شناسائی و شستشوی اولیه کائولن سمنان

دکتر منوچهر اولیازاده

استادیار گروه مهندسی معدن ـ دانشکده فنی ـ دانشگاه تهران

مهندس محمود درویشیان

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی معدن ـ دانشکده فنی ـ دانشگاه تهران

چکیده

ذخایر کوچک و متنوعی از کائولن در ایران وجود دارد. یکی از این ذخایر کائولن سمنان است که پس از استخراج، بدون فرآوری، در صنایع سرامیک به مصرف می‌رسد. هدف از مطالعات حاضر، شناسایی کامل کائولن سمنان و بررسی امکان فرآوری و مصرف آن در صنایع مختلف، بخصوص کاغذسازی بود.

با استفاده از روشهای پراش اشعه ایکس، تجزیه حرارتی، میکروسکوپ نوری و الکترونی در ابتدا کانیهای موجود و سپس خواص فیزیکی (سفیدی، دانه‌بندی) کائولن سمنان بررسی شدند. با توجه به میزان اکسیدآهن آزمایشهای شیمیایی و جدایش مغناطیسی باگرادیان بالا برای جداکردن ناخالصیهای رنگین و بهبود سفیدی کائولن سمنان انجام شد. نتایج جدایش مغناطیسی موفقیت‌آمیز بود. برای جدایش سیلیس آزاد و کاهش سایندگی کائولن سمنان، از فلوتاسیون کاتیونی استفاده شد. نتایج برای دانه‌بندی ۵۳-۱۰ میکرون رضایت‌بخش نبود.

۱ـ مقدمه

۱ـ۱ـ مشخصات

کائولن یک کانی رسی سیلیکاتی است که از دیرباز در صنایع سرامیک مورد استفاده بوده است. کائولن معمولاً همراه کانیهای سیلیکاتی دیگری نظیر کوارتز، میکا، فلدسپات، کلریت، آلونیت و نیز اکسیدهای آهن و تیتانیوم یافت می‌شود.

رسهائی که کانی اصلی آنها کائولینیت می‌باشد ممکن است به همان صورتی که استخراج می‌شوند در صنایع مختلف مورد استفاده قرار گیرند (مثلاً برای ساخت آجر یا سرامیک)، یا ممکن است آنها را از مواد زائد و زیانبخش جدا ساخته و مورد استفاده قرار داد. آمار نشان می‌دهد که میزان تولید جهانی کائولن تصفیه شده حدود ۲۰ میلیون تن در سال و به ارزش هزار میلیون دلار است.

مصرف عمده کائولن در صنایع کاغذسازی به عنوان پوشش دهنده و یا پرکننده می‌باشد که قریب ۶۰ درصد تولید کائولن را به خود اختصاص می‌دهد. دومین مصرف‌کننده اصلی کائولن، سرامیک می‌باشد. [۱]

کائولن همچنین در رنگسازی، پلاستیک‌سازی و داروسازی به کار می‌رود. قابلیت مصرف کائولن در صنایع مختلف بستگی به خلوص و خواص شیمیائی ـ فیزیکی آن دارد، اگر این خصوصیات بطور طبیعی در کائولن موجود نباشد بایستی با به کارگیری روشهای متنوع کانه‌آرائی به آنها دست یافت.

ترکیب شیمیائی کائولینیت بصورت $2H_2O$ ، $2SiO_2$ ، Al_2O_3 می‌باشد که مطابق فرمول در آن SiO_2 به میزان ۴۶/۵ درصد و Al_2O_3 به مقدار ۳۹/۵ درصد و آب بمیزان ۱۴ درصد وجود دارد. کائولینیت در هیچ واکنش شیمیائی شرکت نمی‌کند یعنی از لحاظ شیمیائی خنثی است و این خود یکی دیگر از خواص مطلوب آن می‌باشد.

مهمترین کانیهای مضر، اکسیدهای آهن و تیتانیوم هستند که رس را رنگی می‌کنند و درخشندگی آن را کاهش می‌دهند. سیلیس زیاد می‌تواند باعث سائیدگی ماشین‌آلات کاغذسازی شود. میکاها و فلدسپاتها می‌توانند بر روی خواص گرانروی، درخشندگی و سایش آن اثر بگذارند. کانیهای مونت موریلونیت، به علت افزایش گرانروی گلاب رس، می‌تواند مشکلات زیادی در ساخت کاغذ ایجاد کنند، اگر چه در بعضی کاربردهای سرامیکی ممکن است مفید باشند، چرا که مدول گسیختگی کائولن را افزایش می‌دهند. آلونیت چون در برابر حرارت تجزیه شده و گاز سولفوره آزاد می‌کند در کاربردهای سرامیکی کانی مضر محسوب می‌شود.

۱-۲-روشهای فرآوری کائولن

کائولن به دو روش خشک و تر فرآوری می‌شود. معمولاً رسهای پوششی بوسیله فرآیند تر آماده می‌شوند، زیرا محصول بایستی از لحاظ کیفی یکنواخت و تقریباً عاری از ناخالصی بوده و دارای رنگ سفیدتری باشد.

فرآیند خشک فرآیند ساده‌ای است و محصول تولیدی نسبت به محصول فرآیند تر کیفیت و ارزش پائین‌تری دارد. در فرآیند خشک خواص کائولن فرآوری شده نسبت به خوراک تفاوتی ندارد. در این فرآیند کائولن ابتدا خردشده و به ابعاد تقریباً ۳ تا ۴ سانتیمتر می‌رسد. سپس رطوبت آن کاهش یافته و به صورت پودر در می‌آید. طبقه‌بندی کائولن پودر شده توسط جریان هوا صورت می‌گیرد.

بطور کلی فرآیند تر شامل استخراج کائولن از معدن با روشهای هیدرولیکی و جدایش ابعادی مواد استخراجی توسط سرندها، هیدروسیکلونها و سانتریفوژها می‌باشد.

چنانچه کائولن بطور طبیعی از کیفیت بالایی برخوردار باشد، معمولاً ذرات کوچکتر از ۲۰ یا ۱۰ میکرون آن قابل مصرف در صنایع کاغذسازی و سرامیک می‌باشد. در صورت وجود ناخالصیهای رنگین (آهن و تیتانیوم) استفاده از روشهای پیچیده‌تری نظیر رنگزدایی شیمیائی، جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا و فلوتاسیون ضروری خواهد بود. نیاز به محصولاتی با درخشندگی و سفیدی عالی جهت صنایع کاغذسازی، منجر به ابداع روشهای جدید کانه‌آرائی مانند فلوتاسیون حامل شده است. در فلوتاسیون حامل دانه‌های کلسیت به گلاب کائولن افزوده می‌شود. گلاب با اسیدچرب و مواد شیمیائی دیگر آماده می‌شود. ذرات ریز اکسیدهای آهن و تیتانیوم به دانه‌های کلسیت چسبیده، شناور می‌شوند و کائولن تمیزشده باقی می‌ماند. [۲]

آبگیری و صاف کردن کائولن نیز به علت دانه‌ریز بودن به سهولت سایر مواد معدنی انجام نمی‌شود و معمولاً از وسایل خاصی استفاده می‌شود. در این مورد می‌توان به صافی لوله‌ای اشاره کرد. [۳]

کشور/تولیدکننده درجه	SPS ECCI (انگلستان)	Alphacote ECCI (آمریکا)	Betagloss ECCI (آمریکا)	Amazon 88 Caulim da Amazonia (برزیل)
زیر ۲میکرون%	۷۸	۸۹	۹۴	۹۲
درخشندگی ISO	۸۵/۶۰۲/۲	۸۸/۲۰۴/۵	۸۲/۲۰۶/۲	۸۵/۲۰۶/۰
گرانروی	۶۹/۷	۷۲/۵	۷۲/۰	۷۲/۲
SiO_2	۴۷/۲	۴۶	۴۵	۴۶
Al_2O_3	۳۷/۶	۳۹	۳۸	۳۷
Fe_2O_3	۰/۶۸	۰/۵۸	۱/۰	۱/۸
TiO_2	۰/۰۴	۰/۵۲	۱/۶	۰/۹۸
CaO	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۶	۰/۰۲
MgO	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۹	۰/۰۲
K_2O	۱/۲۵	۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰
Na_2O	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۰۸
L.O.I.	۱۲/۷	۱۲/۹	۱۲/۰	۱۲/۲
کائولینیت	۹۲	۱۰۰	۹۹	۹۹
میکا	۷	—	—	—
کوارتز	TR	—	—	—
فلدسپات	—	—	—	—
آناتاز	—	TR	۱	۱
زمین شناسی ذخیره	گرانیت کائولن شده (گرمابی)	کائولن رسوبی	کائولن رسوبی	لاتریت هوازده کائولن رسوبی

مشخصات انواع کائولن‌های پوششی (Coating Clays)

کشور/تولیدکننده درجه	C درجه ECCI (انگلستان)	Arrors 20B Arrors (فرانسه)	Acae ECCI (آمریکا)	Pittong ECCI (استرالیا)	Alphafill ECCI (برزیل)
بالای۲ میکرون%	۵/۲	۱۵	۶	۲	۲۱
زیر ۲میکرون%	۵۰	۲۹	۲۲	۷۸	۲۰
درخشندگی ISO	۸۱/۰۰۵/۵	۸۲/۲۰۶۰۷	۸۲/۲۰۲/۰	۸۰/۲۰۹/۵	۸۱/۰۶۸/۲
SiO_2	۴۷/۲	۴۸	۴۶	۴۷	۴۶
Al_2O_3	۳۲/۲	۳۲	۳۸	۳۸	۳۹
Fe_2O_3	۰/۹۶	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۶۲	۰/۵۲
TiO_2	۰/۱۲	۰/۰۹	۱/۵	۰/۶۲	۰/۰۲
CaO	۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۵
MgO	۰/۱۸	۰/۲	۰/۱۰	۰/۱	۰/۰۶
K_2O	۱/۲۱	۱/۲	۰/۲۲	۰/۱۶	۰/۹۲
Na_2O	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲۰	۰/۱۱	۰/۱۷
L.O.I.	۱۲/۵	۱۲/۲	۱۲/۴	۱۲/۷	۱۲/۵
کائولینیت	۹۰	۸۹	۹۵	۹۲	۹۵
میکا	۹	۸	۲	—	۵
کوارتز	۱	۲	—	۱	TR
فلدسپات	—	۱	—	—	—
آناتاز	—	—	۱/۵	۱	—
زمین‌شناسی ذخیره	گرانیت کائولن شده (گرمابی)	گرانیت کائولن شده (هوازدگی/ گرمابی)	کائولن رسوبی	گرانیت کائولن شده (هوازدگی)	گرانیت کائولن شده (هوازدگی)

مشخصات انواع کائولن‌های پرکننده (Filler Clays)

کشور/تولیدکننده درجه	Standard p ECCI (انگلستان)	Rcablend ECCI (انگلستان)	Zettlitz IA KSVP (چک و اسلواکی)	Pleyber GX ECCI (فرانسه)	Burella 201 ECESA (اسپانیا)	cyprus:st Cyprus IM (ایالات متحده)
بالای ۴ میکرون%	۲/۲	۱۲/۶	۷/۲	۶	—	۱۲/۲
زیر ۲ میکرون%	۲۰	۲۹	۶۷/۵	۶۱	۲۹	۵۷/۶
چگالی لوله‌ها Kgf/Cm²	۱۲/۰	۵/۰	۱۳/۲	۱۰	۱۱/۴	۴/۰
تخلخل آب‌گیری%	۶۲	۶۵	۵۱/۸	۶۵	۶۲/۲	۲۰app
انقباض آب‌گیری	۰/۲۵	۲/۰	۰/۲۶	۲/۰	۱/۱۵	۱/۲
درخشندگی درحالت حرارت دیده	۹۱	۸۶	۸۱/۲	۹۱	۹۱/۲	۹۰/۲۰
میزان جذب ۱۱۸۰°C	۱۵	۱۶	۱۶/۲	۱۹	۱۹/۶	۱۶/۱
جمع شدگی	۹	۲/۵	۷/۹	۸	۵/۵	۶/۲
درخشندگی درحالت حرارت دیده	۸۸	۸۲	۹۱/۳	۸۹	۹۲/۲	۸۲/۸
میزان جذب ۱۲۸۰°C	۶	۹	۱۲/۵	۱۰	۱۵/۰	۱۲/۲
جمع شدگی	۱۲	۱۱	۱۰/۹	۱۲	۷/۵	۱۰/۴
SiO_2	۲۷/۹	۲۸/۱	۴۷	۴۸	۵۰	۴۶
Al_2O_3	۲۷/۲	۲۶/۷	۴۷	۲۶/۸	۲۶	۲۸
Fe_2O_3	۰/۶۸	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۲۲	۰/۲۲	۰/۲۲
TiO_2	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۷	۰/۳۶	۰/۰۲	۱/۶
CaO	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۰۵	۰/۰۵
MgO	۰/۲۲	۰	۰/۲۲	۰/۰۶	۰/۲۲	۰/۰۹
K_2O	۱/۵۹	۱/۹۲	۰/۹۲	۱/۲۶	۱/۲	۰/۱۶
Na_2O	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۳۰	۰/۱۰
L.O.I	۱۲/۲	۱۱/۲	۱۲/۲	۱۲/۱	۱۱/۲	۱۲/۶
کائولینیت	۸۸	۸۲	۸۹	۸۹	۷۴	۱۵-۹۲
میکا	۹	۱۲	۱۰	۹	۲۰	۲-۳
کوارتز	۱	۱	۱	۲	۶	۱
فلدسپات	۱	۲۲	—	—	—	—
آناتاز	—	—	—	—	—	۱
زمین‌شناسی ذخیره	کرانیت کائولن شده کرمابی	کرانیت کائولن شده کرمابی	کرانیت دگرگون شده کرمابی- هوازده	کرانیت دگرگونی شده کرمابی- هوازده	کرمابی/سیل تشیتی هوازده	کائولن رسوبی

مشخصات انواع کائولن‌های سرامیکی (Ceramic Clays)

جدول ۱ـ مشخصات کائولن‌های مورد مصرف در صنایع مختلف

بـمنظور بـهبود بـخشیدن بـه خـواص نـوری از قـبیل درخشندگی و کـدری در کـاغذها، رنگ‌دانـه‌ها بـعنوان مـاده پرکننده استفاده می‌شود و هزینه ساخت کـاغذ بـا جـایگزین کردن این مواد به جای خمیر کاغذ کـه بـا تـوجه بـه فـرآیـند شیمیائی آن گرانـبهاست، کـاهش مـی‌یابد. پـرکننده‌ها نسـبتاً ارزان هستند ولی باید خواص نوری و سایشی قـابل قـبولی داشته باشند. برای تولید کاغذهائی با بـراقـیت زیـاد کـائولن ارجحیت دارد، بخصوص کاغذهای سبک وزن که برای نامه، کاتالوگ و مجله استفاده می‌شود.

مصرف کائولن در سرامیکها کـاملاً شـناخته شـده است، ظروف و وسایلی که بدنه سفید دارنـد و از لعـابهای شـفاف استفاده می‌کنند، مصرف‌کننده عمده کائولن هستند. کیفیت و خواص شیمیائی ـ فیزیکی کائولنهای مورد استفاده در صنایع مختلف در جدول ۱ آمده است.

معدن کائولن سمنان، در یک منطقه غنی معدنی در مرکز استان سمنان قرار دارد. این معدن در حال حاضر توسط بخش خصوصی بهره‌برداری می‌شود. مواد استخراج شـده، سـنگ جوری و سپس برای مصرف به کـارخـانه‌های تـولید کـاشی فروخته می‌شود. کارخانه‌های سرامـیک مـعمولاً بـا اخـتلاط کانیهای رسی ترکیب مناسب برای ساخت کـاشی را فـراهـم می‌کنند. این معدن تأمین کننده ماده اولیه کارخانه‌های کـاشی خزر، کاشی اصفهان، کاشی دامغان مـی‌باشد. اسـتخراج مـاده معدنی با آتشباری صورت می‌گیرد.

در زمان نمونه‌برداری، معدن شامل چهارسینه کار بود که هر سینه کار یک ذخیره مواد معدنی و یک ذخیره باطله داشت.

پس از آتشباری مواد خردشده توسط کارگر سنگ جوری می‌شود. مواد مـعدنی و بـاطله بـه مـحلهای مـربوطه مـنتقل می‌شوند. مواد معدنی برای فروش با لودر بارگیری و توسط کامیون به شهر سمنان حمل می‌شود.

برای انجام مطالعات از هر سینه کار ۳ نمونه، حـدود یک

صدکیلوگرم، گرفته شد. یک نمونه از سینه کار و یک نمونه از دپوی مواد معدنی و یک نمونه از دپوی مواد باطله برداشته شد.

در ابتدا ترکیب شیمیائی و کانیهای آن مطالعه شد. سپس با اندازه گیری خواص مختلف فیزیکی، امکان فرآوری و کاربرد آن در صنایع مختلف به خصوص کاغذسازی بررسی شد.

۲ـ آزمایشهای انجام‌شده

۲-۱- آماده‌سازی نمونه

برای مطالعهٔ شیمیائی و کانی‌شناسی ماده معدنی، نمونه ابتدا از یک سنگ‌شکن فکی عبور داده شد. سپس هر یک از نمونه‌ها کاملاً مخلوط شده و توسط تقسیم‌کن به قسمتهای مشابه تقسیم شدند.

بطور طبیعی ذرات رس ریزدانه بوده و به آسانی در آب از ذرات درشت (معمولاً سیلیس و فلدسپات) جدا می‌شوند. در صنعت درصد مواد زیر سرند (۵۳ و یا ۴۵ میکرون) عامل تعیین کیفیت اولیه کانسنگهای کائولن است. اگر درصد مواد، روی سرند از حدی بیشتر باشد، ارزش آن کانسنگ از لحاظ اقتصادی مورد تردید واقع می‌شود. معمولاً در مرحله اول فرآوری، سنگ خردشده و بهمراه آب در همزنها به صورت گلاب در می‌آید. ذرات درشت (ماسه) جدا شده و گلاب باقیمانده به هیدروسیکلونها فرستاده می‌شود. برای تعیین میزان خردایش مناسب ۳ نمونهٔ مختلف به ابعاد زیر تهیه شدند:

۱ـ نمونه کوچکتر از ۴/۷ میلی‌متر

۲ـ نمونه کوچکتر از ۱ میلی‌متر

۳ـ نمونه کوچکتر از ۰/۵ میلی‌متر

هر یک از نمونه‌ها به همراه ماده متفرق ساز و آب به مدت چند دقیقه بهم زده شده و بعد با استفاده از سرندهای ۲۳۰ و ۲۷۰ مش، سرند شدند. مواد باقیمانده روی سرندها خشک و توزین شدند. مواد کوچکتر از ۲۷۰ مش خشک، توزین و برای تهیه بخشهای دانه‌ریز مورد استفاده قرار گرفتند. برای تعیین دانه‌بندی‌های کوچکتر از سرند ۵، ۱۰، ۲۰ میکرون از روش ته‌نشینی که بر اساس قانون استوکس استوار است، استفاده شد:

جرم مخصوص جامد در این اندازه گیری‌ها ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب منظور شد. ویسکوزیته سیال در اندازه گیری تأثیر دارد و چون در دماهای مختلف تغییر میکند لذا در زمان آزمایش، دمای محیط اندازه گیری شده و یسکوزیته مناسب در رابطه استوکس به کار برده شد.

سرعت ته‌نشینی برای ذرات ۲۰ و ۱۰ و ۵ میکرون محاسبه گردید و با توجه به ارتفاع ستون ته‌نشینی (استوانه مدرج نیم‌لیتری) زمان سقوط این ذرات محاسبه شد.

درصد جامد گلاب ۴ درصد بوده و برای پراکنده‌سازی ذرات از کالگون (هگزامتافسفات سدیم) به میزان ۰/۲ درصد جامد استفاده شد. برای پایداری ذرات pH محیط توسط سود به حدود ۹/۵ افزایش داده شد.

پس از زمانهای مشخص، گلاب از یک عمق معین کشیده شده و در ظرفی نگهداری شد. برای جدایش کاملتر، هر آزمایش برای یک دانه‌بندی، ۳ بار تکرار گردید. در پایان نمونه‌ها با دانه‌بندی‌های مختلف آبگیری شده و خشک شدند.

۲ـ۲ـ ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیائی کائولن خصوصاً میزان اکسیدهای رنگی نظیر آهن و تیتانیوم تا حدودی کاربرد آن را در صنعت تعیین میکند. به این منظور بخشهای مختلف ابعادی تهیه شده مورد

تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. برای تعیین میزان اکسیدهای مختلف از روشهای کلاسیک شیمیایی استفاده شد. نتایج تجزیه شیمیایی در جدول ۲ آمده است.

کانسنگ کائولن سمنان، با حدود ۷۴ درصد اکسید سیلیسیوم که وجود سیلیس آزاد را در آن تأئید می‌کند، بیانگر این واقعیت است که این کائولن نیز، نظیر سایر کائولنهای ایران، دارای مقدار زیادی کوارتز است. این میزان SiO_2 را می‌توان با ۴۶/۵ درصد SiO_2 یک کائولن خالص مقایسه کرد. مقدار اکسیدسیلیسیوم با کاهش دانه‌بندی کائولن کاهش یافته و بالعکس درصد اکسید آلومینیم افزایش می‌یابد. بیشترین میزان اکسید آلومینیوم در دانه‌بندی زیر ۵ میکرون است که به ۲۶ درصد می‌رسد. معذالک حتی در این دانه‌بندی میزان اکسیدسیلسیوم بیش از یک کائولن خالص است.

میزان اکسید آهن حدود ۰/۷ درصد در سنگ و بین ۰/۶ - ۰/۴ درصد در دانه‌بندیهای ریز است. میزان اکسیدکلسیم نسبتاًبالاست. وجود مقدار قابل ملاحظه‌ای اکسیدسدیم و پتاسیم در نمونه‌ها دلالت بر وجود کانیهای فلدسپات و یا میکادر کائولن سمنان می‌کند. با استفاده از روش "آنالیز ثقریبی"، سعی شد که درصد کانیهای تشکیل‌دهنده کائولن سمنان مشخص شود. نتایج در جدول ۳ آمده است.قابل ذکر است که این نتایج با این فرض که ترکیبات K_2O و Na_2O فقط در میکاها حضور دارند، بدست آمده است و لذا نتایج کاملاً دقیق نیست و فقط تصویر کلی از کانیهای تشکیل‌دهنده ارائه می‌دهد.

۲-۳- دانه‌بندی

همانطور که قبلاً ذکر شد برای تعیین میزان خردایش مناسب کائولن سمنان، ۳ نمونه با ابعاد کوچکتر از ۴، ۱ و ۰/۵ میلیمتر آماده گردید. دانه‌بندی هر یک از این نمونه‌ها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیائی کانسنگ کائولن سمنان

خردایش اولیه (میلی‌متر)	عنصر / نمونه	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	L.O.I AT 980^0C
	۱-۶۲میکرون	۷۵/۹۰	۱۲/۴۵	۰/۴۲	۰/۴۳	۲/۷	۰/۳۲	۰/۱۹	۰/۸۸	۶/۲۸
کوچکتر از ۱	۶۲-۵۳+ میکرون	۷۶/۵۰	۱۲/۳۰	۰/۵۹	۰/۴۴	۲/۲۶	۰/۵۰	۰/۱۶	۰/۸۴	۶/۰۷
میلی متر	۵۳-۰ میکرون	۷۲/۶۰	۱۶/۰۰	۰/۴۴	۰/۴۸	۱/۳۹	۰/۲۵	۰/۲۸	۱/۵۸	۶/۸۶
	۵۳-۲۰+ میکرون	۷۶/۶۰	۱۳/۱۵	۰/۳۶	۰/۴۷	۱/۷۴	۰/۴۸	۰/۲۴	۱/۰۵	۵/۴۰
	۲۰-۱۰+ میکرون	۶۶/۳۵	۱۴/۶۵	۰/۳۰	۰/۷۵	۳/۳۱	۰/۶۸	۲/۵	۰/۹۸	۱۰/۴۰
	۱۰- ۰ میکرون	۶۷/۳۵	۱۸/۸۵	۰/۲۹	۰/۴۷	۱/۳۹	۰/۵۵	۱/۳۱	۱/۸۱	۷/۶۱
	۵-۰ میکرون	۵۹/۲۰	۲۶/۰۵	۰/۵۹	۰/۱۸	۱/۳۹	۰/۳۸	۱/۳۶	۲/۰۱	۸/۰۳
	خوراک	۷۴/۴۰	۱۴/۱۷	۰/۶۹	۰/۴۱	۱/۹۱	۰/۳۳	۰/۲۹	۱/۲۶	۶/۲۲
کوچکتر از ۰/۵ (میلی‌متر)	۱۰- ۰ میکرون	۶۶/۸۰	۱۹/۲۰	۰/۵۸	۰/۴۸	۱/۴۰	۰/۶۰	۱/۳۰	۱/۷۷	۷/۵۸
کوچکتر از ۴ (میلی‌متر)	۱۰- ۰ میکرون	۶۸/۳۰	۱۹/۷۵	۰/۴۹	۰/۴۱	۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۲۴	۱/۸۹	۷/۲۸

نمونه	مسکویت	بیوتیت	کائولینیت	کوارتز
خوراک	۳/۵۷	۱۰/۶۵	۲۱/۹	۵۷/۷۵
بخش ۵- ۰میکرون	۱۶/۶۷	۱۶/۹۲	۳۲/۷۱	۲۸/۴۱
بخش ۱۰-۰میکرون	۱۶/۱۵	۱۵/۳۱	۱۶/۵۸	۴۵/۱۲
بخش ۲۰-۱۰میکرون	۱۸/۴۹	۸/۳	۱۰/۲۸	۴۹/۱۲
بخش ۵۳-۲۰میکرون	۲/۹۵	۸/۸۸	۸/۵۶	۶۷/۲۳

جدول ۳- درصد کانیهای تشکیل‌دهندهٔ کائولن سمنان در دانه‌بندیهای مختلف

تجزیه شیمیایی بخش کوچکتر از ۱۰ میکرون هر یک از این نمونه‌ها در جدول ۵ آمده است. بخش ابعادی ۱۰- میکرون برای مقایسه نتایج خردایش در دانه‌بندیهای مختلف انتخاب شد. دلیل امر ریزدانه بودن طبیعی کانیهای رسی و تجمع آنها در دانه‌بندیهای کوچک می‌باشد. مقصود از خردایش مناسب آزادسازی هر چه بیشتر ذرات رسی از متن کانسنگ است، با این شرط که حتی‌المقدور باعث خردایش ذرات سیلیس و انتقال آنها به بخشهای دانه‌بندی ریزنشود. از جدول ۵ می‌توان نتیجه گیری کرد که خردایش اولیه از ۴ میلیمتر به ۱ میلیمتر باعث افزایش میزان مواد کوچکتر از ۱۰ میکرون از حدود ۱۷ به ۲۹ درصد می‌شود، اما خردایش بیشتر (تا ۰/۵ میلیمتر) عملاً تأثیری در میزان این مواد ندارد. در مورد اکسید آلومینیوم در صورت خردایش تا ۴ میلیمتر، ۲۴ درصد اکسید آلومینیوم به بخش کوچکتر از ۱۰ میکرون انتقال می‌یابد. این میزان برای خردایش ۱ و ۰/۵ میلیمتر به ترتیب ۳۹ و ۴۰ درصد است. اکسید سیلیس در بخش کوچکتر از ۱۰ میکرون، در صورت خردایش ۴ میلیمتر، ۱۵ درصد و در صورت خردایش بیشتر به ۲۶ درصد می‌رسد که دلالت بر خردایش ذرات سیلیس دارد. در جمع‌بندی کلی می‌توان نتیجه گیری کرد که خردایش تا ۱ میلیمتر مناسب است. دانه‌بندی مواد زیر سرند نمونه ۱ میلیمتر توسط دستگاه سدیگراف تعیین گردید که d_{80} آن، ۵ میکرون تعیین شد.

مش ۲۷۰-	مش ۲۷۰-۲۳۰	مش ۲۳۰	دانه‌بندی خردایش (mm)
۵۶/۱۴	۶/۹۵	۳۶/۹۱	-۴
۵۶/۲۷	۷/۸	۳۵/۹۳	-۱
۵۹/۵۰	۸/۴	۳۲/۱	-۰/۵

جدول ۴- دانه‌بندی محصولات مختلف خردایش

Al_2O_3%	SiO_2%	میکرون ۱۰-٪	خردایش
۲۴/۰	۱۵/۸	۱۷/۲۱	-۴
۳۹/۵	۲۶/۹	۲۹/۷۵	-۱
۴۰/۰	۲۶/۵	۲۹/۵۱	-۰/۵

جدول ۵- ترکیب شیمیائی بخش ۱۰- میکرون محصولات مختلف خردایش

۲-۳- مطالعات کانی‌شناسی

شناسائی کانیهای رسی، براحتی امکانپذیر نیست. معمولاً استفاده از چند روش برای تشخیص کامل رسی ضروری است. در این بخش از مطالعات از روشهای پراش اشعه ایکس، تجزیه ، حرارتی و میکروسکوپ نوری والکترونی استفاده شد.

۳-۱- کانی‌شناسی نوری

برای شناسایی نمونه کائولن سمنان، ۱۰ مقطع نازک تهیه گردید. این مطالعات، وجود کانی کائولینیت را تأئید کرد. سایر کانیهای همراه عبارت بودند از کوارتز، ایلیت، مونت موریلونیت، کلریت. زمینه اصلی کانسنگ کائولینیتی است و ذرات کوارتز به ابعاد حدود ۳۰ میکرون دیده می‌شود. کانیهای آهن و تیتانیوم به صورت کانیهای کدر مشاهده شده‌اند.

۳-۲- پراش اشعه ایکس (XRD)

به علت ریزدانه‌بودن کانیهای رسی و تجمع آنها در بخشهای ابعادی کوچک، از نمونه کوچکتر از ۱۰ میکرون و ۱۰ تا ۵۳ میکرون، پراش اشعه ایکس تهیه شد.

کائولن در 2θ معادل ۱۲/۷ درجه به خوبی قابل تشخیص بود. شدت پیک دردانه‌بندی کوچکتر از ۱۰ میکرون بیشتر از پیک مشابه در دانه‌بندی ۲۰-۵۳ میکرون است که گواه مدعای تجمع ذرات در دانه‌بندی ریز است.

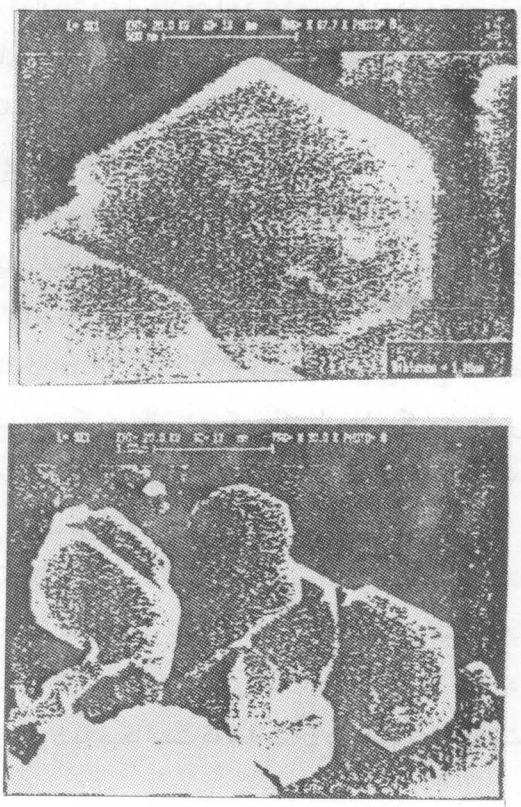
پیک کوارتز نیز با ۳/۳۴ آنگستروم کاملاً نمایان بود. شدت این پیک دردانه‌بندی ریزتر کاهش یافته که نشاندهنده کاهش درصد کوارتز در این دانه‌بندی است. پیک 2θ در حدود ده درجه مربوط به میکا است که شدت آن در دانه‌بندی ریز بیشتر است.

۳-۳-روشهای تجزیه حرارتی (TGA,DTA)

آزمایشهای حرارتی، بر روی ۵ دانه‌بندی مختلف نمونه سمنان انجام گردید. پیک گرماگیر مربوط به کائولن در حدود ۵۷۰ درجه سانتیگراد، مشاهده شد. شدت این پیک دردانه‌بندیهای ریزتر بیشتر است. متأسفانه امکان تشخیص کوارتز با این روش فراهم نشد. واکنش گرمازاکائولن نیز در ۹۷۰ درجه قابل تشخیص بود.

۳-۴-میکروسکوپ الکترونی

برای مطالعه میکروسکوپ الکترونی از ذرات کوچکتر از ۱۰ میکرون کائولن سمنان استفاده شد. از این نمونه، یک سوسپانسیون بسیار رقیق تهیه شده و قطره‌ای از آن بر روی یک نگهدارنده آلومینومی چکانده شد. سپس در دمای محیط خشک و توسط طلاپوشش داده شد. نتایج بررسی، میکروسکوپ الکترونی در شکل ۱ آمده است. همانطور که دیده میشود بلور ۶ وجهی کائولن کاملاً مشخص می‌باشد. ذرات نامنظم می‌توانند کانیهای مونت‌موریلونت و یا کلریت باشند. اندازه بلورهای کائولن بین ۱/۵-۲/۵ میکرون می‌باشد.



شکل ۱- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از کائولن

نتیجه گیری

از جمع‌بندی مطالعات کانی‌شناسی می‌توان نتیجه گیری کرد که بخش اصلی کانسنگ سمنان راکائولن تشکیل می‌دهد. وجود سایر کانیهای رسی نظیر کلریت، ایلیت، مونت موریلونیت نیز طبیعی است. مشکل اساسی وجود سیلیس آزاد و یا کوارتز است که کاربرد کائولن را در صنایع کاغذسازی محدود می‌سازد.

برای تصمیم‌گیری در مورد کیفیت کائولن‌ها، علاوه بر شناخت کانیهای همراه و ترکیب شیمیایی، خصوصیات فیزیکی آن نیز بایستی مد نظر قرار گیرند.

۴-خواص فیزیکی:

۴-۱- دانه‌بندی

دانه‌بندی کائولن سمنان در بخش قبلی آمده است. نکته قابل ذکر این است که در حدود ۶۵ درصد مواد زیر سرند کائولن سمنان از ۱۰ میکرون کوچکتر است که نسبتاً کیفیت دانه‌بندی مناسبی را به آن می‌بخشد.

۴-۲- درخشندگی (سفیدی)

درخشندگی بدون شک یکی از مهمترین خصوصیات کائولن مورد مصرف در کاغذسازی است. کائولن به طور طبیعی سفیدرنگ است اما وجود ناخالصیهای آهن و تیتانیوم رنگ آن را به زرد، کرم و حتی قهوه‌ای مبدل می‌سازد. دانه‌بندی و شکل ذرات نیز بر روی درخشندگی کائولن اثر می‌گذارند. درخشندگی به صورت نسبت نور انعکاسی از نمونه در مقایسه با نور انعکاسی از یک جسم سفید با درخشندگی ۱۰۰ در طول موج ۴۷۵ nm تعریف می‌شود. روشهای استاندارد متنوعی برای تعیین درخشندگی در دنیا وجود دارند که اختلاف کمی با هم دارند. به هر حال سازمان استاندارد بین‌المللی روش خاصی را ارائه نموده است که با توجه به آن حداقل درخشندگی لازم برای رسهای پرکننده و پوشش دهنده کاغذ به ترتیب ۸۰ و ۸۵ درصد می‌باشد. درخشندگی کائولن به دوصورت سبز و پخته شده اندازه گیری می‌شود. درخشندگی پخت، قابلیت مصرف کائولن در سرامیک را مشخص می‌کند.

درخشندگی بخشهای مختلف ابعادی کائولن سمنان،

توسط دستگاه انعکاس‌سنج Bruno-Lange اندازه گیری گردید. نتایج در جدول ۶ آمده است. یک نمونه از کائولن انگلیسی E.C.C درجه C نیز برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت. سفیدی این کائولن توسط تولیدکننده ۰/۷±۸۱ درصد گزارش شده است.

نمونه (میکرون)	درخشندگی سبز(درصد)	درخشندگی پخت	افت حرارتی (درصد)
۰-۵۳	۵۹	۶۷/۵	۶/۲۴
۲۰-۵۳	۵۱/۳	۵۹/۲	۵/۳
۱۰-۲۰	۵۷/۷	۶۱/۵	۱۰/۲۳
۰-۱۰	۶۳/۴	۶۲/۴	۷/۸۸
۰-۵	۶۴/۱	۶۵/۵	۸/۱۰
کائولن انگلیسی	۷۷/۲	۸۵/۴	۱۲/۱۹

جدول ۶

نمونه کائولن انگلیسی کوچکتر از ۱۰ میکرون می‌باشد، لذا درخشندگی آن را می‌توان با دانه‌بندی ۱۰- میکرون کائولن سمنان مقایسه کرد. درخشندگی کائولن انگلیسی در مقایسه با ارزش گزارش شده آن به میزن ۳-۴ واحد کمتر است که این امر می‌تواند به دلیل تفاوت دو روش اندازه گیری متفاوت باشد. ارزش درخشندگی کائولن سمنان می‌تواند قدری بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده فوق باشد. اما به هر حال درخشندگی این بخش ابعادی سمنان، مشابه کائولن انگلیسی، حدود ۱۴ درصد از آن کمتر است. وجود حدود ۰/۳ درصد آهن در این دانه‌بندی را می‌توان دلیل درخشندگی کم کائولن سمنان فرض کرد. بدیهی است بایستی با اعمال روشهای بهبود خواص نوری، نظیر جدایش مغناطیسی و رنگ زدایی، درخشندگی را تا حد مطلوب افزایش داد.

۴-۳- خواص سرامیکی

یکی از مصارف عمده کائولن، پس از کاغذسازی، ظروف چینی (بدنه سفید و سرامیک) می‌باشد. مصرف کائولن در سرامیک در کشور ما شناخته شده‌تر از مصرف آن در کاغذسازی است. به منظور بررسی کیفیت کائولن سمنان از نقطه نظر سرامیک، یک نمونه زیر ۵۳ میکرون تهیه و خواص مختلف آن به شرح جدول زیر تعیین شد.

نمونه	درصد رطوبت	درصد انبساط بعد از پرس	مقاومت خام Kg/Cm_2	درصد انقباض	درصدپرت حرارتی	درصدجذب آب	مقاومت بعد از پخت Kg/Cm_2
بخش μm ۰-۵۳	۵/۷	۰/۵	۳/۸	۶/۵۷	۶/۱۲	۸/۷۰	۳۵۰

جدول ۷- خواص سرامیکی کائولن سمنان (کوچکتر از ۵۳ میکرون)

در مقایسه با مواد مصرفی درساخت کاشی، درصد انقباض بدنه بسیار بالا می‌باشد، که می‌تواند به دلیل وجود ذرات سیلیس آزاد باشد. رنگ نمونه بعد از پخت کرم و تیره می‌باشد که از کیفیت آن می‌کاهد.

مقاومت خام بدنه در مقایسه با کائولنهای سرامیکی تا حدی کم است.

۵- فرآوری کائولن سمنان

۵-۱- رنگ‌زدایی شیمیائی

همانطور که ذکر شد درخشندگی، از مهمترین خواص کائولن مورد مصرف در کاغذسازی است. اندازه گیری درخشندگی کائولن سمنان نشان داد که درخشندگی آن در حد قابل قبولی نیست. در این مرحله سعی گردید با استفاده از روشهای مختلف، درخشندگی آن را تا حد ممکن افزایش داد، از دو روش رنگ‌زدایی شیمیایی و جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا استفاده شد.

۵-۱-۱ رنگ‌زدایی شیمیایی

رنگ‌زدایی شیمیایی، یکی از متداولترین روشهای بهبود رنگ کائولن است. در این روش کائولن به صورت گلاب با ۲۵ـ۳۰ درصدجامد، درآمده و سپس pH محیط توسط اسیدسولفوریک به ۳ کاهش می‌یابد. وجود اسید در محیط باعث حل شدن بعضی از ترکیبات آهن‌دار می‌شود. سپس یک عامل احیاءکننده قوی نظیر هیدروسولفیت سدیم و یا روی به

محیط افزوده می‌شود تا آهن ۳ ظرفیتی را به آهن ۲ ظرفیتی تبدیل کند. معمولاً یک نمک پلی‌فسفات به مراحل آخر رنگ‌زدایی افزوده می‌شود تا از اکسیداسیون مجدد مواد صافی شده و تغییر رنگ آن جلوگیری شود. نمک ۲ ظرفیتی آهن در آب محلول است و می‌توان آن را در مرحله آبگیری از کائولن جدا کرد.

ذرات کوچکتر از ۱۰- میکرون کائولن سمنان تحت عملیات رنگ‌زدایی شیمیایی قرار گرفت. شرایط آزمایش را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود. ۲۰ گرم نمونه در ۲۰۰میلی‌لیتر آب مقطر ریخته شد. pH محیط با افزودن اسیدسولفوریک در حد ۳ تنظیم گردید. گلاب بر روی صفحه داغ با همزن مغناطیسی قرار داده شده و پس از افزودن مقادیر مختلف هیدروسولفیت سدیم، گلاب در حرارت ۵۵ درجه به مدت ۳۰ دقیقه دیگر بهم زده شد. سپس گلاب فیلتر شده و باآب شسته شده نمونه در خشک‌کن، خشک و سپس پودر شد. سه آزمایش با مقادیر مختلف هیدروسولفیت سدیم یعنی ۲ درصد، ۱ درصد و ۰/۵ درصد جامد انجام شده و در آزمایش چهارم از H_2O_2 استفاده شد تا در صورت وجود مواد آلی بتوان آنها را از نمونه پیش از رنگ‌زدایی جدا کرد، این مرحله از آزمایش در حرارت ۹۰ درجه انجام شد. سپس گلاب آبگیری شده و جامد خشک گردید. مواد جامد در مرحله بعد، در شرایط مشابه آزمایشات قبلی رنگ‌زدایی شد. در این بخش از آزمایش ۱ درصد هیدروسولفیت سدیم نسبت به جامد افزوده شد.

نمونه‌های خشک‌شده سپس برای تعیین درصد درخشندگی مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج در جدول ۸ آمده است. درخشندگی پخت پس از حرارت دادن نمونه در ۱۲۵۰ درجه‌سانتی‌گراد اندازه گیری شده است.

شماره آزمایش	درصد هیدروروسولفیت به جامد	درخشندگی سبز (درصد)	درخشندگی سرخ (درصد)	افت حرارتی (درصد)
اول	۲	۷۲/۲	۷۶/۵	۶/۳۲
دوم	۱	۷۲/۵	۷۷/۵	۶/۲۹
سوم	۰/۵	۷۰/۹	۷۵/۰	۶/۲۷
چهارم	H_2O_2+۱	۷۲/۵	۶۲/۴	۶/۳۰
خوراک	—	۶۳/۴	۶۲/۴	—

جدول ۸ـ نتایج آزمایشهای رنگ‌زدایی شیمیایی

همانطور که دیده می‌شود رنگ‌زدایی شیمیایی کائولن سمنان با استفاده از هیدروسولفیت سدیم باعث افزایش درخشندگی سبز آن از ۶۳/۴ درصد به حدود ۷۲ درصد شده است. افزایش میزان عامل احیاءکننده باعث افزایش درخشندگی کائولن می‌شود، هر چند افزایش درخشندگی پخت نیز پس از رنگ‌زدایی شیمیایی قابل ملاحظه است اما هنوز میزان آن در حد مطلوب نیست.

۵-۲- جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا

در سالهای اخیر جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این فرآیند برای جداسازی ذرات میکرونی ناخالصیهای آهن، تیتانیوم، میکا، پیریت از رسها به کار می‌رود. این جداکننده‌ها قادر به تولید شدت میدانی برابر ۲۰کیلوگوس می‌باشند. مواد به صورت گلاب از یک محفظه حاوی الیاف فولادی که در میدان مغناطیسی قرار گرفته است عبور داده میشود.مواد مغناطیسی، داخل محفظه باقی می‌ماند و مواد غیرمغناطیسی از محفظه عبور می‌کند. مواد جذب شده پس از قطع میدان مغناطیسی با جریان آب شستشو شده و جدا می‌شوند. برای بررسی امکان جدایش ناخالصیهای رنگین از کائولن سمنان، مواد کوچکتر از ۱۰ میکرون کائولن سمنان جدا شد و سپس در شدت میدانهای

مختلف مغناطیسی از یک جداکننده مغناطیسی با گرادیان بالاساخت شرکت سالا عبور داده شد. نتایج آنالیز شیمیایی محصولات مختلف و در خشندگی آنها در جدول ۹ آمده است. نمونه صورت گلاب درآمده و برای پراکندگی ذرات، ۰/۴ درصد جامد پلی فسفات سدیم افزوده شد. pH آن بین ۱۰-۹/۵ تنظیم شد. سرعت خوراک‌دهی ۶۶/۸ میلیمتر بر ثانیه بوده و از ماتریکس ۳/۵WM استفاده شد.

TiO_2(%)	Fe_2O_3(%)	درخشندگی	درخشندگی	محصول	آزمایش
		سرخ (٪)	سبز (٪)		
۰/۳۰	۰/۴۴	۹۲/۵	۷۸/۶	غیرمغناطیسی	اول
۲/۰۰	۱/۲۹	۵۰/۱	۶۰/۱	مغناطیسی	(۱/۱۶ تسلا)
۰/۴۵	۰/۴۶	۹۰/۴	۷۷/۰	غیرمغناطیسی	دوم
۱/۳۵	۱/۶۹	۴۹/۹	۶۱/۱	مغناطیسی	(۱/۶ تسلا)
۰/۴۴	۰/۳۸	۹۰/۱	۷۵/۸	غیرمغناطیسی	سوم
۱/۵۰	۱/۸۹	۴۶/۲	۵۹/۲	مغناطیسی	(۲/۰ تسلا)
۰/۴۹	۱/۰۰	۶۲/۴	۶۳/۴		خوراک

جدول ۹ـ نتایج آزمایشهای جدایش مغناطیسی

نتایج جدایش مغناطیسی نشان داد که می‌توان محصولی با درخشندگی ۷۸/۶ درصد تولید نمود. نتایج سفیدی پخت بسیار مثبت است، محصول جدایش مغناطیسی براحتی از نقطه نظر خواص ظاهری با محصولات کائولن سرامیکی مرغوب قابل رقابت است. با توجه به نتایج اولیه می‌توان انتظار داشت با بهینه‌سازی شرایط آزمایش، بتوان به محصولی با کیفیت بالا رسید. محصول مغناطیسی قابل مقایسه با محصول پرکننده کاغذ درجه E، شرکت E.C.C (درخشندگی ۱/۵+ درصد) است گر چه سایندگی محصول نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد.

۵ـ۳ـ فلوتاسیون

همانطور که قبلاً ذکر شد، وجود سیلیس آزاد در کائولن سمنان باعث کاهش کیفیت و عدم امکان استفاده آن در کاغذسازی می‌شود. با توجه به دانه‌بندی ریز کائولن، روشهای جدایش سیلیس از کائولن محدود به فلوتاسیون و فلوکولاسیون می‌شود. در مورد جدایش ناخالصیهای رنگین از کائولن با روش فلوتاسیون تحقیقات زیادی انجام شده است و بعضاً منجر به ابداع روشهای جدیدی مانند فلوتاسیون حامل شده است. اما درباره جدایش کوارتز، کارهای تحقیقاتی زیادی گزارش نشده است. یک فرآیند فلوتاسیون در مقیاس صنعتی در کارخانه خاک‌چینی انگلستان E.C.C در حال کار است که جزئیات آن انتشار نیافته است. به هر حال فلوتاسیون کائولن از کوارتز اولین بار توسط دین (۴) در سال ۱۹۳۷ گزارش شده است. هر چند جزئیات آن مشخص نشده است. کار دقیقتری توسط کلوگ [۵] صورت گرفته است که در آن کائولن با استفاده از آمین هیدروکلراید به عنوان کلکتور و لیگنین سولفات سدیم به عنوان متفرق ساز در pH حدود ۳ شناور شده است. خوراک قبل از فلوتاسیون نرمه گیری شده است. در این بخش سعی شد با استفاده از مطالعات انجام شده، امکان شناورسازی کائولن سمنان از کوارتز بررسی شود. بخش ۱۰- میکرون از نمونه زیرسرندی کائولن سمنان جداشده و از مواد ۵۳-۱۰ میکرون در فلوتاسیون استفاده شد. شرایط انجام فلوتاسیون بدین شرح بود:

کلکتور کائولن = آلکیل آمین کلراید (در آزمایشگاه آمین توسط اسیدکلرئیدریک خنثی شده و به صورت نمک محلول در آمد) به میزان ۱۵۰ گرم در تن، متفرق‌ساز: کالگون به میزان ۶۰۰ گرم در تن

کف ساز: استفاده نشد

درصد جامد: حدود ۲۰ درصد

سه آزمایش در pHهای مختلف انجام شد که نتایج آنالیز شیمیایی آنها در جدول ۱۰ آمده است.

PH	محصول	وزن (٪)	SiO_2	Al_2O_3
۲	کنسانتره	۳۱/۲۵	۷۱/۹۰	۱۵/۱۰
	باطله	۶۸/۷۵	۷۹/۷۰	۱۱/۹۰
۳	کنسانتره	۲۳/۴۵	۷۳/۵۰	۱۵/۵۰
	باطله	۷۶/۵۵	۷۹/۵۰	۱۱/۸۵
۴	کنسانتره	۲۶/۱	۷۳/۳۰	۱۵/۰۰
	باطله	۷۳/۹	۷۹/۰۰	۱۲/۱۰
	خوراک	۱۰۰	۷۸/۱۵	۱۲/۵

جدول ۱۰ - نتایج آزمایشهای فلوتاسیون

هر چند نتایج در pH های مختلف تفاوت فاحشی ندارند. اما با افزایش pH، درصد کائولن شناورشده کاهش می‌یابد.در این آزمایشات بهترین نتایج در pHبرابر ۳ بدست آمده است. اکسید آلومینیوم در کنسانتره کائولن، نسبت به خوراک۳ درصد افزایش نشان می‌دهد، که چندان رضایت‌بخش نیست. ممکن است با تمیز کردن کنسانتره بتوان به خلوص بالاتری دست یافت. بایستی توجه داشت که در خوراک ۵۳-۱۰ میکرون، احتمالاً ذرات کائولن سیلیس درگیر می‌باشند. لذا جدایش این دوکانی چندان آسان نیست. با تهیه خوراکی با دانه‌بندی ریزتر به طور مثال ۲۰-۲ میکرون احتمال دستیابی به جدایش مؤثرتری، پیش‌بینی می‌شود.

نتیجه گیری نهایی

۱ـ مطالعات کانی‌شناسی و شیمیایی کائولن سمنان نشان داد که ناخالصی عمده آن، کوارتز می‌باشد که حتی در دانه‌بندیهای ریز (کوچکتر از ۵ میکرون) به مقدار قابل توجهی وجود دارد. این مشکل در مورد اکثر کانسارهای کائولن ایران، مانند زنوزوگناباد وجود دارد. از لحاظ خواص ظاهری به علت وجود ناخالصیهای آهن و تیتانیوم (حدود یک درصد)، کائولن سمنان درخشندگی زیادی ندارد.

هر چند درخشندگی کائولن در کاغذسازی اهمیت بیشتری دارد، اما در سرامیک نیز حائز اهمیت است. سعی شد با استفاده از روشهای رنگ‌زدایی شیمیای و جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا، خواص نوری کائولن سمنان بهبود یابد. نتایج جدایش مغناطیسی با گرادیان بالا بسیار رضایت بخش بود.

برای جداسازی ذرات آزادسیلیس، چند آزمایش اولیه فلوتاسیون کاتیونیکی صورت گرفت. نتایج جدایش ضعیفی را نشان داد.

فهرست منابع

1- Highley D.E "China Clay"; Mineral Resource consulative committee, No. 26, 1984.,Uk.

2- U.S Patent 2, 990, 958.

3- Gwilliam R.D. "The E.C.C Tube Press" Filtration & Separation, 1971, (March, April).

4- Dean R.S et. al "Use of wetting Agents in Flotation", U.S. Bureau of Mines, R.I. 3333, 1973.

5- Kellogg H.H, "Flotation of Kaolinite for Removal of Quartz" , Trans of AIME, 173, 1947.