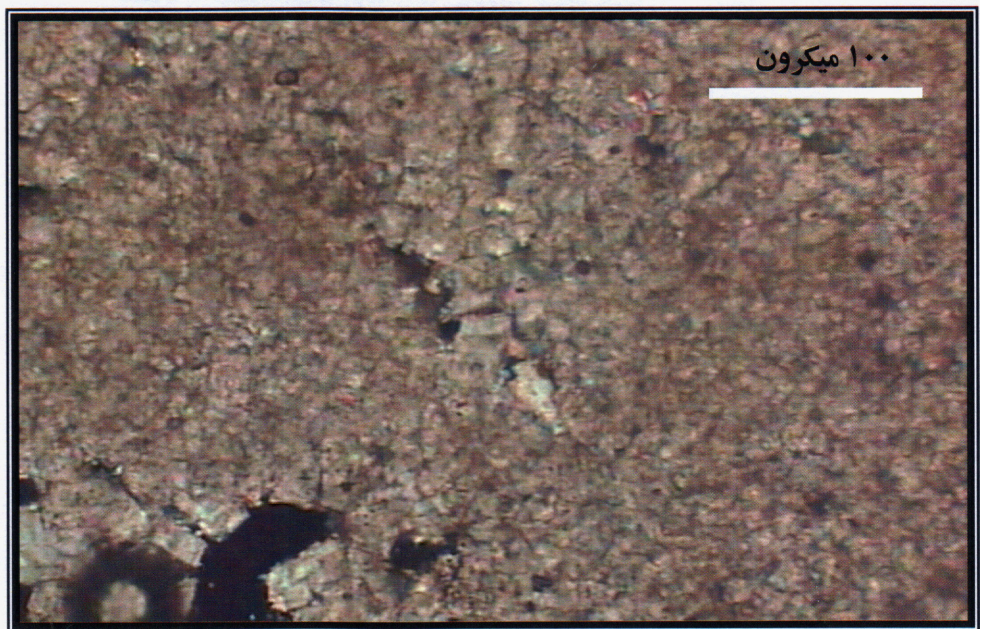
| ردیف | اکسیدها | درصد |
|---|---|---|
| ۱ | $SiO_2$ | ۰/۸۲ |
| ۲ | $Al_2O_3$ | ۰/۲۵ |
| ۳ | $Fe_2O_3$ | ۰/۲۱ |
| ٤ | CaO | ۳۲/۹٦ |
| ٥ | MgO | ۱۸/٦٥ |
| ۷ | MnO | ۰/۰۲ |
| ۱۰ | $SO_3$ | ۰/۰٥ |
| ۱۲ | $K_2O$ | ۰/۰۳ |
| ۱۳ | L.O.I | ٤٦/۸۱ |

## ۲-٥ مطالعات نمونه دستی

مطالعه نمونه دستی و مشاهده بافت و رنگ نمونه‌ها با چشم غیر مسلح نشان می دهد نمونه سنگ دولومیت آهکی (limy dolomite) خاکی رنگ که حباب‌های واکنش آن با اسید بدون استفاده از عدسی ۱۰× براحتی قابل رویت نمی‌باشد. همچنین ته رنگ ضعیف بنفش سطح برش صیقل داده شده این نمونه در واکنش با محلول استاندارد آلیزارین پس از ٤٥ ثانیه ، آنرا را از نمونه کلسیتی متمایز می‌کند.

## ۲-٦ مطالعه میکروسکوپی

بررسی میکروسکوپی و تلفیق آن با نتایج تجزیه شیمیایی و استفاده از محلول رنگ آمیزی آلیزارین نشان می‌دهد نمونه دولومیت آهکی شامل بلورهای ریز دولومیت در ابعاد ۳۰-۱۵ میکرون (عکس شکل(۲-۲)) در معیت مقدار بسیار کم کربنات بسیار ریز (در حد رس) به رنگ قهوه‌ای است. نتایج شیمیایی(جدول(۲-۱) وجود حداقل ١٤ درصد کلسیت در این نمونه را نشان می‌دهد که به همین دلیل تحت تاثیر آزمایش رنگ آمیز با محلول آلیزارین ته رنگ ضعیف بنفش می‌گردد بعلاوه با اسید نیز تا حدودی می‌جوشد.

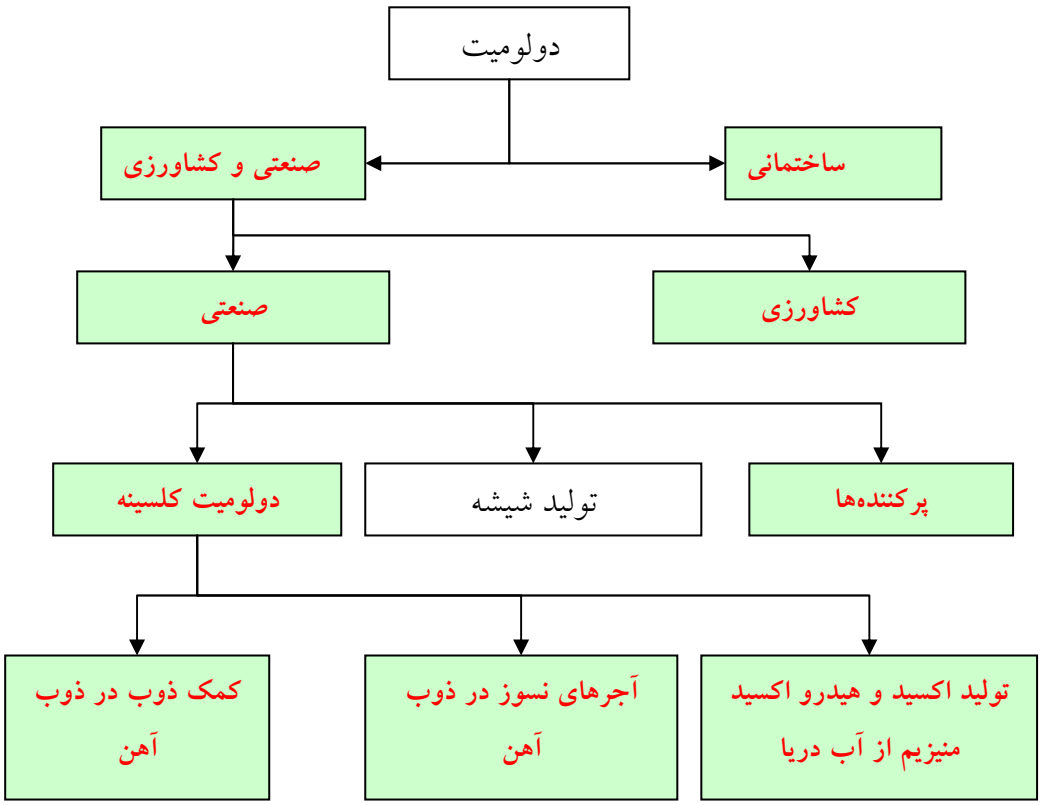



**شکل(۲-۲): عکس بلورهای ریز دولومیت (۱۵ تا ۳۰ میکرون) در معیت مقادیری میکریت در نمونه دولومیت آهکی کرمانشاه در نیکول‌های عمود بر هم (cross polarized).**

## ۲-۷ پیش بینی کاربردهای دولومیت کرمانشاه

همانطور که قبلا نیز اشاره شد کاربرد دولومیت در صنعت را خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن مشخص می‌کند و صنایع مختلف برای این منظور استانداردهای مختلفی را دارا می‌باشند که به بعضی از انها در فصل قبل اشاره شد.

با توجه به آنالیز شیمیایی نمونه دولومیت کرمانشاه و طبق استانداردهای موجود دنیا دولومیت کرمانشاه قابلیت کاربرد در مواردی که در نمودار شکل(۲-۳) با زمینه رنگی مشخص شده است را دارا می‌باشد.




**شکل(۲-۳): نمودار کاربردهای دولومیت کرمانشاه**

## ۲-۸ نتیجه گیری و پیشنهادات

طبق بازدید به عمل آمده و نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نتیجه‌گیری و پیشنهادات زیر ارائه می‌شود:

۱- در اوایل مرداد ماه ۱۳۸۴ طی یک بازدید مقدماتی از اندیسهای معدنی، نمونه‌ای از دولومیت ذکر شده توسط کارشناس سازمان صنایع و معادن استان کرمانشاه در اختیار اینجانب قرار گرفت.

۲- پس از انجام مطالعات میکروسکوپی و تجزیه شیمیایی معلوم شد که سنگ مورد نظر سنگ آهک دولومیتی با حداقل ۱۴ درصد کلسیت و ۱۸/۶۵ درصد منیزیا می‌باشد.

۳- با توجه به این آنالیز، پیش بینی می شود دولومیت کرمانشاه قابلیت کاربرد در صنایع ذکر شده در متن گزارش را داشته باشد.

۴- از آن زمان تاکنون هیچ گونه اطلاعات بیشتر راجع به این کانسار بدست نیامده است و هیچ گونه کار جدیدی توسط این سازمان بر روی این نمونه انجام نگرفته است.

۵- طبق مطالعات و جمع‌آوری اطلاعات جدید مشخص شده است که در حال حاضر به علت ملاحظات اقتصادی و در دسترس بودن منابع عظیم منیزیت در دنیا به خصوص واردات از چین تولید منیزیا مستقیما از دولومیت قابل رقابت در بازار امروزی نبوده و تمام مطالعات انجام شده در این مورد در مقیاس آزمایشگاهی بوده است. بنابراین مطالعه و بررسی در این مورد پیشنهاد نمی‌شود.

۶- از دولومیت می‌توان برای استحصال منیزیم به روش متالوترمیک استفاده کرد. روشهای موجود برای این منظور در فصل قبلی آمده است. برای تولید منیزیم از دولومیت عیار سنگ دولومیت باید بالا(در حدود ۹۹ درصد ) باشد. عیار دولومیت کرمانشاه طبق مطالعات اولیه پائین می‌باشد، اما در صورت اصرار بر انجام مطالعات در این زمینه پیشنهاد می‌شود سازمان صنایع ومعادن استان کرمانشاه با هماهنگی ***سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران*** استحصال منیزیم از دولومیت مورد نظر را مورد مطالعه قرار دهد.

# فهرست منابع

[1] - Fathi Habashi ,” HandBook of Extractive Metallurgy” , (1997), vol.2,Wiley-VCH..

[2] British Geological Survey, 2005, Mineral Planing Factsheet, Dolomite.

[3] Taggart A. F. , 1945, Hand Book of Mineral Dressing, vol 1, dolomite, pp 3-23:3-25.

[4] Deer F.R.S W. A., and et al , 1991, An Introduction to the Rock Forming Minerals, pp 489-493

[۵] پایگاه ملی داده‌های علوم زمین، گزارشات فراوری مواد معدنی، دولومیت

[۶] وزارت صنایع و معادن ، ۱۳۸۵، استراتژی معدن، طرح جامع دولومیت