

پیدایش، تولید و موارد استفاده سیلیسیم و ترکیبات آن



نویسنده: دکتر لطف اله پژمان

سرشناسه: پژمان، لطف اله، ۱۳۲۳ -
عنوان و نام پدیدآور: پیدایش، تولید و موارد استفاده ی سیلیسیم و ترکیبات آن /
نوشته و تنظیم لطف اله پژمان.

مشخصات نشر: تهران، مهرگل، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری: ۲۰۲ ص.: مصور (بخشی رنگی).
شابک: ۸۵۰۰۰ ریال: 978-600-90880-2-7

وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: کتابخانه: ص. ۱۹۶-۲۰۱.

موضوع: سیلیسیم
موضوع: سیلیسیم--کاربردهای صنعتی
رده بندی کنگره: ۱۱۹۱/۵ J۱۳۹۰ T۹ ب ۴ پ /
رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۶
شماره کتابشناسی ملی: ۲۰۳۳۶۵۸



انتشارات مهرگل

مؤلف: لطف اله پژمان
لیتوگرافی: مگاپس
چاپ: سرمدی
چاپ اول: تهران ۱۳۹۰
تیراژ: ۱۰۰۰ نسخه
قیمت: ۸۵۰۰۰ ریال

تمامی حقوق این اثر محفوظ است. تکثیر یا تولید مجدد آن کلاً و جزئاً،
به هر صورت (چاپ، فتوکپی، صوت، تصویر و انتشار الکترونیکی)
بدون اجازه مکتوب ناشر ممنوع است.

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۹۰۸۸۰-۲-۷
www.mehrgolent@yahoo.com

تقدیم و سپاسگزاری

کتاب تقدیم می شود به همه انسانهای دانش پژوه، خردمند، نیک اندیش، نیک کردار، نیک گفتار و دوست داران محیط زیست که بهره مندی از طبیعت و مواد تشکیل دهنده آن را نه برای تخریب و ویرانی طبیعت که برای حفظ دست آوردهای ارزشمند جوامع انسانی از جمله حفظ محیط زیست، صلح، دوستی و بهزیستی هموعان خود و همچنین نسل های آینده در سراسر جهان کوشا هستند.

همچنین بر خود لازم می دانم، از همه دوستان، آشنایان و عزیزانی که در تدارک چاپ، انتشار و معرفی این کتاب سهمی داشته و دارند صمیمانه تشکر کنم.

سپاس قلبی و بی کران ام را به همه محققین، مکتشفین، پژوهندگان و دانشمندانی که بخش بزرگی از عمر گرانیهای خود را در کشف قانونمندی های طبیعت و علوم زمین بویژه در زمینه شیمی سیلیسیم، ترکیبات آن و همچنین موارد استفاده این ماده طبیعی بسیار با ارزش صرف کرده اند و از طریق تلاش و تحقیقات مستمر خود صفحات جدید، درخشان و ارزشمندی بر گنجینه و دست آوردهای علوم طبیعی و علم شناخت مواد افزوده اند، نثار کنم.

از همه تلاشگرانی که با علاقه مندی خارق العاده و دقت بسیار هوشیارانه از کانی ها، سنگ ها، سیلیسیم و ترکیبات متنوع آن عکس های بسیار با ارزش تهیه کرده و از طریق انتشار رایگان در اینترنت در اختیار محققین و علاقمندان به کانی ها بویژه سیلیسیم، ترکیبات و کالاهائی که از این مواد ساخته شده اند، گذاشته اند صمیمانه سپاسگزارم.

در تدوین کتاب تلاش شده تا از نظر مبانی علمی و نوشتاری حتی الامکان از اشتباه پرهیز شود. با این حال بطور یقین بر این تصورم که علیرغم همه تلاش ام، کتاب از نظر نوشتاری و دستوری عاری از عیب و نقص نیست. به همین دلیل از راهنمایی ها و پیشنهادات اصلاحی خوانندگان این کتاب استقبال کرده و بسیار خشنود خواهم شد و قدردانی خود را به ادیبان زبان فارسی که به علوم طبیعی هم علاقمند هستند قبلاً اعلان می دارم.

لطف اله. پژمان

فروردین ۱۳۹۰

در باره محتوای کتاب

محتوای کتاب در باره ماده معدنی سیلیسیم (Si)، ترکیبات طبیعی و ترکیباتی که در آزمایشگاهها تولید می شوند، همچنین موارد استفاده آن ها بویژه کوارتز، سیلیکات های صنعتی - طبیعی، کاربرد ها، سیلانها، سیلیکون، سیلیسیم نیتride ها و ... تنظیم و نوشته شده، شامل پنج فصل است.

فصل اول به اشکال وجودی سیلیسیم در طبیعت و خواص فیزیکی- شیمیایی آن اختصاص داده شده است. در این فصل همچنین چرخش سیلیسیم در طبیعت به اختصار مورد بحث قرار می گیرد.

فصل دوم کتاب به نحوه واکنشهای شیمیایی سیلیسیم با دیگر عناصر شیمیایی در طبیعت و همچنین در آزمایشگاه پرداخته شده و در باره مهمترین کانی های سیلیسیم بویژه کوارتز و سنگ های تشکیل دهنده آن از جمله کوارتزیت، ماسه سنگها، راپیولاریت و خاک های دیاتومیتی، برخی از سیلیکات های مهم و قابل استفاده در بخش های مختلف صنعت، کانی - شفا درمانی، جواهر سازی اشاره شده است. در این فصل مضافاً در باره پیدایش کانسارهای مهم سیلیسیم هر چند به اختصار سخن به میان آمده است.

فصل سوم کتاب در باره اهمیت و طرز تولید سیلیسیم خالص و ترکیبات مهم آن که در بخش های مختلف صنایع کلاسیک و صنایع مدرن (صنایع ماکرو، میکرو و نانومتر) استفاده می شود، اختصاص داده شده است.

فصل چهارم کتاب در باره استفاده نامحدود و بی رویه سیلیسیم و ترکیبات طبیعی و مصنوعی آن که موجب تأثیرات منفی، مخرب و زیان بخش در طبیعت شده و موجب انواع بیماری ها و مسمومیت در انسان می شود، بحث شده است.

فصل پنجم و نهانی کتاب، به لحاظ اهمیت سیلیسیم و ترکیبات آن در سالهای آتی و نیاز روز افزون جوامع انسانی به مواد نو صنعتی و منابع جدید انرژی نکاتی به مسئولین سیاست گزار و صاحبان صنایع و سرمایه پیشنهاد شده است.

پیش گفتار

"به جرات می توان گفت که تا تیره هیچ ماده شیمیایی در جوامع صنعتی مدرن امروز به اندازه سیلیسیم و ترکیبات آن بویژه بعلت توانائی و خاصیت فوق العاده نیمه هادی بونش نمی باشد"

در حالیکه کربن (C) ماده اصلی تشکیل دهنده اندامها و بافت های موجودات زنده (جانوران و گیاهان) است، سیلیسیم (Si) ماده اساسی تشکیل دهنده و ترکیب مواد شیمیایی موجودات غیر زنده (جامدات) در طبیعت است. بر اساس نتایج تحقیقات و مطالعات ژئوشیمیایی، ۲۶.۳ - ۲۷ % پوسته جامد زمین را سیلیسیم تشکیل می دهد. مقدار سیلیسیم موجود در میان هشت عنصر شیمیائی مهم تشکیل دهنده پوسته جامد زمین در رده دوم و پس از اکسیژن O_2 قرار دارد.

ماده سیلیسیم بعلت میل ترکیبی بسیار بالا با اکسیژن، تا به امروز به شکل خالص در طبیعت یافت نشده است. به همین جهت سیلیسیم اساساً به شکل ترکیب با اکسیژن SiO_2 (کوارتز و سیلیکات ها) در طبیعت به فراوانی یافت می شود. سیلیسیم، همچنین به مقدار نسبتاً کم در بافت گیاهان و در اندامهای انسان و حیوانات به ویژه در ترکیب استخوانها و خون یافت می شود.

نتایج مطالعات علمی کانی شناسی و بلور شناسی در صد سال اخیر و تحقیقات جدید در باره خواص نوری، هدایت گرمایی، هدایت ویژه الکتریکی مواد و همچنین کشف نحوه قرار گرفتن (مدل) الکترونها در سطوح مختلف اتم و شناخت وجود اختلاف انرژی در این مدارها، زمینه بسیار گسترده ای را برای استفاده از نیمه هادی ها (بویژه سیلیسیم و آلیاژهای آن با دیگر مواد شیمیائی) در صنایع میکروالکترونیک، صنایع میکرو پروسسورها و همچنین صنایع چپ بویژه در صنعت کامپیوتر و تلفن موبایل آماده کرده است.

و. شوکلای W.Schokley در سال ۱۹۴۷ بر اساس دست آوردهای مطالعاتی فیزیک دانان و کانی شناسان آن زمان قادر شد تا خواص فیزیکی کانی ها و همچنین نیمه هادی ها را بر اساس مدل باندهای انرژی (سطوح قرارگرفتن الکترون ها حول مرکز اتم) توضیح دهد.

صنایع نیمه هادی ها بر اساس دست آورد های جدید فیزیک و شیمی در آمریکا در سالهای دهه ۷۰ میلادی رونق و گسترش بی سابقه ای یافت و در صنایع میکروالکترونیک، میکرو مکانیک بویژه در کامپیوتر و فرستنده رادیو استفاده شد. امروزه صاحبان صنایع تولید نیمه هادی ها و مراکز تحقیقاتی بویژه مؤسسات علمی شیمی سیلیسیم تلاش میکنند تا هرچه بیشتر روشهای ساده تر و ارزان قیمت تری را کشف و به کار گیرند تا اینکه نیمه هادی های ارزان قیمت تری برای بخشهای صنایع چپ و میکرو پروسسورها تهیه نمایند. بویژه با دسترس بودن منابع سرشار اکسید سیلیسیم (کوارتز، کوارتزیت، ماسه سنگ ها، اوپال و ...)

در طبیعت و خواص نیمه هادی بودن آن تمرکز تحقیقاتی - آزمایشگاهی و تولید سیلیسیم خالص (تولید مونو کریستال و پلی کریستال) اهمیت ویژه ای پیدا کرده است.

اهمیت استفاده از بلور سیلیسیم و آلیاژهای آن در صنایع نیمه هادی ها در دهه شصت میلادی کشف و شروع شد. مطالعه علمی گسترده و چند جانبه خواص نیمه هادی بودن سیلیسیم در چند دهه اخیر انجام گرفته و سرعت زیادی به استفاده از سیلیسیم در صنعت به ویژه در صنایع میکرو مکانیک و میکروالکترونیک بخشیده است.

اهمیت استفاده از سیلیسیم در دهه نود میلادی در بخش های مختلف صنایع میکروالکترونیک، میکرو مکانیک و صنایع مدرن فضائی آنچنان گسترش یافت که اچ. ج. کویزر H. J. Quisser عصر حاضر را " عصر سیلیسیم " نام نهاد. صنایع اینفورماتیک مدرن، صنایع جدید فضاوردی و فضا شناسی، تولید انرژی الکتریکی با استفاده از انرژی گرمایی خورشید، صنایع تولید دستگاه های مدرن پزشکی و دندان پزشکی (توموگرافی و ابزار کار)، دستگاه های کمک کننده حرکات قلب، صنایع تلفن های دستی مدرن و کامپیوتر، صنایع تولید و تهیه فلزات ویژه (آلیاژهای معین سیلیسیم با عناصر شیمیائی دیگر برای مقاومت در مقابل فشار بالا، گرما، فرسایش، تخریب و زنگ زدگی)، جراحی و زیبایی و ... استفاده از سیلیسیم و نیمه هادی ها را به شکل تصاعدی گسترش داده است.

تابش نور خورشید بر روی بلورهای سیلیسیم و همچنین بر روی برخی از آلیاژهای آن و در نتیجه آزاد شدن الکترون (تولید الکتریسیته کم خطر برای محیط زیست) از یکسو و نیاز مبرم به انرژی الکتریکی از سوی دیگر یکی از موارد مهم استفاده از سیلیسیم در صنعت تولید انرژی الکتریکی مدرن شده است.

امروزه اهمیت استفاده از سیلیسیم و ترکیبات آن نه تنها در صنعت مدرن میکروالکترونیک، میکرومکانیک و صنایع متالورژی (تولید ترکیبات ویژه فلزی برای مصارف گوناگون) که در صنایع کشاورزی، صنایع سرامیک و چینی سازی، تصفیه خانه ها، صنایع داروسازی، صنایع غذایی، صنایع رنگ سازی، صنایع تولید کاغذ و الیاف مصنوعی (پشم مصنوعی)، صنایع تولید مواد بهداشتی و زیبایی، صنایع ساختمانی (سیمان و آجر های سیلیسی و سیلیکاتی)، صنایع فضائی، ماشین سازی و ... از اهمیت بالایی برخوردار می باشد.

به دلیل استفاده گسترده از سیلیسیم و ترکیبات آن در حال حاضر و اهمیت این مواد در آینده نزدیک، نگارنده با بهره مندی از آخرین دست آوردهای تحقیقاتی منتشر شده تصمیم به نوشتن این کتاب گرفتم. امید وارم که برای نسل جوان دانش پژوه، کنجکار و علاقه مندان به سرمایه گذاری و دولت مردان و دولت زنائی که به آینده می نگرند، در این زمینه مفید باشد.

فهرست مطالب

صفحه	موضوع
۳	تقدیم و سپاسگزاری
۴	در باره محتوای کتاب
۵	پیشگفتار
۷	فهرست

۱۳ فصل یکم

۱۳	کلیاتی در باره سیلیسیم	۱
۱۶	کشف سیلیسیم	۱-۱
۱۶	خواص فیزیکی سیلیسیم	۲-۱
۱۸	خواص شیمیایی سیلیسیم	۳-۱
۲۹	ایزوتوپ های سیلیسیم	۴-۱
۳۰	سیلیسیم و نیمه هادی ها	۵-۱
۳۰	تولید نیمه هادی ها، ترانزیستورها و ...	۱-۵-۱
۳۳	چرخش سیلیسیم در طبیعت	۶-۱
۳۴	سیلیسیم در طبیعت جامد	۱-۶-۱
۳۴	سیلیسیم در اندام های موجودات زنده	۲-۶-۱
۳۵	سیلیسیم در اندامها و بافت های ...	۱-۲-۶-۱

۳۹ فصل دوم

۳۹	ترکیبات سیلیسیم	۲
۳۹	ترکیبات شیمیایی و ...	۱-۲
۳۹	سیلیسیدها و ...	۱-۱-۲
۴۱	سیلیسید کلسیم	۱-۱-۱-۲
۴۱	سیلیسید آهن	۲-۱-۱-۲
۴۲	سیلیسید منیزیم	۳-۱-۱-۲
۴۳	سیلیسید مس	۴-۱-۱-۲
۴۴	سیلیسید مولیبدن	۵-۱-۱-۲
۴۴	سیلیسید تنگستن	۶-۱-۱-۲
۴۵	سیلیسید تیتان	۷-۱-۱-۲

۴۵	سیلیسید تری بیوم	۸-۱-۱-۲
۴۵	سیلیسید پلاتین	۹-۱-۱-۲
۴۶	سیلیسید نیکل	۱۰-۱-۱-۲
۴۶	سیلیسید لیتیوم	۱۱-۱-۱-۲
۴۷	سیلیسید سدیم	۱۲-۱-۱-۲
۴۷	اختلاط و امتزاج سیلیسیم با فلزات	۲-۱-۲
۴۷	آلیاژ سیلیسیم - آلومینیوم	۱-۲-۱-۲
۴۸	آلیاژ سیلیسیم - آلومینیوم - مس	۲-۲-۱-۲
۴۹	آلیاژ سیلیسیم- آلومینیوم - منیزیم	۳-۲-۱-۲
۴۹	آلیاژ سیلیسیم - روی - مس	۴-۲-۱-۲
۴۹	آلیاژ سیلیسیم - آهن	۵-۲-۱-۲
۵۰	آلیاژ سیلیسیم - طلا	۶-۲-۱-۲
۵۰	آلیاژ سیلیسیم - نیکل- مس - بور	۷-۲-۱-۲
۵۰	آلیاژ سیلیسیم - ژرمانیوم	۸-۲-۱-۲
۵۱	آلیاژ سیلیسیم - کروم - آهن	۹-۲-۱-۲
۵۱	آلیاژ سیلیسیم - کروم- آهن - نیکل	۱۰-۲-۱-۲
۵۱	آلیاژ مولیبدن - سیلیسیم - بور	۱۱-۲-۱-۲
۵۳	آلیاژ ولفرام - سیلیسیم - ژرمانیوم	۱۲-۲-۱-۲
۵۳	آلیاژ سیلیسیم-کروم - بور	۱۳-۲-۱-۲
۵۳	سیلان ها	۳-۱-۲
۵۵	طرز تولید سیلان ها	۱-۳-۱-۲
۵۶	هالوزنیدهای سیلیسیم	۴-۱-۲
۵۶	طرز تولید هالوزنیدهای سیلیسیم	۱-۴-۱-۲
۵۸	نیتريد های سیلیسیم	۵-۱-۲
۵۹	کاربید سیلیسیم	۶-۱-۲
۶۱	طرز تهیه و تولید کربید سیلیسیم	۱-۶-۱-۲
۶۵	سیلیکون (سیلیکون ها)	۷-۱-۲
۶۶	روش تولید سیلیکون ها	۱-۷-۱-۲
۶۷	ترکیب سیلیسیم و اکسیژن	۲-۲
۶۷	دی اکسید سیلیسیم SiO_2	۱-۲-۲
۶۹	کانی شناسی کوارتز و محل پیدایش	۱-۱-۲-۲
۶۹	کانی کوارتز	۲-۱-۲-۲
۸۰	ترکیب شیمیائی کوارتز	۲-۲-۲
۸۱	خواص پیزوالکتریکی کوارتز	۳-۲-۲
۸۱	اشکال خارجی و رشد بلور کوارتز	۴-۲-۲
۸۴	سیلیکات ها	۳-۲
۸۵	سیمت تقسیم بندی سیلیکات ها	۱-۳-۲

۸۵	نزوسیلیکات ها	۱-۱-۳-۲
۸۶	سوروسیلیکات ها	۲-۱-۳-۲
۸۷	سیکلوسیلیکات ها	۳-۱-۳-۲
۸۷	اینوسیلیکات ها	۴-۱-۳-۲
۸۸	فیلولوسیلیکات ها	۵-۱-۳-۲
۸۹	تکتوسیلیکات ها	۶-۱-۳-۲
۸۹	لیست سیلیکات ها	۲-۳-۲
۹۰	نزوسیلیکات ها	۱-۲-۳-۲
۹۲	سوروسیلیکات ها	۲-۲-۳-۲
۹۲	سیلیکات های حلقوی	۳-۲-۳-۲
۹۳	اینوسیلیکات ها	۴-۲-۳-۲
۹۵	سیلیکات های ورقه ای	۵-۲-۳-۲
۹۷	تکتوسیلیکات ها	۶-۲-۳-۲
۱۰۰	پیدایش کانسارهای گاتیهای سیلیسیم دار	۴-۲
۱۰۰	کانسارهای ماگمانی کوارتز	۱-۴-۲
۱۰۰	رگه های هیدروترمال کوارتز	۱-۱-۴-۲
۱۰۲	کانسارهای رسوبی کوارتز	۲-۴-۲
۱۰۳	انواع ماسه سنگ ها	۱-۲-۴-۲
۱۰۳	تقسیم بندی ماسه سنگ ها از نظر زمین شناسی	۱-۱-۲-۴-۲
۱۰۴	تقسیم بندی ماسه سنگ ها از نظر کارشناسان...	۲-۱-۲-۴-۲
۱۰۶	چرت یا سنگ های شاخی	۲-۲-۴-۲
۱۰۷	تقسیم بندی سنگ های چرت یا قلینت	۱-۲-۲-۴-۲
۱۰۸	دیاتومیت ها (خاک های دیاتومیتی)	۳-۲-۴-۲
۱۰۹	پیدایش و ذخایر خاک های دیاتومیتی	۱-۳-۲-۴-۲
۱۰۹	انواع خاک های دیاتومیتی	۲-۳-۲-۴-۲
۱۱۰	خواص فیزیکی خاک های دیاتومیتی	۳-۳-۲-۴-۲
۱۱۱	سنگ های رادیولاریتی	۴-۲-۴-۲
۱۱۱	کانی شناسی و سنگ شناسی رادیولاریت ها	۱-۴-۲-۴-۲
۱۱۳	محل پیدایش سنگ های رادیولاریتی	۲-۴-۲-۴-۲
۱۱۳	کانسارهای نگرگونی کوارتز	۳-۴-۲
۱۱۳	کوارتزیت	۱-۳-۴-۲
۱۱۳	چگونگی تشکیل کوارتزیت	۱-۱-۳-۴-۲
۱۱۵	محل پیدایش کوارتزیت	۲-۱-۳-۴-۲
۱۱۶	اهمیت اقتصادی و ... کوارتزیت	۳-۱-۳-۴-۲
۱۱۶	مقاومت کوارتزیت در مقابل مواد شیمیایی	۴-۱-۳-۴-۲
۱۱۷	لیست برخی از معروفترین کوارتزیت...	۵-۱-۳-۴-۲

۱۱۹	تولید و موارد استفاده سیلیسیم و ...	۳
۱۲۰	طرز تهیه و تولید سیلیسیم خالص	۱-۳
۱۲۲	تهیه سیلیسیم در آزمایشگاه	۱-۱-۳
۱۲۳	تهیه سیلیسیم در صنعت مدرن	۲-۱-۳
۱۲۴	سیلیسیم آلی	۲-۳
۱۲۴	اهمیت و موارد استفاده سیلیسیم	۳-۳
۱۲۶	استفاده سیلیسیم قبل از صنعتی شدن ...	۱-۳-۳
۱۲۷	استفاده سیلیسیم در عصر حاضر	۲-۳-۳
۱۲۷	استفاده سیلیسیم و نیمه هادی ها ...	۱-۲-۳-۳
۱۲۹	استفاده سیلیسیم در صنایع تولید الکترونیک	۲-۲-۳-۳
۱۳۰	استفاده سیلیسیم در صنایع متالورژی	۳-۲-۳-۳
۱۳۰	استفاده سیلیسیم در صنایع دارویی و غذایی	۴-۲-۳-۳
۱۳۰	استفاده سیلیسیم در صنایع داروسازی	۱-۴-۲-۳-۳
۱۳۱	استفاده سیلیسیم در صنایع مواد غذایی	۲-۴-۲-۳-۳
۱۳۱	استفاده سیلیسیم در صنایع بهداشتی و ...	۳-۴-۲-۳-۳
۱۳۱	استفاده سیلیسیم و ترکیبات آن در صنایع ...	۴-۳
۱۳۲	استفاده سیلیکات ها در صنایع کلاسیک	۵-۳
۱۳۳	موارد استفاده کوارتز	۱-۵-۳
۱۳۴	موارد استفاده کوارتز در صنعت	۱-۱-۵-۳
۱۳۷	موارد استفاده کوارتز در جواهر سازی	۲-۱-۵-۳
۱۳۹	موارد استفاده فلدسپات ها	۲-۵-۳
۱۳۹	موارد استفاده تالک	۳-۵-۳
۱۴۰	موارد استفاده کانی های رسی	۴-۵-۳
۱۴۳	موارد استفاده آمفیبول ها	۵-۵-۳
۱۴۴	موارد استفاده میکاها	۶-۵-۳
۱۴۴	موارد استفاده بیروکسن ها	۷-۵-۳
۱۴۵	موارد استفاده سرپانتین	۸-۵-۳
۱۴۶	موارد استفاده زئولیت ها	۹-۵-۳
۱۴۷	موارد استفاده گرونها	۱۰-۵-۳
۱۴۸	موارد استفاده کانی زیرکن	۱۱-۵-۳
۱۴۹	موارد استفاده کانی های آندالوزیت و ...	۱۲-۵-۳
۱۴۹	موارد استفاده کوردیریت	۱۳-۵-۳
۱۵۰	موارد استفاده ولاستونیت	۱۴-۵-۳
۱۵۰	موارد استفاده بریل در صنعت	۱۵-۵-۳
۱۵۰	موارد استفاده خاک های دیاتومیتی و ...	۶-۳

۱۵۱	موارد استفاده خاک های دیاتومیتی	۱-۶-۳
۱۵۱	موارد استفاده سنگ های چرت و فلینت	۲-۶-۳
۱۵۲	موارد استفاده ماسه سنگ ها و گوارتزیت	۷-۳
۱۵۲	موارد استفاده ماسه سنگ ها	۱-۷-۳
۱۵۴	موارد استفاده گوارتزیت	۲-۷-۳
۱۵۵	موارد استفاده سیلیکات ها : ...	۸-۳
۱۵۶	کانی های اینزل سیلیکات	۱-۸-۳
۱۵۷	گروه کانی های فلنسیات	۲-۸-۳
۱۵۷	ابسیدین	۳-۸-۳
۱۵۸	استفاده گوارتز و ... بعنوان کانیهای شفافخش	۹-۳
۱۶۱	آکوامارین (بریل آبی رنگ)	۱-۹-۳
۱۶۲	یشم	۲-۹-۳
۱۶۲	پریدوت (اولوین)	۳-۹-۳
۱۶۳	زیرکن	۴-۹-۳
۱۶۳	عقیق قرمز	۵-۹-۳
۱۶۴	زمرد (بریل سبز)	۶-۹-۳
۱۶۴	لایس لازولی (لاجورد)	۷-۹-۳
۱۶۴	کرونا	۸-۹-۳
۱۶۵	گوارتز قرمز	۹-۹-۳
۱۶۵	آمتیست	۱۰-۹-۳
۱۶۶	تورمالین	۱۱-۹-۳
۱۶۶	کریزو پراز (کریزوپراس)	۱۲-۹-۳
۱۶۶	ابسیدین	۱۳-۹-۳
۱۶۷	آمازونیت	۱۴-۹-۳
۱۶۷	سیترین (گوارتز لیمونی رنگ)	۱۵-۹-۳
۱۶۸	گوارتز چشم ببری	۱۶-۹-۳
۱۶۸	عقیق آبی	۱۷-۹-۳
۱۶۸	عقیق سبز	۱۸-۹-۳
۱۶۹	گوارتز دودی	۱۹-۹-۳
۱۶۹	لابرانوریت	۲۰-۹-۳
۱۶۹	ژاسپ (با رنگ های متنوع)	۲۱-۹-۳
۱۷۰	پاده ایت	۲۲-۹-۳
۱۷۰	کاتی های سیلیکاتی و نقش آنها در فرهنگ و ...	۱۰-۳
۱۷۲	موارد استفاده سیلیسیم در صنایع مدرن	۱۱-۳
۱۷۲	موارد استفاده سیلیسیم خالص	۱-۱۱-۳
۱۷۳	موارد استفاده کاربید سیلیسیم	۲-۱۱-۳
۱۷۴	موارد استفاده سرامیک الیافی	۱-۲-۱۱-۳

۱۷۴	موارد استفاده دیگر سیلیسیدها	۳-۱۱-۳
۱۷۶	موارد استفاده نیتریدهای سیلیسیم	۴-۱۱-۳
۱۷۷	موارد استفاده سیلیکون	۵-۱۱-۳
۱۸۱	موارد استفاده سیلان ها	۶-۱۱-۳
۱۸۲	موارد استفاده آلیاژهای سیلیسیم و ...	۷-۱۱-۳
۱۸۳	تولید سالیانه سیلیسیم خالص...	۱۲-۳

۱۸۷

فصل چهارم

۱۸۷	اثرات منفی زیستی ناشی از تولید ...	۴
۱۸۷	مقدمه	۱-۴
۱۸۷	تولید سیلیسیم، ترکیبات آن و ...	۲-۴
۱۸۸	تولید آلیاژهای سیلیسیم و تأثیرات منفی...	۱-۲-۴
۱۸۹	استخراج، استفاده سیلیکاتها و ...	۳-۴
۱۸۹	پی آمدهای زیستبار در تشدید اکتشافات و ...	۴-۴
۱۹۰	استخراج سنگ های ساختمانی و ...	۱-۴-۴
۱۹۰	تولید سیلیکون و تأثیرات منفی آن ...	۲-۴-۴
۱۹۱	استخراج سنگ، لاشه سنگ، شن، ...	۳-۴-۴

۱۹۳

فصل پنجم

۱۹۳	گفتار پایانی	۱-۵
۱۹۶	منابع مورد استفاده	