بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه لرستان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی معدن

عنوان:

بازیابی کائولن از سد باطله کارخانه کائولن شویی زنوز

نگارش:

مسعود کلانتری

استاد راهنما:

دکتر کیانوش بارانی بیرانوند

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته مهندسی معدن- گرایش فرآوری مواد معدنی

زمستان ۹۳

تقدیم به

پدر، مادر و خانواده عزیزم

که الگوی مهربانی، صبر و سخت کوشی‌اند.

تقدیر و تشکر

تشکر و سپاس از استاد دانشمند و پر مایه ام جناب آقـای دکتـر کیـانوش بـارانی بیرانوند که از محضر پر فیض تدریسشان ، بهره ها برده ام

با تقدیر و درود فراوان خدمت پدر و مادر بسیار عزیـز ، دلسـوز و فـداکارم کـه پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت ، فضیلت و انسانیت آنها بوده ام و همواره چـراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است.

با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند.

چکیده:

کارخانه کائولن شویی زنوز در استان آذربایجان شرقی ودر ۶ کیلومتری شمال شرق شهرستان مرند قرار دارد. در این کارخانه خوراک ورودی توسط سنگ شکن های فکی ومخروطی و آسیاکنی غلطکی($d_{۸۰}$ حدود ۱۰۰میکرون) خرد و در ادامه با دانه بندی توسط کلاسیفایرهای مارپیچی و هیدرو سیکلون های متوالی، کنسانتره کائولن جدا می شود. در این مدار ته ریز کلاسیفایر مارپیچی به عنوان باطله نهایی وارد سد باطله می شود. در این تحقیق بازیابی کائولن از باطله کارخانه کائولن شویی معدن زنوز با روش فلوتاسیون مورد بررسی قرار گرفته است. برای انجام این تحقیق ۲۰۰ کیلو گرم نمونه از سد باطله کارخانه کائولن شویی زنوز برداشت شده است. نتایج مطالعات کانی شناسی نشان می دهد کوارتز، کائولن و کلسیت اصلی ترین کانیهای موجود در نمونه هستند. همچنین نتایج آنالیز شیمیایی نشان می دهد مقدار $Al_۲O_۳$ و $SiO_۲$ در نمونه اصلی بترتیب برابر ۱۵/۳۵ و ۷۴/۶۷ درصد می باشد. در آزمایشهای فلوتاسیون از کلکتورهای کاتیونی ستیل پریدینیوم کلرید یا دودسیل آمین برای فلوته کردن کائولن، از کلرید آلومینیوم به عنوان بازداشت کننده کوارتز و از پلی آکریل آمید جهت فلوکوله کردن ذرات کائولن استفاده شده است.آزمایش های فلوتاسیون در هشت مرحله انجام شده است. نتایج نشان می دهد برای هر دو کلکتور بدون حضور فلوکولانت با افزایش pH عیار و بازیابی $Al_۲O_۳$ در محصول سرریز کاهش می یابد و بهترین نتایج در pH=۳ بدست آمده است. در محیط قلیایی تنها صفحه (۰۰۱) کائولینیت کلکتور جذب می کند و صفحه ($\bar{۱}$۰۰) کائولینیت به خاطر داشتن Al کلکتور جذب نمی کند و هیدروفیل می ماند و در نتیجه عیار و بازیابی کاهش می یابد. برای هر دو کلکتور با افزایش غلظت کلکتور میزان بازیابی و عیار $Al_۲O_۳$ ابتدا افزایش و سپس کاهش می یابد. افزایش بیش از حد کلکتور موجب کاهش انتخاب پذیری کلکتور می شود. یونهای کلرید آلومینیوم نقش مهمی در فلوتاسیون دارند از طرفی باعث بازداشت کواتز می شوند و از طرفی دیگر باعث افزایش جذب کلکتور روی کائولینیت می شوند. البته افزایش بیش از اندازه کلرید آلومینیوم بر روی عملکرد آن تاثیر منفی دارد. مقدار نرمه نیز در فرایند فلوتاسیون بسیار موثر است. با حذف ذرات زیر ۴۰ میکرون یا ۲۰ میکرون در همه شرایط عملکرد فلوتاسیون بهبود یافته است. کلکتور پلی آکریل آمید با صفحات ($\bar{۱}$۰۰) پیوند هیدروژنی می دهد و ذرات کائولینیت را مجتمع می کند. نتایج نشان می دهد استفاده از پلی آکریل آمید موجب بهبود فلوتاسیون ذرات کائولینیت در pH های قلیایی و خنثی و و در حضور ذرات نرمه می شود. با غلظت ۳۰۰ گرم بر تن کلکتور دودسیل آمین و ۵۰۰ گرم بر تن بازداشت کننده کلرید آلومینییم۵۰ گرم بر تن کف ساز روغن کاج و ۱۵ گرم بر تن فلوکولانت پلی آکریل آمید و بدون نرمه گیری و در pH=۷، محصولی با عیار $Al_۲O_۳$ و $SiO_۲$ به ترتیب ۳۷/۱۹ و۵۴/۱۹ درصد و بازیابی وزنی و کارایی جدایش به ترتیب۳۴/۴۳ و۷۸/۴۸ درصد بدست آمده است.

کلمات کلیدی: کائولن، زنوز ، ستیل پریدینیوم کلرید، دودسیل آمین، کلرید آلومینیوم، پلی آکریل آمید، فلوتاسیون

فهرست مطالب

عنوان صفحه

۱-کلیات..... ۱
۱-۱کانی شناسی کائولن..... ۲
۱-۲ناخالصی های کائولن و ضرورت فرآوری آن ۳
۱-۳روش های متداول فرآوری کائولن ۴
۱-۳-۱روش خشک ۷
۱-۳-۲روش تر ۸
۱-۳-۲-۱ جدا کردن فازهای جامد از مایع در روش فرآوری مرطوب ۱۰
۱-۳-۲-۲فلوتاسیون ۱۴
۱-۳-۲-۳ کواگولاسیون ـ فلوکولاسیون انتخابی..... ۱۷
۱-۳-۲-۴ روش های بیولوژیکی ۱۸
۱-۳-۲-۵ الکترواسمز ۱۸
۱-۴مصارف عمده کائولن ۱۹
۱-۴-۱کاغذسازی ۲۱
۱-۴-۲رنگ سازی..... ۲۳
۱-۴-۳سرامیک‌سازی ۲۳
۱-۴-۴نسوز ۲۵
۱-۴-۵پلاستیک..... ۲۵
۱-۴-۶کاربرد شیمیایی ۲۶
۱-۴-۷داروسازی ۲۶
۱-۴-۸مصالح ساختمانی ۲۷
۱-۵معدن کائولن زنوز ۲۷
۱-۶ کارخانه کائولن شویی زنوز ۳۱
۱-۶-۱ واحد خردایش..... ۳۲
۱-۶-۲آسیای فایفر غلتکی..... ۳۳
۱-۶-۳کلاسیفایرمارپیچی (سرند حلزونی)..... ۳۴
۱-۶-۴بخش هیدروسیکلون ۳۵

۱-۶-۵ تیکنر استوانه ای پیوسته ۳۵
۱-۶-۶ فیلتر پرس ۳۶
۱-۶-۷ خشک کن ۳۶
۱-۶-۸ استخرته نشینی ۳۷
۱-۶-۹ سدهای باطله ۳۷
۱-۷ بیان مسئله ۳۸
۱-۸ اهداف تحقیق ۳۹
۲-مروری بر تحقیقات انجام شده ۴۰
۲-۱ بررسی تأثیر کلکتور، PH ، طول زنجیر یونی در فلوتاسیون کاتیونی کائولن: ۴۳
۲-۲بررسی امکان جدایش کائولن از دیاسپور با استفاده از فلوتاسیون معکوس :..... ۴۳
۲-۳سیستم عوامل شیمیایی جدید مورد استفاده در فلوتاسیون کائولن :..... ۴۴
۲-۴نقش ماکرومولکولها در فلوتاسیون کائولن ۴۵
۲-۵ امکان فرآوری کائولن معدن میرآخور با هدف کاهش سیلیس ، آهن و افزایش میزان Al_2O_3 ..... ۴۵
۲-۶ بررسی رفتار الکتروسینتکی کائولینیت..... ۴۶
۲-۷بررسی امکان بازیابی سیلیس از سد باطله کارخانه فرآوری کیانیت ۴۶
۲-۸ بررسی بازیابی کوارتز از سد باطله کارخانه فرآوری کائولینیت..... ۴۶
۲-۹ بررسی اثر جانشینی درفلوتاسیون کائولینیت با استفاده از آمین نوع سوم دودسیل ۴۷
۲-۱۰ رفتار غیرطبیعی فلوتاسیون کائولن با استفاده از کلکتور دودسیل آمین با توجه به ساختار بلوری کائولن..... ۴۸
۲-۱۱ پایداری رفتار فلوتاسیون سیلیس در حضور روغن غیرقطبی و کلکتور کاتیونی ۴۸
۲-۱۲ پرعیارسازی کائولن شمال برزیل..... ۴۸
۳-روش و تحقیق..... ۵۰
۳-۱تجهیزات..... ۵۱
۳-۲تهیه و آماده سازی ۵۱
۳-۳آزمایش های شناسایی نمونه..... ۵۱
۳-۳-۱مطالعات پراش اشعه ایکس(XRD) ۵۱
۳-۳-۲آنالیز شیمیایی نمونه..... ۵۲
۳-۳-۳مطالعات کانی شناسی ۵۲
۳-۳-۴آنالیز دانه بندی نمونه..... ۵۲

۳-۴ آزمایش های فلوتاسیون ۵۲
۳-۴-۱ بررسی تاثیر pH در درفلوتاسیون با استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید(مرحله اول) ۵۴
۳-۴-۲ بررسی تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید (مرحله دوم) ۵۴
۳-۴-۳ بررسی تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم به عنوان بازداشت کننده درفلوتاسیون با کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید (مرحله سوم) ۵۵
۳-۴-۴ بررسی تاثیر pH درفلوتاسیون با کلکتور دو دسیل آمین (مرحله چهارم) ۵۵
۳-۴-۵ بررسی تاثیر غلظت دودسیل آمین (مرحله پنجم) ۵۶
۳-۴-۶ بررسی تاثیر pH در فلوتاسیون با کلکتور دودسیلآمین و فلوکولانت پلی آکریل آمید (مرحله ششم). ۵۷
۳-۴-۷بررسی تاثیر غلظت PAM در فلوتاسیون با کلکتور دودسیل آمین (مرحله هفتم) ۵۸
۳-۴-۸ بررسی تاثیر غلظت بازداشت کننده در درفلوتاسیون با کلکتور دودسیل آمین و فلوکولانتPAM و (مرحله هشتم) ۵۸
۴-نتایج تحقیق و تحلیل داده ها ۶۰
۴-۱نتایج آزمایش های شناسایی نمونه ۶۱
۴-۱-۱نتایج مطالعات پراش اشعه ایکس ۶۱
۴-۱-۲نتایج آنالیز شیمیایی نمونه ۶۲
۴-۱-۳ نتایج مطالعات کانی شناسی ۶۲
۴-۱-۴ نتایج آنالیز دانه بندی نمونه ۶۴
۴-۲نتایج و تحلیل آزمایش های فلوتاسیون ۶۶
۴-۲-۱ نتایج و تحلیل آزمایش های تاثیر pH در درفلوتاسیون با کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید (مرحله اول) ۶۶
۴-۲-۲ نتایج و تحلیل آزمایشهای تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید (مرحله دوم) ۷۰
۴-۲-۳ نتایج و تحلیل آزمایشهای تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم در فلوتاسیون با ستیل پریدینیوم کلرید (مرحله سوم) ۷۲
۴-۲-۴ نتایج و تحلیل آزمایشهای تاثیر pH در فلوتاسیون باکلکتور دو دسیل آمین (مرحله چهارم) ۷۵
۴-۲-۵ نتایج و تحلیل آزمایشهای تاثیر غلظت دودسیلآمین (مرحله پنجم) ۷۸
۴-۲-۶ نتایج و تحلیل آزمایشهای تاثیر pH در فلوتاسیون با کلکتور دو دسیل آمین و فلوکولانت پلی آکریل آمید (مرحله ششم) ۸۰
۴-۲-۷ نتایج و تحلیل آزمایشهای بررسی غلظت PAM در فلوتاسیون با کلکتور دو دسیل آمین (مرحله هفتم) ۸۳

۴-۲-۸ نتایج و تحلیل آزمایشهای بررسی تاثیر غلظت بازداشت کننده در فلوتاسیون با کلکتور دودسیل آمین و فلوکولانت PAM و (مرحله هشتم)..... ۸۵
۵-نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۸۹
۵-۱نتیجه گیری..... ۹۰
۵-۱-۱-نتایج مرحله اول(تاثیر pH در فلوتاسیون کائولن با استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید) .. ۹۰
۵-۱-۲-نتایج مرحله دوم (تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم)..... ۹۰
۵-۱-۳- نتایج مرحله سوم (تاثیر غلظت بازداشت کننده در فلوتاسیون با ستیل پریدینیوم) ۹۱
۵-۱-۴- نتایج مرحله چهارم (تاثیر pH در فلوتاسیون با استفاده از دودسیل آمین) ۹۱
۵-۱-۵- نتایج مرحله پنجم (تاثیر غلظت کلکتور در فلوتاسیون با دو دسیل آمین)..... ۹۲
۵-۱-۶- نتایج مرحله ششم (تاثیر pH در فلوتاسیون با دو دسیل آمین و در حضور PAM) ۹۲
۵-۱-۷- نتایج مرحله هفتم (تاثیر غلظت PAM در فلوتاسیون با دو دسیل آمین)..... ۹۳
۵-۱-۸- نتایج مرحله هشتم (تاثیر غلطت بازداشت کننده در فلوتاسیون با دو دسیل آمین و در حضور PAM) ۹۴
۵-۱-۹- شرایط بهینه مراحل هشت گانه: ۹۴
۵-۲ پیشنهادات ۹۹

فهرست اشکال **صفحه**

شکل۱- ۱طبقه بندی کائولن به روش تر ۹
شکل۱- ۲مراحل فرآوری کائولن به روش تر همراه با جداکننده مغناطیسی و فروشوئی ۱۰
شکل۱- ۳مدار فراوری کارخانه کائولن شویی زنوز..... ۳۲

شکل۲- ۱ ازیابی کائولن با استفاده از کلکتور CPCI و بازداشت کننده وآلومینیوم سولفات ۴۵

شکل۴- ۱ نمودار نتایج مطالعات پراش اشعه ایکس ۶۱
شکل۴- ۲تصاویر میکروسکوپی از مقاطع نازک باطله کارخانه کائولن شویی زنوز ۶۳
شکل۴- ۳نتایج مربوط به آنالیز دانه بندی سرندی..... ۶۵
شکل۴- ۴نتایج آنالیز دانه بندی لیزری بر حسب درصدحجمی باقیمانده..... ۶۵
شکل۴- ۵نتایج آنالیز دانه بندی لیزری بر حسب درصد حجمی عبوری ۶۶
شکل۴- ۶ تاثیر pH در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 فلوتاسیون با استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید.. ۶۷
شکل۴- ۷ تاثیر pH در عیار Al_2O_3 و SiO_2 فلوتاسیون با استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید..... ۶۸
شکل۴- ۸ ساختار بلوری کائولنینیت ۶۹
شکل۴- ۹ اجتماع ذرات آبدوست..... ۶۹
شکل۴- ۱۰تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 ..... ۷۱
شکل۴- ۱۱تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید در عیار Al_2O_3 و SO_2 ..... ۷۲
شکل۴- ۱۲تجمع تصادفی ذرات کائولن ۷۳
شکل۴- ۱۳تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم در عیار Al_2O_3 و SiO_2 در فلوتاسیون با ستیل پریدینیوم کلرید
..... ۷۴
شکل۴- ۱۴تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 در فلوتاسیون با ستیل پریدینیوم کلرید
..... ۷۵
شکل۴- ۱۵تاثیر pH درعیار Al_2O_3 و SiO_2 درفلوتاسیون با استفاده از کلکتور دو دسیل آمین ۷۷
شکل۴- ۱۶تاثیر pH در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 درفلوتاسیون با استفاده از کلکتور دو دسیل آمین ۷۷
شکل۴- ۱۷تاثیر غلظت دودسیل آمین در عیار Al_2O_3 و SiO_2 ..... ۷۹
شکل۴- ۱۸تاثیر غلظت دودسیلآمین در بازیابی AL_2O_3 و SiO_2 ..... ۸۰
شکل۴- ۱۹مدل شماتیک فلکولاسیون کائولینیت برای کمک به فلوتاسیونی کاتیونی..... ۸۱
شکل۴- ۲۰تاثیر pH در عیار Al_2O_3 و SiO_2 با استفاده ازپلی آکریل آمید به عنوان فلوکولانت..... ۸۲

شکل۴- ۲۱تاثیر pH در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 با استفاده ازپلی آکریل آمید به عنوان فلوکولانت.....۸۳
شکل۴- ۲۲تاثیر غلظت PAM در بازیابی SiO_2 و Al_2O_3.....۸۴
شکل۴- ۲۳تاثیر غلظت PAM درعیار SiO_2 و Al_2O_3.....۸۵
شکل۴- ۲۴تاثیر غلظت بازداشت کننده در بازیابی Al_2O_3 و SiO_2 با استفاده از فلوکولانت و کلکتور دودسیل آمین ۸۷
شکل۴- ۲۵تاثیر غلظت بازداشت کننده در عیار Al_2O_3 و SiO_2 با استفاده از فلوکولانت و کلکتور دودسیل آمین ۸۷
شکل۴- ۲۶نمودار XRD کنسانتره به دست آمده در pH خنثی و بازداشت کننده ۵۰۰ ، کلکتور ۳۰۰ وفلوکولانت ۱۵ گرم برتن ۸۸

شکل۵- ۱نتایج بیشترین عیارهای به دست آمده با استفاده ازکلکتور ستیل پریدینیوم کلرید.....۹۷
شکل۵- ۲نتایج بیشترین بازیابی های بدست آمده با استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید ۹۷
شکل۵- ۳ نتایج بیشترین عیارهای به دست آمده با استفاده ازکلکتور دودسیل آمین ۹۸
شکل۵- ۴ نتایج بیشترین بازیابی های به دست آمده با استفاده ازکلکتور دودسیل آمین ۹۸

فهرست جداول **صفحه**

جدول۱- ۱عوامل شیمیایی مورد استفاده در فلوتاسیون کائولن.....۱۵

جدول۲- ۱ خلاصه تحقیقات انجام شده در زمینه روشهای فراوری کائولن با اولویت زمانی..... ۴۱

جدول۳- ۱ پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر pH در استفاده از کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید.....۵۴

جدول۳- ۲ پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید ۵۵

جدول۳- ۳ پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم با کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید ۵۵

جدول۳- ۴پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر pH در استفاده از کلکتور دو دسیل آمین ۵۶

جدول۳- ۵پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر غلظت دودسیل آمین ۵۷

جدول۳- ۶پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر pH در استفاده ازپلی آکریل آمید به عنوان فلوکولانت....۵۷

جدول۳- ۷پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر غلظت PAM ۵۸

جدول۳- ۸پارامترهای آزمایشگاهی بررسی تاثیر غلظت بازداشت کننده در درفلوتاسیون با استفاده از فلوکولانت و کلکتور دودسیل آمین ۵۹

جدول۴- ۱نتایج مطالعات پراش اشعه ایکس ۶۱

جدول۴- ۲نتایج آنالیز شیمیایی XRF ۶۲

جدول۴- ۳نتایج آنالیز دانهبندی به روش سرندکنی تر ۶۴

جدول۴- ۴نتایج بررسی تاثیر pH در فلوتاسیون با استفاده از ستیل پریدینیوم کلرید(غلظت کلکتور ۴۰۰ گرم برتن و بدون بازداشت کننده)..... ۶۷

جدول۴- ۵ نتایج بررسی تاثیر غلظت ستیل پریدینیوم کلرید (pH=۳ وغلظت بازداشت کننده ۳۰۰ گرم بر تن) ۷۱
جدول۴- ۶نتایج بررسی تاثیر غلظت کلرید آلومینیوم در فلوتاسیون با کلکتور ستیل پریدینیوم کلرید(pH=۳ وغلظت کلکتور ۶۰۰گرم بر تن) ۷۴
جدول۴- ۷نتایج بررسی تاثیر pH در فلوتاسیون با استفاده از کلکتور دو دسیل آمین (غلظت کلکتور ۶۰۰ و بازداشت کننده ۳۰۰گرم برتن) ۷۶
جدول۴- ۸نتایج بررسی تاثیر غلظت دودسیلآمین(غلظت بازداشت کننده۳۰۰ گرم بر تن و pH=۳) ۷۸
جدول۴- ۹نتایج تاثیر pH در فلوتاسیون با استفاده ازپلی آکریل آمید به عنوان فلوکولانت (غلظت کلکتور ۳۰۰ وفلوکولانت ۲۵ وبازداشت کننده ۳۰۰گرم بر تن) ۸۲
جدول۴- ۱۰ نتایج بررسی تاثیر غلظت PAM در فلوتاسیون (غلظت کلکتور ۳۰۰ و بازداشت کننده ۳۰۰گرم بر تن و pH=۷) ۸۴
جدول۴- ۱۱نتایج تاثیر غلظت بازداشت کننده در فلوتاسیون کائولن با استفاده از فلوکولانت و کلکتور دودسیل آمین (غلظت کلکتور ۳۰۰ وفلوکولانت ۱۵ گرم بر تن وpH=۷) ۸۶
جدول۵- ۱ مقایسه نتایج بهترین آزمایش های هر مرحله..... ۹۶

فصل اول

۱ـ کلیات

۱-۱کانی شناسی کائولن

کائولن سنگی معدنی است که ازنظرترکیب شیمیایی جزو آلومینوسیلیکات های ورقه ای (کانی های رسی) بوده و چون ابعادورقه ها بسیار کوچک است لذا اجتماع آنها لغزنده ودرنتیجه لمس آنها صابونی است.مهمترین کانی‌های کائولن کائولینیت، دیکیت و ناکریت هستند[۱].

کائولینیت جزو کانی های رسی هیدروکسیل است که با فرمول شیمیایی $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ مشخص شده است که در سیستم تری کلینیک متبلور می شود. چگالی آن حدود ۲/۵ و سختی آن حدود ۲/۶-۲ می باشد .کانیهای هیدروکسیل کانیهایی هستند که آب ساختمانی هستند و در سیلیکاتها این آب معمولاً به صورت یون های (OH) وجود دارد.این آب ساختمانی فقط در نتیجه تخریب ساختمانی کانی آزاد می شود.)[۱].

دسته کائولینیت های رسی از ورقه های دوطبقه‌ای تشکیل شده اند که یک طبقه از چهارسطحی های SiO_4 و یک طبقه از هشت سطحی های AlO_6 که در مورد کائولینیت به فرمول $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ برخی از اتم های اکسیژن با عامل (OH) جانشین شده اند [۱].

کانیهای دیکیت و ناکریت پلی مورف های کائولینیت هستند که برخلاف کائولینیت در سیستم منو کلینیک متبلور می شوند بنابراین فرق این دو کانی با کائولنینیت در شبکه ساختمانی آنها است. پایداری دو کانی اخیر در مقابل حرارت از کائولینیت بیشتر است[۱]. هالوییزیت نیز نوعی کائولینیت آبدار است که در آن ورقه‌های کائولینیت به وسیله مولکولهای آب به یکدیگر چسبیده اند.

کائولن به علت ظرافت ساختمانی نرم بوده و به آسانی خرد می شود البته هر چقدر مقدار درصد sio_2 در ترکیب آن بیشتر باشد، سختی آن نیز بیشتر است .از طرف دیگر عامل مهم در سختی کائولن طرز قرار گرفتن شبکه کریستالی آن می باشد [۱]. کائولن به کمک حرارت پخته شده و در 530^{oc} آب خود را از دست می دهد و با از دست دادن آب سخت تر می گردد. به علت ظرافت ساختمانی به خوبی آب را جذب کرده و توده های خمیری شکل‌پذیر و حالت پلاستیکی تشکیل می دهد. خاصیت مهمتر دیگر کائولن چسبندگی آن است که با ازدیاد درجه خلوص چسبندگی نیز زیاد

می شود. کائولینیت خالص سفید رنگ و شکننده بوده و دارای لمس چرب و صابونی است. در صورت داشتن ناخالصی مانند آهن رنگ آن سفید متمایل به زرد و زرد قهوه ای می شود[۲].

۱-۲ناخالصی های کائولن و ضرورت فرآوری آن

وجود لنزهای آهن دار و سنگهای ولکانیکی آندزیتی تا بازالتی و فلدسپات تجزیه نشده سبب کاهش کیفیت کائولن می‌گردد. از آنجایی که کائولن موارد مصرف متعددی دارد و صنایع مختلف برای تولید محصولات خود نیاز به کائولن‌هایی با مشخصات متفاوت دارند،لذا این کانه باید در طی مراحل مختلف و در جهت اهداف و تأمین خوراک مورد نیاز صنعت فرآوری گردد.

فرآوری یا کیفیت کائولن، بستگی مستقیم به میزان درصد آلومین دارد. یعنی هر چه آلومین آن بالاتر باشد. کائولین مرغوب تر و برعکس هر اندازه سیلیس آن بیشتر باشد، از اهمیت کمتری برخوردار است. به طور کلی در تغلیظ کائولن توجه به نکات زیر حائز اهمیت است[۳].

ناخالصی هایی که مصرف آنها در بعضی از صنایع مضر و در صنایع دیگر چندان اهمیتی ندارند نظیر ناخالصی‌هایی رنگ و میکا که در مصارف نسوز اهمیت ندارند. اندازه ذرات و دانه‌بندی آنها، شفافیت، مقدار انقباض، میزان نسوزی و مقاومت گسیختگی ویسکوزیته، مقاومت الکتریکی، میزان شکل‌پذیری، مقدار آلومینیوم، کوارتز، اکسید آهن و تیتان از موارد قابل توجه در مصرف کائولن در صنایع مختلف هستند[۴].

بدیهی است میزان ناخالصی در معادن مختلف متفاوت می‌باشند، لذا نحوه فرآوری و حذف این ناخالصی‌ها نیز متفاوت خواهد بود. تغلیظ کائولن عبارت است از جدا کردن ناخالصی هایی مانند زاج($KAl(SO_4)_2.12H_2O$) ، آلونیت،گچ، پیریت، فلدسپات های دگرسان نشده. کل ناخالصی‌ها را می‌توان به دو روش خشک و مرطوب از کائولن جدا کرد. در تصفیه کائولن همه ناخالصی‌ها مانند میکا باید حذف شوند. مگر در مواردی که کائولن برای مواد نسوز بکار می‌رود. بعضی از عناصر مزاحم بصورت ناخالصی همراه کائولن برای صنایع مختلف به شرح زیر هستند[۲] :

- صنعت لاستیک‌سازی: زاج، هوموس به عنوان ماده همراه
- صنعت کاغذسازی: هوموس و کوارتز، زاج به عنوان ماده همراه
- صنعت سرامیک و چینی سازی: زاج و اکسید آهن
- صنعت پلاستیک سازی: سایر اکسید آهن و دانه‌های کائولینی غیرفلسی

همچنین وجود پیریت اضافی در کائولن مضر بوده که از طریق اضافه کردن اسید سولفوریک pH محیط را به حدود ۳ رسانده و آن را جدا می‌کنند[۴].

۱-۳روش های متداول فرآوری کائولن

کائولن ابتدا به‌صورت خشک فرآوری می‌شود که شامل خردکن، خشک‌کردن و نرم‌کردن است، که محصول آن کائولن با کاربری در سرامیک، رنگ و لاستیک است. فرآوری تر، یا شستشو با آب کانی‌های غیرکائولن را جدا می‌کند، که در این مرحله کائولن با کاربری به عنوان پرکننده و پوشش حاصل می‌شود. در انواع سرندها، هیدروسیکلون‌ها پالپ رسی را می‌توان تا حد ۳۰٪ جامد در مخزن ته‌نشینی غلیظ کرد و با سانتریفوژ کردن، ۷۵٪ ذرات با اندازه ۲ میکرومتری را از آن جدا کرد، ذرات درشت با اولترافلوتاسیون ریزشده و بعد مراحل تورق زدایی، غربال کردن، فیلترکردن و خشک کردن و گاهی تکلیس برروی آن انجام می‌شود[۴].

در حالت دیگر پالپ کائولن‌دار به دو دسته ریز و درشت با استفاده از سانتریفوژ، هیدروسیکلون یا جداسازی با آب به طور ممتد تقسیم شده و بعد ترکیبات آهن‌دار رنگ‌زا از آن شسته می شود. بعد از آبگیری با تبخیر، فیلتر مکش چرخان یا فشاری، کیک کائولنی را می‌توان خارج کرد و خشک نمود و یا به صورت با ۷۰٪ جامد برای فروش به صنایع مختلف آماده کرد[۴].

درتورق‌زدایی، ذرات کائولن به صورت مکانیکی به ذرات روشن و نازکی جدا شده و در دما ۵۰۰C تکلیس می‌شوند تا ساختار بلوری مجزایی در آن بوجود آید. این عمل سبب افزایش

درخشندگی کائولن می شود. حتی بهترین کائولن های دنیا هم در حدود ۱۰ ٪ ناخالصی دارند. بنابراین بایستی آنها را تغلیظ کرد و مواد قلیایی آن را به کمتر از ۱/۵ ٪ رساند.

کائولن باید دارای مشخصات ذیل باشد:

- درصد Al_2O_3 باید از ۳۰ درصد بیشتر باشد.
- میزان اکسیدهای آهن Fe_2O_3 نباید از ۱ ٪ بیشتر شود.
- میزان اکسید تیتانیوم TiO_2 باید به ۰/۲ ٪ کاهش یابد.
- اکسیدهای قلیایی نباید از ۲ ٪ بیشتر شود.
- حداکثر میزان CaO، ۲ ٪ و MgO، ۳ ٪ باشد.
- افزایش میزان کائولینیت نسبت به سایر کانی های موجود باعث مرغوبیت کائولن می شود.
- دیر گدازی کائولن باید در حدود ۱۷۰۰ درجه سانتیگراد باشد.
- مدول گسیختگی آن باید بیش از ۱۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع باشد.

هدف از آرایش کائولن جدا کردن ناخالصی های موجود در آن است. به طور کلی عمل جدا کردن ناخالصی‌هایی نظیر زاج، گچ، پیریت و فلدسپات‌ها تجزیه نشده از کائولن را کانه‌آرایی کائولن می‌گویند و اصطلاحاً به عمل جدا کردن عناصر مزاحم نظیر سدیم، پتاسیم و کلسیم توسط آب، کائولن‌شویی گفته می‌شود.

مبنای آرایش کائولن در بیشتر موارد طبقه بندی آن از نظر ابعاد است، زیرا با توجه به قابلیت خرد شدن بیشتر کائولن نسبت به ناخالصی‌های همراه آن مثل کوارتز، میکا و همچنین توجه به این نکته که کائولن دارای خاصیت جذب آب شدیدی می‌باشد و در وقت کم بصورت خمیری با شکل‌پذیری زیاد و نیز در وقت زیاد بصورت ذرات دانه ریز در آب معلق می‌شود، می‌توان آن را از ناخالصی های همراه جدا کرد. مراحل آرایش کائولن بسته به کیفیت ماده معدنی و مشخصات مورد نظر در محصول آراسته ممکن است بسیار ساده یا پیچیده باشد. در بسیاری از موارد بافت کانسنگ به

نحوی است که در تماس با آب در ابعاد طبیعی یا پس از خرد شدن تنها در مرحله سنگ‌شکنی، ذرات کائولن از ناخالصی های همراه جدا شده به صورت دانه ریز در محیط پراکنده می‌شوند. بالطبع آرایش این نوع مواد ساده‌تر است، زیرا ناخالصی های همراه کائولن بصورت ذرات دانه درشت وجود دارند. برعکس در بعضی موارد دیگر، بافت ماده اولیه کائولن بسیار دانه ریز و متراکم است و تنها در تماس با آب ذرات کائولن نمی‌توانند از ناخالصی ها جدا شوند در این موارد گاهی لازم است که ماده معدنی تا ابعاد دانه ریزتری آسیا شود[۴].

آسیا کردن ماده معدنی از یک طرف هزینه عملیات را به شدت افزایش می‌دهد و از طرف دیگر باعث خرد شدن بخشی از ناخالصی ها تا ابعاد میکرونی می‌شود. در نتیجه این قبیل ناخالصی ها نیز همراه محصول آراسته کائولن باقی مانده و کیفیت آن را کاهش خواهند داد[۵].

ذکراین نکته ضروری است که در بسیاری از موارد ساختار کانسار وضیعت لایه‌ها و رگه‌ها به نحوی است که امکان استخراج انتخابی کائولن برای رسیدن به کیفیت بهتر وجود دارد، برای این منظور لازم است از کانسار به طور منظم نمونه برداری شود و مورد آزمایش قرار گیرد و بر مبنای نتایج حاصله روش استخراج انتخاب شود[۲].

امروزه پیشرفت های زیادی که در زمینه فرآوری کائولن صورت گرفته، که به اقتضای خواص مورد نظر صنایع مصرف کننده بوده است. به خصوص صنعت کاغذسازی که مصرف کننده عمده کائولن به عنوان پوشش دهنده می‌باشد. پیشرفت های ویژه در این زمینه عبارتند از:

- استفاده از سانتریفوژ پیوسته جهت طبقه‌بندی مواد از ابعاد میکرونی
- کاربرد همزن های قوی و بزرگ جهت تفرق کائولن در کارگاه مستقر در معدن
- حمل و نقل کائولن بصورت پالپ
- جایگزینی فیلتر پرس های صفحه‌ای و قابی با صافی های خلاءاستوانه‌ای،دوار و پیوسته.
- بکارگیری خشک کن‌های افشانگی

- نصب تکلیس کننده‌ها جهت تولید رنگدانه با درخشندگی زیاد
- گسترش تکنیک های فلوتاسیون جهت حذف ناخالصی های بسیار ریز آهن و تیتانیم.
- توسعه تکنیک های متورق سازی که صفحات انباشته شده ذرات را به صفحات مجزا و بزرگ با خواص پر کنندگی و پوششی خوب جدا کنند.
- توسعه جدا کننده‌های مغناطیسی با شدت زیاد.

روش فرآوری سنگ معدنی کائولن به نوع مصرف محصول بستگی دارد. اساساً دو روش کلی متفاوت در صنایع تولید کائولن به کار می‌رود، روش خشک و روش تر.

۱-۳-۱روش خشک

هر چند امروزه در اکثر معادن،روش های خشک به علت بازدهی و دقت کمتر به تدریج جای خود را به روش های تر داده‌اند. با این وصف ممکن است به علت کیفیت ماده اولیه، استفاده از روش های خشک امکان‌پذیر باشد و با کمبود آب در ناحیه معدنی و یا هزینه زیاد تهیه آب مورد نیاز، استفاده از روش های خشک را ضروری می‌سازد[۲،۵].

در صورت استفاده از روش های خشک رطوبت ماده اولیه بایستی کمتر از ۱ تا ۲ درصد باشد و در صورتی که بیشتر از این مقدار باشد خشک کردن آن در کوره (معمولاً کوره‌های دوار) الزامی است. عملیات خشک کردن را می توان در حین آسیا کردن مواد، با دمیدن هوای گرم به داخل آسیا انجام داد. خرد کردن کائولن به روش خشک را می‌توان با آسیاهای گلوله‌ای، چکشی و غلطکی انجام داد. طبقه‌بندی مواد خرد شده توسط کلاسیفایرهای هوایی انجام می‌شود[۲،۵].

کلاسیفایر مناسب برای کائولن با ترکیبی از جریان هوای رو به بالا و نیروی گریز از مرکز کار می‌کند و از دو مخروط، که یکی در داخل دیگری قرار گرفته است تشکیل شده است. جریان هوا بین این دو مخروط داخلی را یک و نتیلاتور تامین می‌کند. برای آنکه هوا بتواند در مسیری بسته جریان داشته باشد، برشی در جداره مخروط داخلی ایجاد شده است. مواد اولیه از طریق یک محور توخالی