

بسم الله الرحمن الرحيم

کانی‌ها و سنگ‌های

صنعتی

(جلد اوّل)

دکتر علی اکبر رحمانی

عضو هیئت علمی دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

تعریف عامیانه، کانی را به صورت جسمی در نظر می‌گیرد که به طور طبیعی در دمای اطاق جامد و پایدار است، با فرمول شیمیایی نشان داده می‌شود، معمولاً نازیبست‌زاد و دارای ساختار منظم می‌باشد. وجه تمایز کانی و سنگ این است که سنگ، انبوهه‌ای از کانیها یا ناکانیهای می‌باشد که ترکیب شیمیایی یا ساختار بلوری مشخصی ندارد، با این که کانی نازیبست‌زاد و دارای ساختار اتمی منظمی می‌باشد ولی تعاریف گوناگونی از آن، با توجه به نوع کاربرد و نگرش، رایج شده که به بعضی از آنها به اختصار پرداخته می‌شود.

(۱) تعریف مربوط به علوم زمین (زمین‌شناسی) از کانی: "عنصر یا ترکیب معدنی که به طور طبیعی به وقوع می‌پیوندد و دارای ساختار درونی منظم و ترکیب شیمیایی، شکل بلوری و خواص فیزیکی ویژه‌ای می‌باشد." (۲) تعریف رسمی: هرگونه جسم خنثای بالارزشی یا بدون حیات که در موقعیت فعلی خود فقط از طریق عوامل طبیعی، نهشته یا تشکیل شده و در درون یا بالای خاک زمین یا در سنگهای زیر خاک به دست می‌آیند. آب نیز ممکن است در این تعریف شامل شود. (۳) تعریف دولت فدرال آمریکا از کانی: تمام کانیها و سوخته‌های معدنی، شامل بعضی از اجسام از قبیل نفت و گاز طبیعی. البته چون در تعریف مربوط به علوم زمین، نفت و گاز طبیعی به عنوان کانی در نظر گرفته نمی‌شوند، این تعریف ممکن است با مشکل مواجه گردد. (۴) تعریف اقتصادی از کانی: وقتی اقتصاددانان، مهندسان و دانشمندان از کلمه‌ی "کانی" در مفهوم اقتصادی استفاده می‌کنند، عموماً اصطلاحات "کانیهای صنعتی" یا "منابع معدنی" را به کار می‌برند. "منابع معدنی" به وقوع هر کالای معدنی اطلاق می‌گردد که می‌تواند از زمین استخراج شود و تحت سه عنوان کانیهای سوختی، فلزی و صنعتی یا ساختمانی، قرار داده می‌شوند. اصطلاح "کانیهای سوختی" به گاز طبیعی و نفت اطلاق می‌گردد، در نتیجه، در تعریف دولت فدرال گنجانده می‌شود ولی در زمره‌ی تعریف علوم مربوط به زمین قرار نمی‌گیرد. عبارت "کانیهای فلزی" (برای مثال، کانه آهن، مس)، تقریباً همیشه به کانیهای اطلاق می‌گردد که به طور زمین‌شناختی تعریف می‌شوند. اصطلاح "کانیهای صنعتی" ممکن است شامل کانیهایی شود که به طور زمین‌شناختی تعریف می‌گردند ولی اغلب، شامل سنگها (برای مثال، سنگ آهک) و رسوبات (برای مثال، ماسه و رسها) می‌باشد که به طور زمین‌شناختی تعریف می‌شوند. (۵) تعریف زیست‌شناختی - پزشکی از کانی: در این مفهوم، کلمه‌ی "کانی" برای توضیح مواد غذایی که به طور طبیعی رخ می‌دهند، به کار می‌رود و عناصر و ترکیبهای معدنی، از قبیل آهن، پتاسیم و کلسیم را دربرمی‌گیرد. مواد غذایی شامل سنگها یا سوخته‌های سنگو، ای نمی‌شوند، اگرچه کانیهایی که در ویتامین‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است از سنگها و سوخته‌های سنگواره‌ای به دست آیند. تعریف سلامت از علوم مربوط به زمین، چون عناصر آزاد، از قبیل کلسیم، را شامل می‌نماید، هنوز تفاوت

جزیی دارند. مثلاً در زمین‌شناسی (و علوم دیگر)، کلسیم، عنصری در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند با یک جامد ساختار بلوری مشخص، از قبیل کلسیت، که طبق تعریف مربوط به علوم زمین، کانی در نظر گرفته می‌شود، ترکیب گردد.

مطالعه‌ی کانیها، کانی‌شناسی نامیده می‌شود. بیش از ۴۹۰۰ گونه کانی‌های شناخته شده، وجود دارند که حدود ۴۶۶۰ کانی توسط انجمن کانی‌شناختی بین‌المللی مورد تأیید قرار گرفته است. کانیهای سیلیکاته بیش از ۹۰٪ پوسته‌ی زمین را تشکیل می‌دهند. گوناگونی و فراوانی گونه‌های کانیها، به وسیله‌ی شیمی زمین کنترل می‌شود. سیلیسیم و اکسیژن تقریباً ۷۵٪ پوسته‌ی زمین را تشکیل می‌دهند که مستقیماً به کانیهای سیلیکاته منتقل می‌گردند. کانیها، به وسیله‌ی خواص شیمیایی و فیزیکی متفاوت تشخیص داده می‌شوند. اختلافها در ترکیب شیمیایی و ساختار بلوری، گونه‌های مختلف را از یکدیگر متمایز می‌کنند و این خواص به نوبه‌ی توسط محیط زیست‌شناختی سازند کانی، تأثیرپذیر می‌شوند، تغییرات دما، فشار و ترکیب کلی توده‌ی سنگ، باعث تغییرات در کانی‌شناسی آن می‌گردد. به هر حال، سنگ می‌تواند ترکیب کلی خود را حفظ کند ولی با تغییر دما و فشار، کانی‌شناسی آن نیز تغییر می‌کند.

کانیها، به وسیله‌ی خواص فیزیکی مختلف مربوط به ساختار و ترکیب آنها، توضیح داده می‌شوند. ویژگیهای متمایزکننده‌ی رایج، شامل ساختار و نمود (بلور)، سختی، جلا، نورگذری، رنگ، رنگ خاکه، سفتی، رخ، شکست، جدایش‌دگی و گرانی ویژه می‌شوند. آزمایش‌های ویژه برای کانیها از قبیل واکنش با اسید، مغناطیسی، مژه یا بو و پرتوزایی موجود می‌باشند.

کانیها به وسیله‌ی اجزای تشکیل‌دهنده‌ی شیمیایی طبقه‌بندی می‌گردند. دو سامانه‌ی غالب، عبارتند از: طبقه‌بندی دانا (Dana) و طبقه‌بندی استرانز (Strunz) طبقه‌ی سیلیکات کانیها، به وسیله‌ی درجه‌ی بسپارش در ساختار شیمیایی، به شش طبقه‌ی فرعی تقسیم می‌شود. تمام کانیهای سیلیکاته دارای واحد پایه‌ی چهاروجهی‌های $[SiO_4]$ (یعنی کاتیون سیلیسیم که با چهار آنیون اکسیژن هم‌ارزیده شده و شکل چهاروجهی را به وجود می‌آورد) می‌باشند. این چهاروجهی‌ها می‌تواند بسپاریده شوند و طبقات فرعی را به وجود می‌آورند: اورتوسیلیکاتها (سیلیکات‌های اورتورومبیک) (بدون بسپارش، در نتیجه چهاروجهی‌های تکی)؛ سیلیکات‌های دوتایی (دو چهاروجهی متصل شده به هم)، سیلیکات‌های حلقوی (حلقه‌های چهاروجهی)، سیلیکات‌های زنجیری (زنجیرهای چهاروجهی‌ها)، سیلیکات‌های صفحه‌ای (ورقه‌های چهاروجهی‌ها) و سیلیکات‌های داریستی (شبکه‌ی سه‌بعدی چهاروجهی‌ها). گروه‌های کانیهای مهم دیگر، شامل عناصر خالص، سولفیدها، اکسیدها، هالیدها، کربناتها، سولفات‌ها و فسفات‌ها می‌شوند.

کانی صنعتی، به هر کانی یا سنگ با ارزش اقتصادی، به استثنای کانه‌های فلزی، سوخته‌های معدنی و سنگهای جواهری، اطلاق می‌گردد. کانیهای صنعتی، ممکن است در سنگهای آذرین، دگرگونی و رسوبی وجود داشته باشند.

کانیهای صنعتی، که از فرایندهای آذرین تشکیل می‌شوند. شامل بسیاری از کانیهای پگماتیتی، از

قبیل مسکوویت، فلدسپارها، اسپودومن، تورمالین و بریل و همچنین خود سنگهای آذرین می‌شوند. مورد آخر، شامل گرانیت، دیوریت و گابرو می‌شود که به علت دوام و زیبایی، ارزشمند می‌باشند.

کانیهای صنعتی که در نتیجه‌ی دگرگونی تشکیل می‌شوند، شامل سنگهای لوح و مرمر و همچنین کانیهای آزیست، ولاستونیت، گارنت و تالک، می‌باشند.

کانیهای صنعتی، در سنگهای رسوبی دریایی (سنگ آهک، دولومیت، نمک، ژپس) و غیردریایی (ماسه و شن در نهشت‌های رودخانه‌ای) نیز به وقوع می‌پیوندند.

کانیهای صنعتی به دو دسته تقسیم می‌شوند: (۱) کودها و کانیهای شیمیایی که برای رشد مواد غذایی (عموماً پتاسیم، نیتروژن، فسفر) و در بسیاری از کاربردهای شیمیایی (برای مثال، نمک، گوگرد، بور، خاکستر قلیا)، اساسی می‌باشند. (۲) کانیهای ساختمان‌سازی و تولید: کانیها و سنگهایی هستند که در زیر ساختار، عمدتاً در جاده‌ها و ساختمانها، به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد.

برخلاف بسیاری از فلزات، که می‌توانند به طور سودمندی بازیافت شوند، مقدار اندکی از کانیهای صنعتی، به جز شیشه که از ماسه‌ی سیلیسی تشکیل می‌شود. قابل بازیافت هستند. بعضی از مواد ساخته شده از کانیهای صنعتی مانند بتن، که در آن ماسه، شن، سنگ آهک یا گچ، مارل و ژپس، اجزای اصلی می‌باشند، می‌توانند بازیافت شوند و برای اهداف دیگر مورد استفاده قرار گیرد. ساختمانهای بتنی تخریب شده به طور رایج به عنوان پرکننده، در پروژه‌های ساختمان‌سازی دیگر، مجدداً قابل استفاده هستند. در مواردی الماس صنعتی از مته‌های حفاری و ابزار برش بازیافت می‌شود ولی تحقیقات پیوسته‌ای برای جایگزینی ذخایر به اتمام رسیده‌ی کانیهای صنعتی در حال وقوع است. تولیدکنندگان کانیهای صنعتی با دو مشکل مواجه هستند: (۱) تناژ بالا توسط مصرف‌کنندگان (۲) قیمت پایین در هر واحد کالای تولید شده.

کتاب پیش‌رو، حاوی ۱۰۰ فصل و در دو بخش تنظیم شده است. بخش اول به معرفی کانیها تخصیص یافته است. در این بخش تلاش شده توضیحات لازم درباره‌ی کانیهای مهم در دسترس علاقمندان قرار داده شود. بخش دوم، کاربرد کانیها را در ساختن کالاهای گوناگون توضیح می‌دهد.

از تمام کسانی که در به ثمر رسیدن این کتاب مریاری نمودند، به ویژه همسر واقعاً فداکارم که ویراستاری ادبی بخشهای عمده‌ی کتاب را عهده‌دار شدند، سرکار خانم، زینب ابراهیمی، که بعضی از فصول را با ذکاوت خاصی ویراستاری فرمودند، سرکار خانم نسرین مجابی و سرکار خانم اکرم شالی که تایپ و صفحه‌آرایی کتاب را قبول زحمت فرمودند، کمال تشکر را دارم.

بدون شک، کمبودهایی هنوز وجود دارند. از خوانندگان عزیز درخواست می‌کنم کمبودها را متذکر شوند تا در چاپهای بعدی مرتفع گردد.

این کتاب با حمایت معنوی و مالی سازمان بسیج اساتید به چاپ رسیده است، که جای بسی تشکر دارد

الحمدالله رب العالمین

آبان ۱۳۹۲

بخش ۱. مقدمه و مرور مختصر
فصل ۱. ویژگی‌های بخش کانی‌های صنعتی

۱-۱. مقدمه	۲
۱-۲. تعریف کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی	۲
۱-۳. تاریخچه	۳
۱-۴. دامنه	۳
۱-۵. محصولات و مشخصات آن‌ها	۵
۱-۶. اقتصاد	۶
۱-۷. مواد مصنوعی و جایگزین	۶
۱-۸. چالش‌های زیست‌محیطی	۷
۱-۹. روندهای آتی	۸
۱-۱۰. منابع	۸

فصل ۲. طبقه‌بندی کانی‌ها و سنگ‌های صنعتی

۱-۱. مقدمه	۹
۲-۲. روش‌های طبقه‌بندی	۹
۲-۲-۱. طبقه‌بندی برزیلی	۹
۲-۲-۲. مدل‌های تکتونیکی	۱۰
۲-۲-۳. خواص مهم	۱۱
۲-۲-۴. طبقه‌بندی براساس کاربرد نهایی	۱۱
۲-۳. محدودیت‌های این روش‌ها	۱۲
۲-۴. منابع	۱۲

فصل ۳. توزیع جهانی ذخایر کانی‌های صنعتی

۱-۱. مقدمه	۱۳
۲-۳. توزیع طبیعی	۱۳
۳-۳. الگوهای تولید	۱۵
۳-۴. کانی‌های نفوذی آذرین	۱۶
۳-۵. ذخایری که به طور سطحی دگرگون شده‌اند	۱۹
۳-۶. نفوذی آتش‌فشانی	۲۰
۳-۶. ذخایر رسوبی	۲۰
۳-۷. زیست‌زاد	۲۱
۳-۸. کانی‌های شیمیایی (تبخیری سنگ)	۲۲
منابع	۲۷

فصل ۴. ساینده‌ها

۲۹	۱-۴. مقدمه
۲۹	۲-۴. ملاحظات کلی
۳۰	۱-۲-۴. مقدار ساینده
۳۳	۳-۴. انواع محصولات ساینده
۳۳	۱-۳-۴. دانه‌های ساینده‌ی سست
۳۴	۲-۳-۴. ساینده‌های پیوندی (چسبی)
۳۶	۳-۳-۴. ساینده‌های پوشش‌دار
۳۸	۴-۳-۴. دانه‌ها و پودرها برای صابون‌ها، تمیزکننده‌ها و صیقل‌دهنده‌ها
۳۹	۴-۴. طبقه‌بندی
۳۹	۱-۴-۴. ساینده‌های طبیعی
۳۹	۲-۴-۴. کروندوم و سنباده
۴۰	۳-۴-۴. الماس‌های صنعتی
۴۲	۴-۴. گارنت
۴۶	۵-۴-۴. استارولیت
۴۶	۶-۴-۴. سیلیس
۴۸	۷-۴-۴. ساینده‌های نرم دیگر
۴۸	۸-۴-۴. سنگ سیلیس ویژه
۴۹	۹-۴-۴. ریگ‌های سایا و آسترهای آسیاهای لوله‌ای
۵۰	۱۰-۴-۴. ساینده‌های ساخته شده (مصنوعی)
۵۰	۱۱-۴-۴. ساینده‌های کوره‌ی الکتریکی
۵۲	۱۲-۴-۴. ساینده‌ی کلوخه‌ای
۵۲	۱۳-۴-۴. ساینده‌های سُل - ژل
۵۳	۱۴-۴-۴. الماس مصنوعی
۵۴	۱۵-۴-۴. نیتريد بور
۵۴	۱۶-۴-۴. ساینده‌های فلزی
۵۵	۱۷-۴-۴. رسوبات شیمیایی
۵۵	۱۸-۴-۴. اکسیدهای کلسیم و منیزیم (آهک)
۵۶	۱۹-۴-۴. ساینده‌های مصنوعی گوناگون
۵۶	۲۰-۴-۴. سلامت
۵۶	۲۱-۴-۴. روندها و فرصت‌ها
۵۷	۵-۴. منابع

فصل ۵. مصالح دانه‌ای: شن و ماسه‌ی ساختمانی

۵۸	۱-۵. مقدمه
۵۸	۱-۱-۵. تعاریف
۵۹	۲-۵. منشأ زمین‌شناختی و روش‌های تشکیل
۵۹	۱-۲-۵. ذخایر یخساری
۶۰	۲-۲-۵. دریاچه‌های بارانی
۶۰	۳-۲-۵. ساحل‌های دریایی و پادگانه‌ها
۶۰	۴-۲-۵. ذخایر برون کرانه‌ای (دریایی)
۶۰	۵-۲-۵. ذخایر آبرفتی
۶۱	۶-۲-۵. پنجه‌ی آبرفتی
۶۱	۷-۲-۵. سنگ هوازده‌ی درجا
۶۲	۳-۵. خواص
۶۲	۱-۳-۵. خواص فیزیکی
۶۲	۲-۳-۵. اندازه و دانه‌بندی ذره
۶۳	۳-۳-۵. شکل ذره
۶۳	۴-۳-۵. چگالی نسبی
۶۳	۵-۳-۵. تخلخل و ساختار منفذ
۶۴	۶-۳-۵. خواص شیمیایی
۶۴	۱۵-۳-۷. هوازدگی و ناخالصی‌ها
۶۴	۵-۴. پی‌جویی، استخراج و فرایند کردن
۶۵	۱-۴-۵. روش‌های پی‌جویی
۶۶	۲-۴-۵. تخمین ذخایر با جزئیات
۶۹	۳-۴-۵. استخراج
۷۰	۴-۴-۵. فرایند کردن
۷۲	۵-۴-۵. ملاحظات زیست‌محیطی
۷۳	۶-۴-۵. احیا
۷۳	۵-۴-۷. چشم‌انداز و روندهای آتی
۷۵	۵-۵. منابع

فصل ۶. سنگ خردشده

۷۷	۱-۶. مقدمه
۷۷	۱-۱-۶. تعریف
۷۷	۲-۱-۶. ملاحظات غیرمعمول ویژگی سنگ خرد شده
۷۸	۲-۶. تولید و تجارت، جایگزین‌ها، ذخایر و منابع

۷۸	۳-۶. منشأ زمین‌شناختی و توزیع
۷۸	۱-۳-۶. منشأ
۷۹	۴-۶. خواص
۸۰	۱-۴-۶. خواص فیزیکی
۸۲	۲-۴-۶. هوازدگی و ناخالصی‌ها
۸۲	۳-۴-۶. خواص شیمیایی
۸۳	۵-۶. صنعت سنگ خرد شده
۸۳	۱-۵-۶. روش‌های پی‌جویی
۸۷	۲-۵-۶. استخراج
۸۸	۳-۵-۶. فرایند کردن
۹۰	۶-۶. ملاحظات تنظیمی و زیست‌محیطی
۹۰	۱-۶-۶. مقررات
۹۰	۲-۶-۶. ملاحظات زیست‌محیطی
۹۱	۳-۶-۶. احیا
۹۱	۷-۶. چشم‌انداز و روندهای آتی
۹۲	۸-۶. منابع
	فصل ۷. مصالح دانه‌ای سبک‌وزن
۹۳	۱-۷. مقدمه
۹۳	۲-۷. انواع مصالح دانه‌ای سبک‌وزن
۹۴	۳-۷. مصالح دانه‌ای سبک‌وزن ساختمانی
۹۷	۴-۷. مصالح دانه‌ای طبیعی سبک‌وزن
۹۸	۱-۴-۷. بیومیس
۹۸	۲-۴-۷. خاکسترهای آتشفشانی و سنگ‌پا
۹۹	۳-۴-۷. سنگ‌های آتشفشانی دیگر
۹۹	۵-۷. مصالح دانه‌ای سبک‌وزن ساخته شده (مصنوعی)
۹۹	۱-۵-۷. رس، شیل و اسلیت منبسط شده
۱۰۱	۲-۵-۷. سرباره‌ی سردشده با هوا، دانه‌ای و منبسط شده
۱۰۲	۶-۷. مصالح دانه‌ای فوق‌سبک‌وزن (مصالح دانه‌ای مصنوعی با چگالی پایین)
۱۰۲	۱-۶-۷. پرلیت منبسط شده
۱۰۲	۲-۶-۷. ورمیکولیت منبسط شده
۱۰۳	۷-۷. کانی‌های دیگر به عنوان مصالح دانه‌ای سبک‌وزن
۱۰۴	۸-۷. تولید و مصرف مصالح دانه‌ای
۱۰۴	۹-۷. ساختار صنعت، روش‌های استخراج و تولید

۱۰۵	۷-۱۰. مصالح دانه‌ای سبک‌وزن تولید شده (مصنوعی)
۱۰۶	۷-۱۰-۱. سرباره
۱۰۶	۷-۱۰-۲. پرلیت و ورمیکولیت متبسط شده
۱۰۸	۷-۱۱. محصولات نهایی و مشخصات فنی
۱۰۸	۷-۱۱-۱. واحدهای بتن بتابی
۱۰۸	۷-۱۱-۲. مواد عایق‌بندی و مقاوم در برابر حریق
۱۰۹	۷-۱۲. منابع
	فصل ۸. آزیست
۱۱۱	۸-۱. مقدمه
۱۱۱	۸-۲. تولید و تجارت
۱۱۱	۸-۲-۱. تولید
۱۱۴	۸-۲-۲. تغییرات صنعت
۱۱۵	۸-۳. زمین‌شناسی
۱۱۵	۸-۳-۱. کانی‌شناسی
۱۱۶	۸-۳-۲. خواص فیزیکی
۱۱۸	۸-۳-۳. خواص شیمیایی
۱۲۳	۸-۳-۴. ذخایر اصلی
۱۲۳	۸-۳-۵. منشأ و نحوه‌های وقوع زمین‌شناختی
۱۲۴	۸-۳-۵-۱. ساختارها
۱۲۴	۸-۳-۵-۲. رگهای شدن آزیست
۱۲۵	۸-۳-۶. ذخایر کریزوتیل در سنگ‌های فوق بازی
۱۲۵	۸-۳-۷. ذخایر کریزوتیل در دولومیت
۱۲۶	۸-۳-۸. ذخایر کروسیدولیت و آموسیت
۱۲۶	۸-۳-۹. ذخایر آنتروفیلیت، ترمولیت و آکتینولیت
۱۲۶	۸-۴. فناوری
۱۲۶	۸-۳-۱. روش‌های اکتشاف
۱۲۶	۸-۴-۱. زمین‌فیزیکی
۱۲۷	۸-۴-۱-۲. حفاری با مته‌ی الماسه
۱۲۷	۸-۴-۲. برآورد ذخایر
۱۲۷	۸-۴-۲-۱. برآورد
۱۲۸	۸-۴-۲-۲. تعیین ارزش الیاف
۱۲۹	۸-۴-۲-۳. قرائت‌ها از سینه‌ی کار
۱۲۹	۸-۴-۲-۴. نمونه‌برداری کلی

۱۲۹	 مقاومت کششی..... ۵-۲-۴-۸
۱۲۹	 تناژ و عیار..... ۵-۲-۴-۸
۱۳۰	 استخراج..... ۳-۴-۸
۱۳۱	 فرایند کردن..... ۴-۴-۸
۱۳۳	 بازاریابی..... ۵-۸
۱۳۳	 درجات و مشخصات محصول..... ۱-۵-۸
۱۳۵	 کاربردها..... ۲-۵-۸
۱۳۵	 کاربرد آزیست به وسیله‌ی گروه..... ۱-۲-۵-۸
۱۳۶	 استفاده‌ی آزیست به وسیله‌ی نوع محصول..... ۳-۵-۸
۱۳۶	 محصولات سیمان آزیستی..... ۱-۳-۵-۸
۱۳۶	 کاغذ و مقوای آزیستی پشت جلد کتاب..... ۲-۳-۵-۸
۱۳۷	 محصولات آسفالتی..... ۳-۳-۵-۸
۱۳۷	 ترکیبات درزبندی کننده..... ۴-۳-۵-۸
۱۳۷	 مواد اصطکاکی..... ۵-۳-۵-۸
۱۳۸	 واشرها..... ۶-۳-۵-۸
۱۳۸	 پلاستیک‌ها..... ۷-۳-۵-۸
۱۳۹	 نساچی..... ۸-۳-۵-۸
۱۳۹	 مصرف..... ۴-۵-۸
۱۳۹	 مصرف فعلی..... ۱-۴-۵-۸
۱۳۹	 مصرف تاریخی..... ۲-۴-۵-۸
۱۴۰	 روندهای تاریخی مصرف در قاره‌ها..... ۳-۴-۵-۸
۱۴۱	 جایگزین‌های آزیست..... ۵-۵-۸
۱۴۲	 ملاحظات قانونی و زیست‌محیطی..... ۶-۸
۱۴۲	 سلامت و ایمنی..... ۱-۶-۸
۱۴۳	 مقررات..... ۲-۶-۸
۱۴۴	 منابع..... ۷-۸

فصل ۹. کانی‌های باریم

۱۴۷	 مقدمه..... ۱-۹
۱۴۷	 تولید، منابع و ذخایر..... ۲-۱۶
۱۴۸	 زمین‌شناسی..... ۳-۹
۱۴۸	 کانی‌شناسی..... ۱-۳-۹
۱۴۸	 منشأ و نحوه‌ی وقوع..... ۲-۳-۹
۱۴۸	 ذخایر رگه‌ای، پرکننده و جایگزینی..... ۱-۲-۳-۹

۱۴۹	۲-۲-۳-۹ ذخایر بازماندی
۱۴۹	۳-۲-۳-۹ ذخایر لایه‌ای
۱۵۰	۴-۹ فناوری
۱۵۰	۱-۴-۹ روش‌های اکتشاف
۱۵۲	۲-۴-۹ فرایند کردن باریت
۱۵۲	۱-۲-۴-۹ انتخاب دستی
۱۵۳	۲-۲-۴-۹ سرند کردن
۱۵۳	۳-۲-۴-۹ شستشو
۱۵۳	۴-۲-۴-۹ جیگ‌ها
۱۵۴	۵-۲-۴-۹ ماریچ‌ها و میزها
۱۵۴	۶-۲-۴-۹ شناورسازی (فلوتاسیون)
۱۵۴	۵-۹ بازاریابی
۱۵۴	۱-۱-۵-۹ کاربردها و مشخصات فنی
۱۵۷	۲-۵-۹ جایگزین‌های رقابتی
۱۵۷	۳-۵-۹ بسته‌بندی و حمل
۱۵۷	۶-۹ ملاحظات زیست‌محیطی و قانونی
۱۵۷	۱-۶-۹ محیط زیست، سلامت و ایمنی
۱۵۸	۲-۶-۹ احیا
۱۵۸	۷-۹ چشم‌انداز و روندهای آتی
۱۵۹	۸-۹ منابع

فصل ۱۰. بوکسیت

۱۶۳	۱-۱۰ زمین‌شناسی
۱۶۴	۱-۱-۱۰ خواص کانی‌شناختی و فیزیکی
۱۶۶	۲-۱-۱۰ طبقه‌بندی ذخایر
۱۶۸	۳-۱-۱۰ حوزه‌های عمده‌ی بوکسیت جهان
۱۶۸	۲-۱۰ فناوری
۱۶۸	۱-۲-۱۰ روش‌های اکتشاف و ارزیابی
۱۷۲	۲-۲-۱۰ استخراج و پرمیارسازی
۱۷۳	۳-۲-۱۰ تولید آلومین
۱۷۶	۴-۲-۱۰ بازاریابی
۱۷۶	۱-۴-۲-۱۰ کاربردهای تجاری
۱۷۶	۱-۱-۴-۲-۱۰ بوکسیت با عیار غیرمتالورژیکی
۱۷۸	۲-۴-۲-۱۰ کاربردهای دیگرگازها

۱۸۳	۱-۵-۲-۱۰. ملاحظات اقتصادی
۱۸۴	۱-۵-۲-۱۰. منابع عرضه
۱۸۵	۱-۵-۲-۱۰. تقاضا
۱۸۵	۱-۵-۲-۱۰. کاربردهای مواد ساینده
۱۸۸	۱-۵-۲-۱۰. کاربردها در سیمان
۱۸۹	۱-۵-۲-۱۰. سیمان با آلومین بالا
۱۹۲	۱-۵-۲-۱۰. سیمان پورتلند
۱۹۳	۱-۵-۲-۱۰. کاربردهای شیمیایی
۱۹۵	۱-۵-۲-۱۰. کاربردهای ویژه
۱۹۵	۱-۵-۲-۱۰. تنظیم کننده ی سرباره
۱۹۵	۱-۵-۲-۱۰. پروپانت ها
۱۹۶	۱-۵-۲-۱۰. کاربردهای جزئی مختلف دیگر
۱۹۷	۱-۵-۲-۱۰. آلومین با درجه ی مخصوص
۱۹۸	۱-۵-۲-۱۰. تری هیدرات آلومین
۲۰۱	۱-۵-۲-۱۰. آلومین فثال
۲۰۲	۱-۵-۲-۱۰. آلومین تشویه شده
۲۰۳	۱-۵-۲-۱۰. آلومین کلوخه ای
۲۰۴	۱-۵-۲-۱۰. آلومین گداخته
۲۰۵	۱-۵-۲-۱۰. ملاحظات زیست محیطی
۲۰۸	۱-۵-۲-۱۰. منابع

فصل ۱۱. کانی های بریلیم

۲۱۰	۱-۱۱. بریلیم و کاربردهای آن
۲۱۲	۲-۱۱. زمین شناسی ذخایر بریلیم
۲۱۳	۱-۲-۱۱. بریلیم در سنگ های آتشفشانی
۲۱۳	۲-۲-۱۱. بریلیم در پگماتیت ها
۲۱۴	۳-۲-۱۱. بریلیم در رگه های کوارتزی
۲۱۴	۴-۲-۱۱. بریلیم در ذخایر دگرگونی و جانشینی
۲۱۴	۵-۲-۱۱. بریلیم در گریسن
۲۱۵	۶-۲-۱۱. بریلیم در سنگ های آذرین قلیایی
۲۱۵	۷-۲-۱۱. بریلیم در زغال سنگ
۲۱۵	۳-۱۱. اکتشاف
۲۱۵	۵-۱۱. استخراج
۲۱۶	۶-۱۱. تولید هیدروکسید بریلیم

۲۱۷	۷-۱۱. تولید آلایژ مس- بریلیم
۲۱۸	۸-۱۱. تولید فلز بریلیم
۲۲۰	۹-۱۱. تولید اکسید بریلیم
۲۲۱	۱۰-۱۱. آلایژهای بریلیم
۲۲۲	۱۱-۱۱. فلز بریلیم
۲۲۲	۱۲-۱۱. اکسید بریلیم
۲۲۲	۱۳-۱۱. مواد جایگزین
۲۲۳	۱۴-۱۱. مقررات حفاظتی
۲۲۴	۱۵-۱۱. منابع طبیعی و ساخته‌ی دست بشر، قرار گرفتن انسان در معرض بریلیم
۲۲۵	۱۶-۱۱. منابع

فصل ۱۲. بور و بورات‌ها

۲۲۷	۱-۱۲. مقدمه
۲۲۸	۲-۱۲. تولید و تجارت
۲۲۹	۳-۱۲. زمین‌شناسی
۲۲۹	۱-۳-۱۲. کانی‌شناسی
۲۳۰	۲-۳-۱۲. آزمایش‌ها
۲۳۰	۳-۳-۱۲. خواص شیمیایی
۲۳۱	۴-۳-۱۲. منشأ و نحوه‌های وقوع
۲۳۲	۴-۱۲. فناوری
۲۳۳	۱-۴-۱۲. روش‌های اکتشاف
۲۳۳	۲-۴-۱۲. تخمین ذخیره
۲۳۴	۳-۴-۱۲. استخراج
۲۳۴	۴-۴-۱۲. فرایندکردن
۲۳۴	۵-۴-۱۲. بازاریابی
۲۳۴	۵-۱۲. عوامل اقتصادی
۲۳۵	۶-۱۲. چشم‌انداز و آینده‌ی بورات‌ها
۲۳۶	۷-۱۲. منابع

فصل ۱۳. بروم

۲۳۷	۱-۱۳. مقدمه
۲۳۷	۲-۱۳. تولید و تجارت
۲۳۸	۳-۱۳. تشکیل بروم
۲۳۸	۱-۳-۱۳. توزیع بروم در طبیعت
۲۳۸	۲-۳-۱۳. منابع و ذخایر تجاری

۲۳۹	۱۳-۳-۳. روش‌های تجزیه‌ای برای بروم و برومیدها
۲۴۰	۱۳-۴. خواص بروم
۲۴۰	۱۳-۴-۱. خواص فیزیکی
۲۴۱	۱۳-۴-۲. خواص شیمیایی
۲۴۱	۱۳-۴-۲-۱. واکنش با هیدروژن و فلزات
۲۴۲	۱۳-۴-۲-۲. واکنش‌ها در آب
۲۴۲	۲۰-۴-۲-۳. واکنش‌ها با ترکیبات آلی
۲۴۲	۱۳-۵. فتاوری
۲۴۲	۱۳-۵-۱. روش‌های فرایند کردن
۲۴۳	۱۳-۵-۱-۱. فرایند بخاردهی
۲۴۳	۱۳-۵-۱-۲. فرایند دمیدن هوا
۲۴۴	۱۳-۵-۲. تولید بروم از باطله
۲۴۴	۱۳-۵-۳. ویژگی‌های محصول
۲۴۵	۱۳-۵-۴. کاربردهای بروم
۲۴۵	۱۳-۵-۴-۱. کندکننده‌ی شعله
۲۴۶	۱۳-۵-۴-۲. سیالات حفاری
۲۴۶	۱۳-۵-۴-۳. مواد شیمیایی کشاورزی برم‌دار
۲۴۷	۱۳-۵-۴-۴. زیست‌کش‌ها- تصفیه‌ی آب
۲۴۷	۱۳-۵-۴-۵. مواد واسط بروم‌دار
۲۴۸	۱۳-۵-۴-۶. کاربردهای دیگر
۲۴۸	۱۳-۵-۵. بسته‌بندی
۲۴۹	۱۳-۵-۶. مواد ساختمانی
۲۴۹	۱۳-۵-۷. ذخیره‌سازی
۲۵۰	۳-۶. عوامل سلامت و ایمنی
۲۵۰	۱۳-۶-۱. اثرات قرارگرفتن در معرض بروم
۲۵۱	۱۳-۶-۲. تجهیزات حفاظتی برای حمل بروم
۲۵۱	۱۳-۶-۳-۳. نکات ایمنی در برخورد با آتش
۲۵۲	۱۳-۷. مقررات و ملاحظات زیست‌محیطی
۲۵۲	۱۳-۷-۱. متیل برومید
۲۵۲	۱۳-۷-۲. کندکننده‌های شعله
۲۵۲	۱۳-۸. چشم‌انداز و روندهای آتی
۲۵۳	۱۳-۹. منابع
	فصل ۱۴. مواد شیمیایی

۲۵۴	۱-۱۴. مقدمه
۲۵۴	۲-۱۴. خواص بازار
۲۶۱	۳-۱۴. عناصر با اهمیت عمده
۲۶۱	۱-۳-۱۴. بور
۲۶۴	۲-۳-۱۴. بروم
۲۶۴	۳-۳-۱۴. کلر
۲۶۶	۴-۳-۱۴. فلوئور
۲۶۷	۵-۳-۱۴. سدیم
۲۶۸	۶-۳-۱۴. گوگرد
	فصل ۱۵. کرومیت
۲۷۴	۱-۱۴. مقدمه
۲۷۴	۲-۱۵. کروم در قرن بیستم
۲۷۴	۳-۱۵. زمین شناسی
۲۷۴	۱-۳-۱۵. کانی شناسی
۲۷۶	۲-۳-۱۵. منشأ
۲۷۸	۳-۳-۱۵. وفور
۲۷۸	۴-۳-۱۵. توزیع ذخایر عمده
۲۸۰	۴-۱۵. فتاوری
۲۸۰	۱-۴-۱۵. روش های اکتشاف
۲۸۰	۲-۴-۱۵. منابع و ذخایر
۲۸۱	۳-۴-۱۵. استخراج، پریارسازی و فرایند کردن
۲۸۳	۴-۴-۱۵. ویژگی ها
۲۸۳	۵-۴-۱۵. محصولات جانبی و محصولات مشترک
۲۸۴	۵-۱۵. کاربردها
۲۸۵	۱-۵-۱۵. کاربردهای کرومیت
۲۸۵	۲-۵-۱۵. صنعت شیمیایی
۲۸۶	۳-۵-۱۵. صنعت مواد دیرگداز
۲۸۸	۴-۵-۲۲. ماسه ی ریخته گری
۲۸۹	۶-۱۵. عوامل مربوط به سلامت
۲۹۱	۷-۱۵. مقررات زیست محیطی
۲۹۱	۱-۷-۱۵. جریان های خروجی
۲۹۱	۲-۷-۱۵. باطله های جامد
۲۹۲	۸-۱۵. منابع