# روشهای آرایش کائولن

حسین نعمت‌اللهی

**چکیده:**

رس‌ها خانواده‌بزرگی‌ازکانی‌های‌آلومینوسیلیکاته‌آبدار را دربرمی‌گیرند که کاربرد فراوانی در صنعت دارند. **گروه‌کائولن**، بخشی از کانی‌های رسی‌است که در صنایع بسیار متنوعی مثل کاغذسازی، صنایع سرامیک، کاشی‌سازی، لعاب‌سازی، **مقره‌سازی**، لاستیک‌سازی، صنایع پلاستیک، چسب‌سازی، حشره‌کش‌ها، صنایع غذائی، تهیه کاتالیزورها، مواد جذب‌کننده، **سیمان‌سازی**، لوازم‌آرایش، صنایع شیمیائی، مداد رنگی، گچ‌نقاشی، مواد پاک‌کننده، انواع خمیرها، لینولئوم، نساجی، رنگسازی‌وغیره‌به‌کارمی‌رود.

هریک‌ازاین‌کاربردها مستلزم تهیه‌کائولنی‌باکیفیت‌مشخص است. هدف ازآرایش کائولن (که اصطلاحا "**شستشوی کائولن**" نامیده می‌شود) انجام عملیاتی روی کائولن است که کیفیت آن را برای کاربرد خاصی مناسب کند.

دراین‌مقاله ابتدا به‌اختصار درموردخواص کائولن بحث‌می‌شود. سپس کلیاتی‌درباره روشهای‌آرایش‌کائولن **بیان می‌شود** و بالاخره نتیجه بررسی‌های انجام شده روی کائولن زنوز به‌اجمال شرح داده می‌شود.

## ۱ ـ شناخت کائولن:

### ۱ ـ ۱ ـ کانی‌شناسی کائولن:

واژه "کائولن" از Kao-liang (نام‌ناحیه‌ای‌در چین) مشتق‌شده‌که‌خاک‌چینی‌سفیدرنگی درآن‌پیدا شده است.

کانی‌های‌کائولن، آلومینوسیلیکات‌های‌آبداری‌هستند که‌فرمول‌شیمیائی‌آنهاتقریبا "به‌صورت $Al_2O_3$، $2SiO_2$، $2H_2O$، است. کائولن از دولایه تشکیل شده است. یکی از این لایه‌ها از چهار وجهی‌های سیلیس و لایه دیگر از هشت وجهی‌های‌آلومین ساخته‌شده‌است. اختلاف کانی‌های‌مختلف کائولن، درجهت‌قرارگرفتن‌این‌لایه‌ها **روی یکدیگراست (۱)**.

فراوان‌ترین‌کانی‌این‌گروه‌کائولینیت‌است. **کانی‌های** دیگر این‌گروه دیکیت‌وناکریت‌اندکه جز دربعضی **کانسارهای** هیدروترمال، در سایر موارد به‌ندرت **یافت می‌شوند**.

علاوه‌برکانی‌های‌فوق، می‌توان از **کانی‌های‌دیگری** ازخانواده‌رس‌هاباساختمانی‌نزدیک‌به‌کائولن‌مانند **هالویزیت**، ورمیکولیت و ایلیت نام‌برد. هالویزیت‌بلورهای‌بلندی‌دارد وبه‌دوشکل‌دیده‌می‌شودکه‌یکی‌دارای‌ساختمانی‌مشابه‌**کائولینیت** است و دیگری حاوی دو ملکول آب تبلور **بیشتر است و در** دمای پائین (حدود ۶۰ درجه سانتی‌گراد) **به‌طور غیرقابل** برگشت تبدیل به نوع اول می‌شود. **ورمیکولیت از دو لایه**

چهاروجهی‌های سیلیس که با لایه‌ای از هشت وجهی‌های منیزیوم و آهن از هم جدا می‌شوند ، تشکیل‌شده است . این لایه‌ها توسط دو لایه‌آب ملکولی از هم جدا شده‌اند . ایلیت نیز اصطلاحی است که برای‌کانیهای‌رسی‌میکا شکل به‌کار برده می‌شود . ساختمان‌آن شامل دو لایه چهاروجهی‌های سیلیس است که با یک لایه متشکل از هشت وجهی‌های آلومینیوم ، آهن و منیزیوم ازهم‌جداشده‌اند . علاوه براین‌تعداد بیشتری یون آلومینیوم می‌تواند جانشین یونهای سیلیسیوم شود ، درنتیجه باکاهش بار الکتریکی مواجه‌می‌شود . این کاهش بار توسط یونهای پتاسیوم پایدار می‌شود .

کانی‌های‌کائولن ، معمولا " خاکی‌شکل و به‌رنگ سفید و با لمس چرب هستند . سختی آنهاکم ، حدود ۱/۳ و جرم مخصوص‌آنها حدود $2/6\ g/cm^3$ است . این‌کانی‌ها درتماس با آب ، آن‌راجذب می‌کنند و تشکیل‌خمیری‌شکل‌پذیرمی‌دهند . از این خاصیت کائولن در شکل دادن به‌آن استفاده می‌شود . کائولن دراثر خشک شدن ، خاصیت شکل‌پذیری خود را نیز از دست می‌دهدو تولید کلوخه‌هائی می‌کند که به‌راحتی‌پودر می‌شوند . این کلوخه‌ها چنانچه مجددا " در تماس با آب قرارگیرند ، شکل‌پذیری‌آغازین‌خودراکاملا " بازمی‌یابند (۲) .

باید دانست که خشک شدن خمیر کائولن همراه با کاهش حجم است . هرچند دراثراین‌خاصیت‌خمیربه‌خوبی از جدار قالب‌های‌گچی جدامی‌شود ولی خشک‌کردن نایکنواخت می‌تواند درآن تغییرشکل و ترک پدید آورد (۳) .

حرارت‌دادن بیشتر کائولن باعث از بین رفتن آب ساختمانی آن می‌شود . این عمل در حدود ۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع می‌شود و در ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌سرعت انجام می‌شود (۲) . از بین‌رفتن‌آب ساختمانی‌باعث تغییر ساختمان کائولن می‌شود و این‌امر به سخت شدن آن و ازبین‌رفتن خاصیت جذب آب‌وخمیری‌شدن درآب می‌انجامد .

کائولن‌خالص‌در دمای خیلی‌زیاد یعنی‌درحدود ۱۷۵۰درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود . ازاین‌رو کائولن از دیرگدازهای خوب به‌شمار می‌رود .

اسید کلریدریک غلیظ به‌سختی و اسید سولفوریک رقیق به‌سهولت کائولن را تجزیه می‌کنند ، ولی اگر کائولن تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت‌دیده‌باشد ، اسیدهاتقریبا " برآن بی‌اثر می‌شوند .

## ۱ ـ ۲ ـ طرزتشکیل کائولن :

کائولن از تجزیه و تبدیل‌فلدسپات‌ها یا سنگهای حاوی آنها ( مثل گرانیت ، پگماتیت ، . . . )پدید می‌آید . این‌عمل‌را " کائولینیزاسیون " گویند . کائولن پس از تشکیل ممکن است در همان محل پدیدآمدن برجا مانده باشد و یا توسط جریانهای‌سطحی‌آب (یا باد ویا یخچالها )حمل شده ، در محلی دیگر انباشته شده باشد . در نوع برجا مانده ، ناخالصی‌های همراه کائولن بقایای سنگ مادر مثل کوارتز ، میکاوغیره‌هستند و درنوع حمل‌شده ممکن‌است‌ناخالصی‌های دیگری در مسیر انتقال به‌آن افزوده شده باشد .

در طی‌مراحل مختلف تجزیه فلدسپات‌ها و تبدیل آنهابه‌کائولن ( که‌درنهایت‌ممکن‌است منجر به‌تولیدژیبسیت شود ) به‌تدریج یون‌های قلیایی و قلیایی خاکی تبدیل به نمکهای محلول شده ، از سنگ خارج‌می‌شوند و سیلیس‌موجود در ساختمان فلدسپات‌ها به‌سیلیس آزاد تبدیل می‌شود . این مراحل را می‌توان بافرمولهای زیر نشان داد (۴) .

کائولینیزاسیون‌ممکن‌است‌در شرایط مختلفی انجام شود (۴) . برای‌مثال‌در شرایط‌آتشفشانی‌گازهایی‌که‌در مرکز زمین تشکیل می‌شوند و بخارهای خیلی گرم ، ترکیبات بر و فلوئور ، دی اکسید کربن و غیره دارند ، عامل فعال‌کننده

$$K_2O.Al_2O_3.6SiO_2 + 2H_2O \longrightarrow Al_2O_3.6SiO_2.H_2O + 2KOH$$

$$Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \longrightarrow Al_2O_3.4SiO_2.H_2O + 2SiO_2$$

$$Al_2O_3.6SiO_2.H_2O \longrightarrow Al_2O_3.2SiO_2.H_2O + 4SiO_2$$

$$Al_2O_3.2SiO_2.H_2O + H_2O \longrightarrow Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$$

$$Al_2O_3.2SiO_2.H_2O \longrightarrow Al_2O_3.H_2O + 2SiO_2$$

$$Al_2O_3.H_2O + 2H_2O \longrightarrow Al_2O_3.3H_2O$$

کائولینیزاسیون‌هستند . کانسارهای‌عمیقی مانندکانسارمشهور " Cornwall انگلستان و West Deven کانادا که عمق نهایی آنها هنوز شناخته نشده است ، از این نوع هستند .

کائولن ممکن است دراثر هوازدگی به‌وجود آید . با توجه به‌اینکه‌این‌نوع‌کائولینیزاسیون تحت‌تأثیر آبهای‌سطحی حاوی دی‌اکسید کربن انجام می‌شود ، عمق محدودی دارد و نظر به‌اینکه شدت هوازدگی نسبت به‌عمق متفاوت است ، در این‌نوع‌کانسارها ، کائولن‌تشکیل‌شده‌دارای‌طبقه‌بندی‌مشخصی است . کانسارهای Auvergne در فرانسه و Passau در آلمان احتمالا " به‌این‌روش تشکیل شده‌اند .

بالاخره ، کائولن می‌تواند‌در شرایط باتلاقی تشکیل شود . مجاورت تعداد زیادی از کانسارهای کائولن آلمان با لایه‌های‌لینیتی‌نشان‌دهنده‌این‌امر است که احتمالا " آبهای باتلاق‌هائی که نمک‌های آمونیاکی و اسیدهای آلی دارند ، کائولینیزاسیون را فعال کرده‌اند .

مشهورترین کانسارهای کائولن در اروپا ، کانسار " Cernwall درانگلستان Zettlitz و Karlsbad ، درچکسلواکی ، Kemmlitz ، Bortewitz و Amberg ، درآلمان‌هستند . در ایالات‌متحده ، کانسارهای‌کائولن‌عمدتا " درامتداد ورمونت تا جورجیا و دره‌میسی‌سی‌پی وجود دارند . علاوه‌برآن چند کانسار پراکنده در غرب وجود دارد که عمده‌ترین‌آنها نزدیک Spruce Pine درکارولینای‌شمالی است . کائولن‌های‌رسوبی‌ایالات متحده در کارولینای‌جنوبی ، جورجیا و فلوریدا یافت می‌شوند .

## ۱ ـ ۳ ـ مشخصات کائولن :

مشخصات کائولن که در هر کاربرد به‌پاره معینی‌از آنها نیاز است به‌شرح زیر هستند :

### الف ـ ترکیب شیمیایی :

ترکیبات‌عمده‌ای‌که باید‌مشخص شوند‌عبارت‌اند از : L.O.I. ، $SiO_2$ ، $Al_2O_3$ ، $Fe_2O_3$ ، $TiO_2$ ، CaO ، MgO ، $K_2O$ ، $Na_2O$ .

### ب ـ کانی‌های تشکیل‌دهنده شامل :

ـ نوع و مقدار کانی‌های رسی
ـ مقدار کوارتز
ـ نوع و مقدار فلدسپاتها
ـ نوع و مقدارسایر کانیهای زاید ( کانیهای آهن ، تیتانیوم ، . . . ) .

### ج ـ خواص کائولن در داخل آب شامل :

ـ شکل‌پذیری .
ـ آب لازم برای دستیابی به‌شکل‌پذیری مناسب .
ـ گرانروی .
ـ روش متفرق کردن کائولن در آب .
ـ pH پالپ تهیه شده .

### د ـ خواص فیزیکی شامل :

ـ درصد ذرات‌درشت‌تر از ۵۳ میکرون در کائولن .
ـ توزیع دانه‌بندی محصول .
ـ حد شکستن .
ـ کاهش حجم پس از خشک شدن .
ـ کاهش حجم پس از پخت .
ـ خمش .
ـ رنگ پس از پخت .
ـ درجه دیرگدازی .
ـ سفیدی .
ـ قابلیت جذب آب .
ـ آنالیز حرارتی تفریقی

البته‌برای‌آنکه بتوان کائولن‌های‌مختلف‌را به‌خوبی بایکدیگرمقایسه‌کرد ، برای تعیین هریک‌ازمشخصات نامبرده روش استانداردی تدوین شده است .

کائولن‌ماده‌شکل‌پذیر بسیار خوبی برای‌تهیه خمیر چینی است . کائولن درصورتی‌که دارای کیفیت خوب باشد پس از پخت دارای رنگی بسیار سفید است . دراثر وجود ناخالصی‌ها حتی‌به‌مقداربسیارکم ، به‌خصوص اگرناخالصی‌ها ازترکیبات‌آهن‌باشند ، رنگ‌آن‌متمایل‌به‌خاکستری‌یازرد می‌شود .

درکاغذسازی ، از کائولن هم به‌عنوان پرکننده‌وهم به‌عنوان‌پوشش سطح کاغذ استفاده‌می‌شود . خواصی‌از کائولن ، که دراین‌مورد اهمیت دارند عبارت از دانه‌بندی ، نرمه ، ناخالصی‌های ساینده‌موجود در آن ، سفیدی ، جذب خوب جوهر و غیره است .

در لاستیک‌سازی از کائولن به‌علت خواص رنگی ، توانایی بالابردن مقاومت ، سختی و همچنین ارزانی آن استفاده می‌شود .

در صنایع پلاستیک ، از کائولن برای افزایش نرمی و جلا و کاهش هدایت حرارتی و انقباض آن و کاهش‌جذب آب و دستیابی به‌خواص فیزیکی ، الکتریکی و شیمیایی مناسب استفاده می‌شود .

در رنگسازی نیز از کائولن به‌علت سهولت تفرق ، غیرقابل‌محلول‌بودن ، قیمت‌کم ، غیرساینده‌گی‌وافزایش حجم رنگ قابل جذب استفاده می‌شود (۱) .

در بسیاری از صنایع دیگر نیز از کائولن به‌عنوان پرکننده استفاده می‌شود .

باتوجه‌به‌خاصیت‌شکل‌پذیری‌زیادکائولن ، در ساخت ظروف سفالی سفید ، چینی ، کاشی و محصولات دیگر از آن استفاده می‌شود .

## ۲ ـ آرایش کائولن :

هدف از آرایش کائولن ، جدا کردن ناخالصی‌های موجود در آن است . مبنای عملیات آرایش کائولن در بیشتر موارد طبقه‌بندی‌مواد ازنظر ابعاد است‌زیرا باتوجه به‌قابلیت خرد شدن‌بیشتر کائولن نسبت به‌ناخالصی‌های‌همراه آن مثل کوارتز ، میکا ، . . . وهمچنین توجه‌به‌این نکته‌که کائولن دارای خاصیت‌جذب‌آب شدیدی است و در رقت کم به‌صورت‌خمیری باشکل پذیری زیاد و در رقت زیاد به‌صورت ذرات دانه ریز در آب معلق می‌شود ، می‌توان آن‌را از ناخالصی‌های همراه جدا کرد .

مراحل آرایش کائولن بسته به‌کیفیت ماده معدنی و مشخصات موردنظر در محصول آراسته‌ممکن‌است بسیار ساده یاپیچیده‌باشد . در بسیاری‌ازموارد بافت ماده‌اولیه به‌نحوی است که در تماس با آب در ابعاد طبیعی یا پس از خرد شدن تنهادرمرحله‌سنگ‌شکنی ، ذرات کائولن ازناخالصی‌های‌همراه آزادشده به‌صورت ذرات‌دانه‌ریز درمحیط پراکنده می‌شوند . بالطبع‌آرایش این نوع موادساده‌تر است زیرا ناخالصی‌های همراه کائولن‌به‌صورت‌ذرات نسبتا "دانه درشت‌وجوددارند . برعکس ، دربعضی‌موارد دیگر ، بافت ماده‌اولیه کائولن بسیار دانه‌ریز و متراکم است و تنها در تماس با آب ذرات‌کائولن نمی‌توانند از ناخالصی‌ها آزاد شوند . دراین‌موارد گاهی لازم است که ماده معدنی تا ابعاد دانه‌ریزی آسیا شود . آسیاکردن ماده معدنی‌از یک طرف هزینه‌عملیات را به‌شدت افزایش می‌دهد و از طرف دیگر باعث خرد شدن بخشی از ناخالصی‌هاتاابعاد درحد میکرون‌می‌شود . درنتیجه‌این‌قبیل ناخالصی‌ها نیز همراه‌محصول آراسته کائولن باقی خواهند ماند و کیفیت آنرا کاهش خواهند داد .

ذکر این نکته ضروری‌است که در بسیاری‌از موارد ، وضعیت‌لایه‌ها ، رگه‌ها ، . . . به‌نحوی‌است‌که امکان‌استخراج انتخابی کائولن باکیفیت‌بهتر وجود دارد . برای این‌منظور لازم‌است‌ازکانسار به‌طورمنظم‌نمونه‌برداری‌شود‌ومورد‌آزمایش قرارگیردوبرمبنای نتایج‌به‌دست‌آمده روش استخراج مناسب انتخاب شود .

روشهای مختلف آرایش کائولن به‌شرح زیرند :

### ۲ ـ ۱ ـ سنگ جوری :

روش سنگ‌جوری‌دستی ،که‌شامل انتخاب‌وجداکردن قطعات نسبتا " دانه درشت ناخالصی‌های کائولن ( درحد بزرگتراز چند سانتی‌متر ) روی نوارنقاله‌توسط تعدادی‌کارگر است ، در گذشته‌رواج زیادی داشته ولی به‌علت هزینه زیاد و محدودیت در بالا بردن کیفیت محصول ، در بسیاری از نقاط ازبین‌رفته‌وجای‌خودرا به‌روشهای‌پیشرفته‌تر داده‌است .

### ۲ ـ ۲ ـ سرند کردن :

باتوجه به‌قابلیت‌خرد شدن بیشتر کائولن نسبت‌به اکثر ناخالصی‌های همراه آن ، درصورتی‌که ابعادناخالصی‌ها پس ازآزادشدن کائولن بزرگتراز چندمیلی‌متر‌باشد می‌توان آنها را به‌کمک سرند از کائولن جدا کرد . سرند کردن ممکن است به‌طریقه خشک یا تر انجام‌شود . درنتیجه سرند کردن علاوه‌برناخالصی‌های همراه‌کائولن ، ناخالصی‌های‌دیگری‌هم

که‌درحین‌عملیات با آن مخلوط شده‌اند ، ازقبیل‌قطعات‌فلزی و چوب ، قطعات بار خردکننده شکسته شده در داخل آسیا و غیره ، از کائولن جدا می‌شوند .

## ۲ ـ ۳ ـ کانال‌های طویل :

این‌روش ، روشی‌قدیمی‌است که‌درآن از کانال‌طویلی با شیب کم‌استفاده‌می‌شود که دربسترآن‌حفره‌هایی پیش‌بینی شده است . ناخالصی‌های موجود در کائولن باتوجه به‌ابعاد بزرگتری که دارند و همچنین ناخالصی‌هایی که دارای جرم مخصوص بیشتری هستند ، عمدتا " در داخل حفره‌ها سقوط می‌کنند . مقطع وشیب کانال به‌نحوی‌است که به‌تدریج‌سرعت جریان مواد در داخل کانال کاهش می‌یابد و درنتیجه ناخالصی‌های‌دانه‌ریزترنیزمی‌توانند در داخل‌حفره‌هاته‌نشین شوند . کائولن‌آراسته‌پس ازطی طول کانال از آن خار می‌شود . اشکال این روش طولانی‌بودن مسیر و زمان بیشتر موردنیاز برای آرایش و همچنین‌احتیاج‌داشتن‌به‌تعداد زیادی‌کارگراست .

## ۲ ـ ۴ ـ کلاسیفایرهای جامی :

روشی‌که‌برای‌آرایش کائولن درغرب‌کارولینای‌شمالی ، جورجیاوفلوریدابیشتربه‌کاررفته‌است ، استفاده‌ازکلاسیفایرهای جامی است (۴) . این کلاسیفایر مطابق شکل (۱) ازظرفی به شکل جام تشکیل شده است . کائولن به‌حالت پالپ از قسمت مرکزی جام وارد آن می‌شود . دراین‌قسمت ذرات دانه‌درشت ته‌نشین می‌شوند و کائولن آرایش یافته به‌آرامی از پیرامون جام سرریز می‌شود . ابعاد جام بستگی به‌حجم پالپ اولیه و ابعادکوچکترین ذراتی‌که بایستی ته‌نشین شوند دارد . ذرات ته‌نشین شده توسط تیغه‌هایی که به‌کمک تعدادی بازو به‌آرامی دوران می‌کنند ، به‌طرف‌مرکزجام هدایت‌می‌شوند و از دریچه ته‌ریز خارج می‌شوند . سپس برای‌بازیابی کائولن باقیمانده‌در بین این ذرات ،آنهارا با آب صافی‌شستشو می‌دهندو باعبور مواد از زیر تعدادی‌دوش‌آب عملیات‌شستشو را کامل می‌کنند . بدین‌ترتیب می‌توان به‌دومحصول قابل‌استفاده ، یکی کائولن عاری از ماسه و دیگری ماسه عاری از کائولن دست یافت .

## ۲ ـ ۵ ـ هیدروسیکلون‌ها :

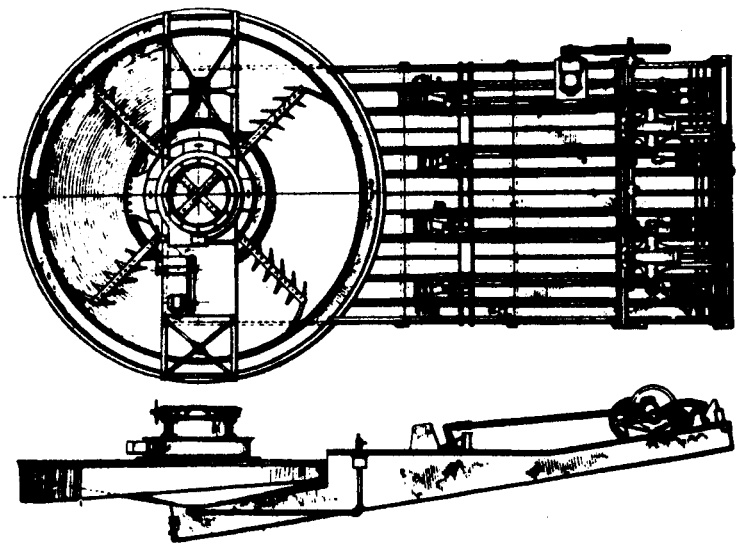
چنانچه‌آزادکردن کائولن از ناخالصی‌های همراه ، مستلزم‌خردکردن ماده اولیه‌تا ابعاد نسبتا " دانه‌ریزباشد ، به‌منظور تسریع در ته‌نشین کردن ناخالصی‌ها ، از وسایلی استفاده می‌شود که براساس نیروی گریز از مرکز کار می‌کنند .

رایج‌ترین وسیله از این‌نوع ، هیدروسیکلون است . این‌وسیله‌مشابه‌شکل ۲ از ظرفی‌استوانه‌ای ـ مخروطی تشکیل شده است که مواد به‌حالت پالپ به‌طور مماسی از قسمت استوانه‌ای‌واردآن‌می‌شوند . درنتیجه در داخل‌ظرف حرکتی دورانی‌پیدامی‌کنندکه‌باعث‌هدایت سنگین‌ترین‌ودرشت‌ترین ذرات‌به‌جداره‌مخروطی‌شکل‌ظرف و خروج‌آنهااز دهانه‌زیرین ظرف‌که‌در رأس‌مخروط قرارگرفته‌است (ته‌ریز هیدروسیکلون ) می‌شود . ذرات‌دانه‌ریز که عمدتا "متشکل از کائولن هستند ، همراه‌با قسمت عمده آب از مسیرلوله‌ای که در امتداد محور ظرف‌ودرقسمت‌بالای‌آن‌قرارگرفته‌است ( سرریزهیدروسیکلون ) خارج‌می‌شوند . بسته به‌نوع ماده اولیه و مشخصات موردنظر درمحصول‌آراسته‌نهایی می‌توان سرریزهیدروسیکلون‌را برای بهتر کردن کیفیت آن طی یک یا چند مرحله دیگر توسط هیدروسیکلون‌آرایش‌داد ، ویا برای‌بازیابی کائولن‌باقیمانده درته‌ریزهیدروسیکلون ، این‌بخش را درهیدروسیکلون‌دیگری آرایش داد . کوچکترین حد جدایش قابل دست‌یابی در هیدروسیکلون‌ها درحدود ۵ میکرون است .

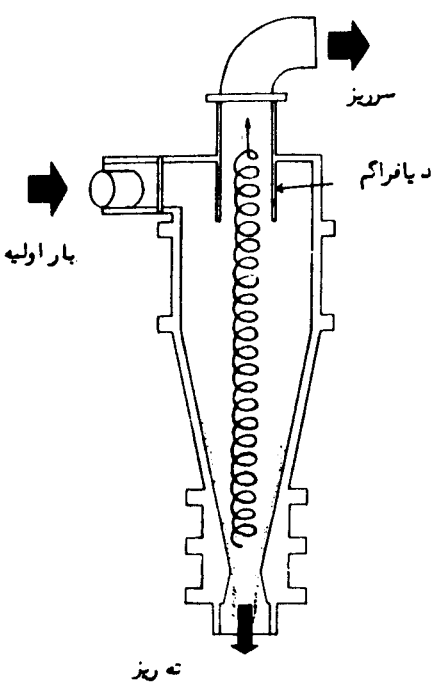
## ۲ ـ ۶ ـ دستگاه گریز از مرکز :

دستگاه‌های گریز از مرکز ، به‌عکس هیدروسیکلون‌ها که‌وسایلی‌ساکن‌هستند ، تشکیل‌شده‌اند از ظرفی‌به‌شکل‌جام ، استوانه و یا مخروط‌که با سرعتی بسیار زیاد ( درحدود ۳۵۰۰ rpm )حول محور خود گردش می‌کنند . بااستفاده‌از دستگاه‌گریز ازمرکزدائم ، باتوجه‌به‌نیروی‌گریزازمرکز شدیدی که‌برذرات‌واردمی‌شود و درنتیجه سرعت‌ته‌نشین‌شدن ذرات رابه‌شدت‌افزایش‌می‌دهند ، می‌توان‌ضمن‌صرفه‌جویی‌قابل‌توجه در فضا و دستمزد ، کائولن را آرایش داد .

رایج‌ترین نوع این وسیله ، مانند شکل ۳ از ظرفی لوله‌ای شکل تشکیل شده است که در داخل آن مارپیچی با سرعتی‌کمی‌متفاوت‌باسرعت مخروط دوران‌می‌کند . ماده‌اولیه



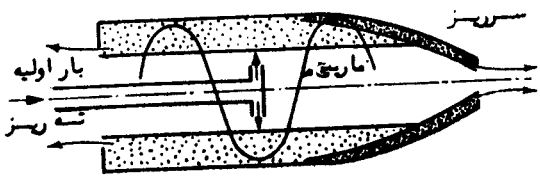
شکل (۱) ـ کلاسیفایر جامی ( Dorr-Oliver,D54 )




شکل (۲) ـ هیدروسیکلون ( اقتباس از: WILLS )

کائولن به‌حالت پالپ از قسمت مرکزی ظرف وارد می‌شود . ذرات دانه درشت تحت نیروی گریز از مرکز به‌طرف جدار داخلی ظرف هدایت و توسط مارپیچ از قسمت راس مخروط خارج می‌شوند . ذرات دانه‌ریز هم که‌عمدتا " متشکل‌ازکائولن هستند از قسمت قاعده مخروط بیرون می‌آیند .

اولیه‌کائولن به‌حالت‌پالپ ازفضای‌موجود دربین این‌رشته‌ها ، ذرات پارامغناطیسی ( کانیهای آهن ) جذب آنها می‌شوند و محصول‌خارج شده‌عاری از آهن خواهدبود . کاراین‌وسیله متناوب است ، زیرا به‌تدریج سطح رشته‌ها ازذرات ، جذب شده پوشیده می‌شود ، لذا بایستی جریان پالپ ورودی و




شکـــــل (۳) ــ دستگاه گریز از مرکز ( اقتباس از : BLAZY )

کوچکترین حد جدایش قابل‌دستیابی در دستگاه گریز از مرکز در حدود چند میکرون است . این وسیله تمیز و کم‌حجم‌وباظرفیت زیاد است . انواع‌بزرگ آن که تنهاسطحی معادل ۱۴ متر مربع را اشغال می‌کنند ، می توانند ۱۰۰ تن ماده اولیه را در ساعت آرایش دهند (۴) .

**۲ ــ ۷ ــ جداکننده‌های مغناطیسی باشدت‌زیاد :**

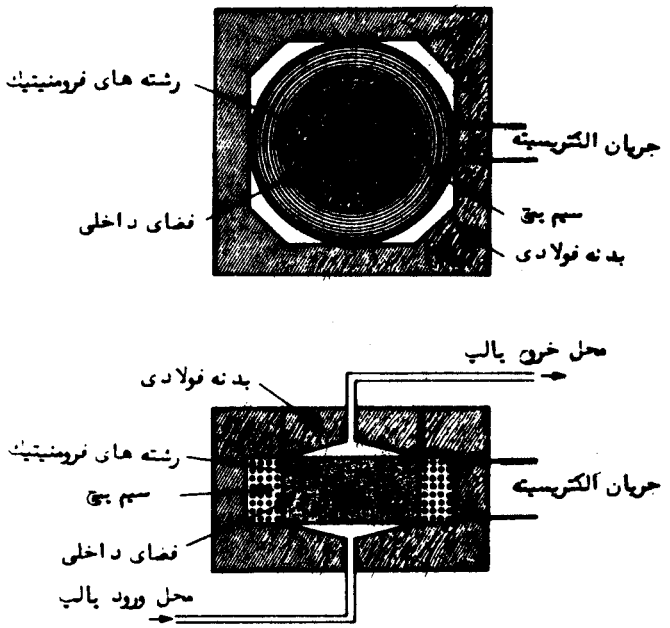
برای جداکردن کانی‌های آهن موجود در کائولن می‌توان‌جداکننده‌های‌مغناطیسی‌رابه‌کار برد . باتوجه به‌اینکه این‌نوع کانی‌ها پارامغناطیسی‌اند، باید از جداکننده‌های مغناطیسی‌باشدت‌زیاد استفاده کرد . بااین‌وصف بیشتر انواع جداکننده‌های مغناطیسی ازنظر ابعادکوچکترین ذرات دارای محدودیت هستند . جداکننده‌ای‌که‌برای‌آرایش موادی‌باابعاد درحدمیکرون ( مشابه کائولن ) قابل‌استفاده است ،جداکننده مغناطیسی با گرادیان‌زیاد ( شکل ۴ )است که فیلترمغناطیسی نام گرفته .دراین‌جداکننده ،دریک‌میدان مغناطیسی‌یکنواخت مقداری رشته‌های باریک فرومغناطیسی که حدود ۵ تا ۱۰ % فظا را اشغال می‌کنند ، قرار داده شده است . بدین‌ترتیب در مجاورت این رشته‌ها ، میدان مغناطیسی با گرادیان‌خیلی زیاد (تاحدود 1kG/μ )می‌توان‌به‌دست‌آورد . باعبورماده

همچنین جریان میدان مغناطیسی‌را قطع و با عبورآب‌صاف از داخل دستگاه ، ذرات پارامغناطیسی را خارج کرد . در نمونه‌صنعتی‌این‌وسیله که در نقاط مختلف درحال کار است ، قطر محفظه داخلی حدود ۲ متر است . دراین‌جداکننده‌ها میدانی به‌شدت ۲۰ kG ایجاد می‌شود . قدرت آنها در حدود ۵۰ kWh و ظرفیت آنها بسته به‌کیفیت محصول موردنظر ۱۰ تا ۸۰ تن در ساعت است (۵) .

**۲ ــ ۸ ــ فلـوتـاسیـــون :**

بیشتر مواد اولیه کائولن ، حاوی کانیهای‌تیتانیوم ( عمدتا "به‌صورت آناتاز )هستند که مقدار آن حدود ۱/۵ تا ۳/۵ % $TiO_2$ است . وجود این‌کانیها باعث تغییررنگ محصول‌تهیه شده از کائولن به‌زرد یا قهوه‌ای می‌شود . این کانیها را می توان به‌روش فلوتاسیون از کائولن جدا کرد .

فلوتاسیون یکی از پرکاربردترین روشهای آرایش مواد معدنی است و توسط آن می‌توان کانیهای مختلف را درابعاد ، نسبتا " دانه‌ریزاز هم جدا کرد . با این‌وصف این روش کارآیی‌خودرا درموردذرات کوچکتراز۲۰ یا ۱۰میکرون به‌شدت از دست می‌دهد .




شکل (۴) ـ جداکننده مغناطیسی با گرادیان زیاد ( اقتباس از : WILLS )

این نوع ذرات دانه‌ریز را می‌توان به‌روش " اولترافلوتاسیون " جدا کرد . در این روش ذرات دانه‌ریز آناتاز روی یک " کانی باربر " که ابعاد آن درحدودکوچکتراز ۵۳ میکرون است ، می‌چسبند و با فلوته کردن کانی باربر ، آناتاز نیز از کائولن جدا می‌شود (۶) .

تجهیزات و مواد شیمیایی موردنیاز برای روش اولترافلوتاسیون مشابه فلوتاسیون رایج مواد معدنی است . به‌عنوان کانی باربر می توان از کلسیت ، فلوئورین ، سیلیس ، باریت ، گوگرد و غیره استفاده کرد .

درعمل ، کائولن به‌صورت پالپی با غلظت وزنی ۲۰ % جامد توسط مواد زیر آماده می‌شود .

پالپ آماده شده وارد سلولهای فلوتاسیون اولیه می‌شودوبخش فلوته‌شده طی سه‌مرحله دیگر شستشو می‌شود . محصول فلوته شده نهایی عمدتا " آناتاز است . بخش‌های فلوته نشده سلولهای اولیه و شستشو مجموعا " به‌سلول‌های فلوتاسون ثانویه منتقل می‌شوند ، بخش فلوته نشده دراین سلول‌ها ، محصوص نهایی کائولن است .

## ۲ ـ ۹ ـ تفرق انتخابی :

باافزودن مقدار مشخصی از مواد متفرق‌کننده به ماده اولیه کائولن به‌حالت پالپ می‌توان به‌ماکزیموم تفرق

| | | |
|---|---|---|
| ـ سنگ آهک خرد شده ( کانی باربر ) | kg/t | ۱۰۰ تا ۲۰۰ |
| ـ سولفات آمونیوم | " | ۲/۰ تا ۴/۰ |
| ـ امولسیونی شامل tall oil | " | ۱/۵ تا ۲/۵ |
| ـ امولسیونی شامل پترونات کلسیم خنثی | " | ۱/۵ تا ۲/۵ |
| ـ امولسیونی شامل آمونیاک مایع | " | ۱/۰ تا ۲/۰ |
| ـ نفت | " | ۳/۰ تا ۵/۰ |
| ـ pH = ۹ | | |

کائولن درمحیط دست یافت . باافزودن مقداربیشتری ازماده متفرق‌کننده ، به‌تدریج این تفرق کاهش می‌یابد ولی در بدوامر می‌توان به‌وضعیتی دست یافت که در آن ذرات کائولینیت درحالتی بسیار پایدار باشند ، حال آنکه کانی‌های تیتانیوم (عمدتا " به‌صورت آناتا " ) شروع به ته‌نشین‌شدن بکنند . در این‌وضعیت می‌توان کانی‌های تیتانیوم را ازکائولن جدا کرد (۷) .

## ۲ ــ ۱۰ ــ روش‌های شیمیـایـــی :

روش‌های شیمیایی که‌شامل جدا کردن مواد از یکدیگر بااستفاده از خاصیت انحلال یک‌یا تعدادی از آنها درحلالی مناسب‌است (روش‌هیدرومتالورژی )روش‌های‌نسبتا " گرانقیمتی هستند . لذا این روش‌ها را تنها می‌توان برای مواد معدنی خاصی به‌کار برد .

درمورد کائولن ، شرایط مناسب برای انحلال آهن ، اسیدی کردن محیط برای دستیابی به pH = ۳ ، به‌توسط اسید سولفوریک است . در چنین محیطی باافزایش عامل احیاکننده‌ای قوی مثل هیدروسولفیت‌سدیوم ، آهن تبدیل‌به سولفات آهن می‌شود که نمکی‌محلول‌است‌وبه‌راحتی می‌توان آن‌را از محیط خارج کرد .

## ۲ ــ ۱۱ ــ روش‌هـای بیـولـوژیکـبـی :

میکروارگانیسم‌ها می توانند بر عناصر تأثیر کنند . درنتیجه‌تأثیربیولوژیکی ،که‌منجربه‌ایجاد محیطی‌اکسیدکننده یااحیاکننده‌می‌شود ، عناصرمی‌توانندبه‌حالت‌محلول‌درآیند . لازم به‌تذکر است که درنتیجه عوامل بیولوژیکی ، عمل عکس نیز ممکن است پدید آید ، یعنی ممکن است عناصر محلول تبدیل‌به‌ترکیبات غیرمحلول‌شده ،ته‌نشین‌شوند . کمترماده‌ای می‌تواند تحت‌تأثیر عوامل بیولژیکی قرار نگیرد . تأثیر این عوامل برروی ذخائر زغال‌سنگ ، گوگرد و فسفات از دیرزمان شناخته شده‌است . در سالهای‌اخیر نیز بررسی‌های‌انجام شده نشان‌داده‌است‌که سیلیکات‌ها نیز تحت‌تأثیرعوامل‌بیولوژیکی به‌حالت محلول درمی‌آیند و حتی کانی‌هایی که به‌عنوان غیرمحلول شناخته شده بودند نمی‌توانند درمقابل‌این‌عوامل مقاومت کنند (۸) .

میکروارگانیسم های‌هتروتروپیک‌مختلفی‌قادربه‌انحلال آهن از کانی‌های اکسیده آن ( لیمونیت ، گوتیت و هماتیت ) هستند . انحلال‌باتشکیل اسیدهای آلی و سایر متابولیت‌ها به‌صورت‌عوامل‌کمپلکس و همچنین‌احیای‌آهن‌به‌طریقه‌آنزیمی وغیرآنزیمی‌است . باپرورش‌نوعی‌قارچ‌در ۳۰ درجه‌سانتی‌گراد در محیطی مغذی حاوی ملاس چغندر به‌عنوان منبع کربن و انرژی و استفاده از آن می‌توان آهن موجود در کائولن را کاهش داد (۹) .

## ۲ ــ ۱۲ ــ الکتـرواسمـــوز :

یکی از روشهایی که‌در دهه‌های‌دوم‌وسوم‌قرن‌حاضر دراروپای‌غربی به‌کار می‌رفت ، روش الکترواسموز است . این روش باتوجه‌به‌هزینه‌های‌زیادی که دارد ( معادل ۸۸ kWh به‌ازای هر تن ماده اولیه ) ، تنها درصورت دراختیارداشتن انرژی ارزان قابل‌استفاده است .

دراین‌روش از باردارشدن‌ذرات‌جامددرآب‌وجذب آنهاروی‌الکترودهایی با بارمخالف‌استفاده می‌شود . نخست تصورمی‌شدکه در شرایطی‌از محیط‌که ذرات‌کائولن بار منفی دارند ، ناخالصی‌های همراه آن‌مثل کوارتز ،میکا و کانی‌های آهن بار مثبت دارند و بنابراین ذرات کائولن روی‌آند و ناخالصی‌ها روی‌کاتد جمع می‌شوند ، حال‌آنکه چنین‌نیست . بنابراین این‌روش تنها می‌تواند برای فیلتراسیون الکتریکی ذرات خیلی دانه‌ریز به‌کار رود .

برمبنای این روش ، واحدهایی هنوز در انگلستان درحال‌کارهستند . دراین واحدهاماده اولیه کائولن ، پس‌از به‌تعلیق درآمدن درآب ، ابتدا از حوضچه‌هایی عبور داده می‌شود و بدین‌ترتیب ذرات دانه‌درشت آن جدا می‌شوند سپس به‌داخل کانال‌های‌طویلی به‌طول ۱۶۰ متر ، عرض ۱/۳ متر و عمق ۰/۵ متر ، هدایت‌می‌شود . دراین‌کانال‌هاکه‌مدت زمان توقف مواد درآنها ۷۰ دقیقه است ، بخشی از کائولن به‌صورت لایه‌ای‌باغلظت وزنی ۳۱ % ته‌نشین می‌شود که پس از خشک‌شدن‌به‌عنوان محصول‌درجه ۲ در صنایع کاغذسازی مصرف‌می‌شود . سرریزکانال‌ها که‌دارای‌کائولن خیلی‌دانه‌ریز و با عیار زیاد است به‌دستگاه الکترواسموز هدایت می‌شود . این‌وسیله تشکیل شده است از بدنه‌ای ازجنس شبکه‌ای فلزی به‌شکل‌نیم‌استوانه در نقش کاتد و محوری‌گردان‌در داخل‌آن به‌طول ۱/۵ متر و قطر ۰/۶ متر در نقش‌آند . این‌وسیله با

با جریانی یکسوبه‌شدت ۷۰ آمپر و اختلاف پتانسیل ۱۰ ولت تغذیه می‌شود. ذرات کائولن روی آند می‌چسبند و لایه‌ای به‌ضخامت ۳ میلی‌متر تشکیل می‌دهند که ازروی آند تراشیده می‌شود. دراین‌روش تنها ۹ % کائولن در آب خروجی باقی می‌ماند (۴).

روش تقریبا " مشابهی در چکسلوالکی به‌کار می‌رود و در آن از فیلترپرس‌هائی استفاده می‌شود که یک آند در درون هر محفظه فیلتر و یک کاتد در پشت آن دارد. آندها به‌تشکیل کیک روی‌پارچه فیلتر کمک می‌کند و کاتدها باعث کشش آب می‌شوند (۴).

## ۳ – ۱۳ – رسیدن در هوای آزاد:

دراین‌روش، مواد در هوای آزاد تحت‌تأثیر آفتاب، باد، باران و یخبندان می‌رسند. برای این‌منظور، مواداولیه کائولن‌به‌صورت لایه‌ای به‌ضخامت‌حداکثر ۱ متردر هوای‌آزاد قرار می‌گیرند. تحت‌تأثیر عوامل جوی، کلوخه‌ها به‌تدریج پودر می‌شوند و قابلیت‌نفوذ بیشتری برای آب باران و هوا پیدا می‌کنند. چنانچه کانی پیریت در کائولن موجود باشد به‌تدریج تبدیل به‌سولفات آهن می‌شود که نمکی محلول است وبه‌توسط آب باران‌شسته شده، از توده کائولن خارج می‌شود. وانگهی بااین‌عمل شکل‌پذیری کائولن افزایش می‌یابد. ازاین روش هنوز درانگلستان برای کائولن‌هایی‌که در ساخت ظروف چینی به‌کار می‌رود، استفاده می‌شود (۳).

## ۲ – ۱۴ – روش‌های خشک:

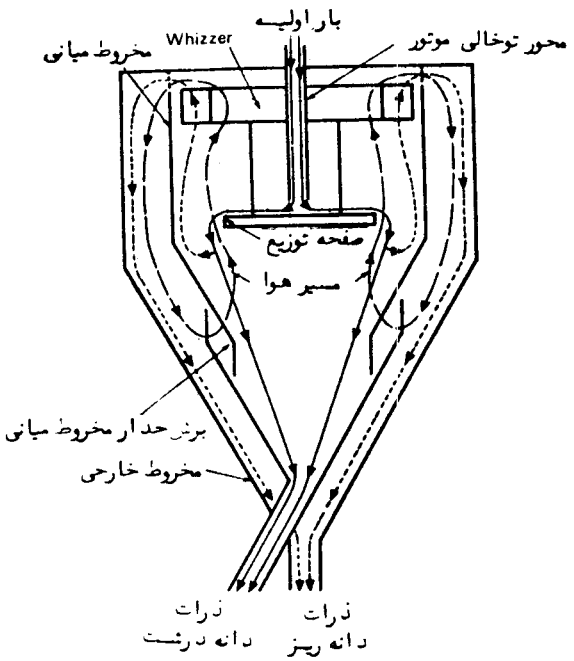
هرچند امروزه در اکثرمعادن، روش‌های‌خشک‌به‌علت بازدهی و دقت کمتر به‌تدریج جای خود را به‌روش‌های تر داده‌اند، با این وصف ممکن است به‌علت کیفیت ماده‌اولیه، استفاده از روش‌های خشک امکان‌پذیر باشد و یا کمبود آب‌در ناحیه معدنی‌و یا هزینه‌زیاد تهیه‌آب‌موردنیاز، باعث‌استفاده از روش‌های خشک شود.

درصورت استفاده از روش‌های خشک، رطوبت ماده اولیه بایستی کمتر از ۱ تا ۲ % باشد و درصورتی که بیشتر از این مقدار باشد خشک کردن‌آن درکوره (معمولا "کوره‌های‌دوار) الزامی است. عملیات‌خشک‌کردن‌را می‌توان‌درحین‌آسیاکردن مواد، بادمیدن‌هوای‌گرم به‌داخل آسیا انجام داد. تلاطم هوا و ذرات در داخل‌آسیا و توجه به‌این نکته‌که قسمت‌های سطحی قطعات ماده اولیه بلافاصله پس از خشک شدن، به صورت ذرات‌ریز در هوا متفرق می‌شوند، باعث می‌شود که قسمت‌های‌میانی قطعات در تماس با هوای‌گرم قرار گیرند و باایجادسیستم‌تبادل‌حرارت‌بسیارخوب‌در محیط، عملیات خشک کردن تقریبا " فوری انجام گیرد. خرد کردن کائولن به‌روش خشک‌را می‌توان‌با آسیاهای‌گلوله‌ای، غلطکی، چکشی، و غیره انجام داد (۴).

طبقه‌بندی‌موادخرد شده‌توسط‌کلاسیفایرهای‌هوائی انجام‌می‌شود. کلاسیفایرمناسب برای کائولن مطابق شکل ۵ که باترکیبی از جریان هوای روبه‌بالا و نیروی گریز از مرکز کار می‌کند، از دو مخروط، یکی در داخل دیگری، تشکیل شده‌است. جریان هوا بین‌این دو مخروط را یک وانتیلاتور تأمین‌می‌کند. برای‌آنکه هوا بتواند در مسیری بسته‌جریان داشته‌باشد، برشی درجداره مخروط داخلی‌ایجاد شده‌است. مواداولیه از طریق یک محورتوخالی وارد کلاسیفایرمی‌شوند و به‌توسط یک صفحه گردان در داخل وسیله توزیع می‌شوند. اولین‌طبقه‌بندی دراثرجریان هوای روبه‌بالا و طبقه‌بندی‌دوم به‌توسط پره‌های Whizzer که در بالای کلاسیفایر نصب شده‌اند انجام‌می‌شود. ذرات دانه‌درشت دراثر نیروی‌گریز از مرکز به‌بدنه مخروط داخلی برمی‌خورند و درامتدادآن به طرف پائین حرکت‌می‌کنند و از دهانه‌مخروط خارج می‌شوند. مخروط خارجی‌نقش یک سیکلون‌گردگیر را ایفامی‌کند. ذرات کائولن در امتداد جدار مخروط خارجی به‌طرف‌پائین‌حرکت می‌کنندوهوای تمیز شده از طریق برش مخروط میانی‌به‌مسیر بازگردانده‌می‌شود. حدجدایش این‌وسیله‌رامی‌توان‌باتنظیم تعداد تیغه‌های وانتیلاتور و Whizzer و سرعت گردش آن کنترل کرد (۸).

## ۳ – نظری اجمالی برکائولن معدن زنوز:

درمیان کانسارهای کائولن شناخته شده در ایران، کانسار زنوز به‌علت‌ذخیره‌بیشترش مورد توجه‌قرارگرفته است. درحال‌حاضراین معدن به‌طریقه روباز، توسط ۴ پله در حال استخراج‌است. محصول‌استخراج شده تنها تا ابعاد موردنیاز صنایع خرد می‌شودوعمدتا " درساخت‌بدنه‌کاشی به‌کارمی‌رود.




شکل ۵ ـ کلاسیفایر هوائی ( اقتباس از : BLAZY )

آرایش کائولن زنوز در سال ۱۳۶۳ در آزمایشگاه کانه‌آرائی دانشکده فنی موردبررسی قرار گرفت . نتایج این بررسی به‌شرح زیر است .

این‌کانسار درنتیجه‌کائولینیزاسیون یک‌توده‌ریولیتی به‌وجود آمده است . دو گسل درجهت‌عمود برپلـــه‌ها ،کانسار را قطع‌کرده‌اند . دگرسانی و هوازدگی در فاصله بین دو گسل دارای اهمیت بیشتری‌است . عیار کائولن این‌کانسار برمبنای $Al_2O_3$ معادل ۱۵/۸ % است .

این سنگ‌معدنی بافت‌بسیاردانه‌ریزی دارد به‌نحوی که‌حتی درابعادکوچکتر از چند میلی‌متر نیز در تماس با آب ، حتی به‌مدت طولانی ، ذرات کائولن نمی‌توانند آزاد شوند و به‌صورت ذرات معلق درآیند . لذا لازم است سنگ‌معدنی را طی مراحلی تا ابعاد نسبتا " دانه‌ریز ( ۸۰ % کوچکتر ازحدود ۵۵ میکرون ) خرد کرد . حد جدایش مناسب برای این سنگ معدنی ۸ میکرون به‌دست آمده‌است . با یک مرحله‌آرایش در این حد جدایش توسط هیدروسیکلون ، عیار آن به ۲۱/۱۴ % و با دومرحله‌آرایش به ۲۳/۷۶ % $Al_2O_3$ می‌رسد .

خلاصه :

روشهای آرایش کائولن عمدتا "برمبنای خاصیت جذب آب شدید کائولن و تبدیل آن به‌ذرات دانه‌ریز معلق در آب پایه‌گذاری شده‌است . بدین‌ترتیب بسته‌به‌ابعاد ناخالصی‌های موجود در کائولن می‌توان از وسیله مناسبی برای طبقه‌بندی‌و جدا کردن کائولن از ناخالصی‌ها استفاده کرد .

بافت کائولن در بعضی انواع آن امکان جذب آب و آزادشدن‌ذرات‌کائولن را در تماس با آب نمی‌دهد ، لذالازم است سنگ‌معدنی‌تاابعاد نسبتا " دانه‌ریز خردشود . درنتیجه از یک‌طرف عملیات‌طبقه‌بندی‌دشوارتر می‌شود و از طرف‌دیگر بخشی از ناخالصی‌هانیز تا ابعاد خیلی کوچک خرد می‌شوند و بدین‌ترتیب در کیفیت محصول نهایی تأثیر سوء دارند .

از روشهای خشک نیز می‌توان برای آرایش کائولن استفاده کرد ، هرچند دراین روشها دقت و بازدهی عملیات و درنتیجه کیفیت محصول نهایی کمتر از روشهای تـر است ، در روشهای‌خشک بایستی سنگ معدنی توسط چند مرحلـه سنگ‌شکنی و آسیا کردن تا ابعاد مناسب خرد شود و سپس توسط‌کلاسیفایرهای هوائی طبقه‌بندی شود .

برای کاهش عیار آهن در محصول‌نهایی می‌توان از جداکننده‌های مغناطیسی باشدت‌زیاد ( فیلترهای مغناطیسی ) استفاده‌کرد . باگرادیان میدان خیلی‌زیادی که دراین وسایل ایجاد می‌شود می‌توان‌موادی‌باابعاد دانه‌ریز ( درحدود میکرون ) را آرایش داد .

برای‌کاهش عیارتیتانیوم درمحصول می‌توان ازروش فلوتاسیون استفاده کرد . هرچند این روش برای مواد خیلی دانه‌ریز کارآمد نیست‌ولی‌بااستفاده از یک‌کانی‌دیگر به‌عنوان کانی باربر ، که یکی از کانی‌ها را روی خود حمل می‌کند ، می‌توان کانی حمل شده را پس از فلوتاسیون کانی باربر از محیط خارج کرد .

روش دیگری که برای کاهش عیار تیتانیوم پیشنهاد شده ، متفرق‌کردن انتخابی کائولن و ته‌نشین کردن کانی‌های تیتانیوم است .

از روشهای شیمیایی نیز می توان برای کاهش عیار آهن‌استفاده‌کرد . برای‌این‌منظور باید درمحیط چنان‌شرایطی پدید آورد که ترکیبات آهن به‌صورت نمکی محلول درآیند ، و از محیط خارج شوند .

بالاخره برای آرایش کائولن می‌توان از روشهای بیولوژیکی بهره گرفت . بعضی از میکروارگانیسمها قادر به انحلال‌آهن‌هستند ، باپرورش این میکروارگانیسمها می‌توان آهن موجود در کائولن را کاهش داد .

## فهرست منابع

1- MURRAY,H.H.: "Industrial Minerals and Rooks", A.I.M.M. and Petroleum Engineers, New York, (1960), pp. 259-284.

2- BETEKHTIN, A.; "A Course of Mineralogy", Moscow Peace Publishers, 64 pp.

3- HAUSSONNE, M.; "Technologie Cèramique Générale", Vol. I, J.B.Baillière & Fils-éditeurs, (1969), pp. 78-90.

4- SINGER, F.; SINGER, S.S.; "Industrial Ceramics", Chapman & Hall Ltd., London, (1960), pp. 242-253.

5- WILLS, B.A.: "Mineral Processing Technology", Pergamon Press, (1981 ), 525 pp.

6- GREENE, E.W.; DUKE, J.B.; "Selective froth flotation on ultrafine minerals or slimes", Society of Mining Engineers, (Dec. 1962),pp.389-395.

7- MAYNARD, R.N.; MILIMAN, N.;IANNICELLI, J., "A method for removing titanium dioxide impurities from kaolin", Clays and Clay Minerals, Vol. 17, (1969), pp. 59-62.

8- BLAZY, P,; "La valorisation des minerais", Presses Universitaires de France, (1970), 416 pp.

9- GROUDEV, S.N.; GROUDEVA, V.I.; GENCHEV, F.N.; MOCHEV, D.J.;PETROV, E.C.: "Biological removal of iron from quartz sands, kaolins and clay", XVth International Mineral Processing Congress, Vol. II, Cannes(1985). pp. 378-387.