

## فرآیند کاهش اندازه ذرات میکا به روش شیمیایی

دکتر رهبر رحیمی<sup>۱</sup>، محمدعلی صالحی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیأت علمی گروه مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

E-mail : (rahimi@hamoon.usb.ac.ir)

۲- دانشجوی دکتری مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

E-mail: (Salehi@hamoon.usb.ac.ir)

### چکیده:

میکا ماده ایست معدنی از خانواده فلدسپارهای آلومینیم و سیلیس یا آلومینوسیلیکاتها که در طبیعت در اندازه های کوچک ۵۰ مش تا بزرگ ۲ اینچی یافت می شود. از لحاظ کریستالوگرافی دارای یک ساختار بلوری شبه هگزاگونال و منو کلینیک و کلیواژ پایه ای کامل می باشد. وسعت زیاد کاربرد های میکا در اندازه های بسیار ریز ما را بر آن داشت تا با دستیابی به فرآیندی جدید و اقتصادی توان خریداری این ماده استراتژیک را به طرز چشمگیری افزایش دهیم. روش های معمول در فرآیند کاهش اندازه استفاده از آسیابهای گلوله ای، چکشی، میله ای، سایشی و چکشی تیغه دار با مکانیسمهای متفاوت ضربه، اصطکاک و برش بوده که به علت ساختمان کریستالی میکا خریداری این ماده در دستگاهها راندمان بسیار پایینی دارد. در این مقاله فرآیند کاهش اندازه به روش شیمیایی جهت ذرات میکا برای اولین بار در ایران و مقایسه راندمان اقتصادی و عملکرد خریداری فنی آن با سایر روشهای معمول گزارش می شود. بدین ترتیب با استفاده از یک شوک حرارتی در یک محلول بازی جهت ضربه زدن به نیروی بین کریستالین میکا و چند مرحله شستشو، اضافه نمودن اسید و ایجاد هیجان در محلول این عمل امکان پذیر گشته است به نحوی که اندازه های تا ۴۰۰ مش به این ترتیب به سادگی قابل دستیابی است.

**کلمات کلیدی:** میکا، فلدسپار، خریداری شیمیایی، خریداری مکانیکی، مقاومت شکست

**Key Words:** Mica, Feldspar, Chemical Size Reduction, Mechanical

Size Reduction, Breaking Resistant

### ۱- مقدمه:

#### ۱-۱- موارد استفاده:

سالهاست که میکای طبیعی به عنوان یک ماده معدنی شناخته شده و به ثبت رسیده در نقش یک ماده نسوز و الاستیک پرکننده و پوشنده در صنایع نفت و لاستیک و همچنین به عنوان یک ماده براق و شفاف در صنایع بهداشتی و رنگ (رنگ های متالیک) استفاده می شود. پودر طبیعی میکا دارای رنگ و اندازه های متفاوت است که هر برش

اندازه های آن دارای کاربرد متفاوتی می باشد که در جدول (۱) به طور خلاصه دسته ای از کاربرد های چندین اندازه آن آورده شده است [۱،۲].

#### جدول (۱): موارد استفاده میکا [۱،۲].

اندازه (مش)	کاربرد و موارد استفاده
۶ مش	در گل حفاری چاههای نفت به عنوان یک ماده درزگیر و پرکننده روزنه های دیواره جهت کاهش در افت چرخه
۱۰ مش	تزیینات، مواد نمایان و براق
۱۶ مش	بتون، قالبهای سنگی، بهبود عایق گرمایی، ابزار آلات دکوری
۲۰ مش	آسفالت، پوشش بام، پرکننده، چسب های ضد آب، استفاده به عنوان مواد آزبستی

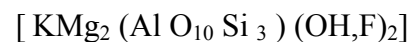
مواد منفجره ، ضد عفونی کننده ها ، اجزاء اتومبیل	۳۰ مش
الکترودهای جوشکاری ، در ریخته گری و سر باره های ذوب عنوان پوسته های نفوذ ناپذیر در ناحیه ذوب	۵۰ مش
سیم ها و کابل ها ، چسب های خطوط لوله ، روغنکاری ، پلاستیک ها ، سیمانها ، لعاب کاری و شیشه گری ، در افزایش مقاومت حرارتی و شیمیایی چسبها به علت پائین بودن ضریب فشردگی و بالا بودن پایداری ابعاد ، بهبود مقاومت صفحات و بتن ها در برابر گود افتادگی ، ریخته گری	۶۰ مش
رنگهای نساجی ، گچ های مقاوم در برابر نفوذ صوت ، کفپوشها ، سفال سقف ، لوازم تزئینی ، پوشش های آبی	۱۰۰ مش
تولید لاستیک ها ، کیسه های هوا ، انواع مواد روغنکاری ، قالبها	۲۰۰ مش
رنگهای بیرونی و نما ، رنگها و رنگدانه ها ، پر کننده در تولید پلاستیک ها و لاستیک های سخت ، مواد تزئینی و آرایشی ، پوشش های محافظ ، عایق کاری حرارتی و الکتریکی	۳۲۵ مش
اضافه نمودن در ریخته گری فلزات جهت بالا بردن مقاومت خوردگی و انعطاف پذیری تهیه پلاستیک های نسوز و عایق در برابر حرارت و الکتریسیته ، تهیه ورقهای ضد آب ، تهیه لاستیک های اسفنجی و بالا بردن مقاومت شکست لاستیک ، تهیه گریس های نسوز	۳۲۵ - ۴۰۰ مش

## ۲-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی:

میکا یک فلدسپار آلومینیم و سیلیس است که دارای شبکه کریستالی شبه هگزاگونال و منو کلینیک می باشد. ورقه ای شکل است و در طبیعت به چند شکل یافت شده است که در ذیل به شرح هر کدام می پردازیم:

۱- مسکوویت میکا به فرمول شیمیایی  $(\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH},\text{F})_2)$  که دارای ۴۵/۵۷ درصد سیلیس  $[\text{SiO}_2]$  و ۳۳/۱ درصد آلومینا  $[\text{Al}_2\text{O}_3]$  و ۹/۸۷ درصد پتاسیم اکسید  $[\text{K}_2\text{O}]$  و باقی اکسید های جزئی دیگر می باشد. مسکوویت میکا عمومی ترین شکل و شناخته شده ترین مینرال میکا است [۱،۲].

۲- فلوگوپیت میکا به فرمول شیمیایی



۳- بیوتیت میکا به فرمول شیمیایی



مینرالهای شناخته شده دیگر میکا که تا به حال در نقاط مختلف یافت شده به نامهای لپیدولیت میکا ، پاراگونیت میکا ، زینوالدیت میکا و لپیدوملان میکا می باشد. از لحاظ

درجه سختی میکا از دسته مواد معدنی نرم بوده که درجه سختی آن بین ۲ تا ۲/۵ و نزدیک به تالک می باشد. از لحاظ ساختار دارای سطوح کلیواژ کامل و به رنگ های سفید ، قهوه ای ، خاکستری و سبز کم رنگ بوده و دارای دانسیته ای بین ۲/۷۳ تا ۳ می باشد. مقاومت الکتریسیته آن بالاست و بین  $10^{12}$  تا  $10^{15}$  اهم سانتی متر با ثابت دی الکتریک ۶/۵ تا ۹ می باشد [۱،۲].

آنچه که از جداول کاربرد های میکا بدست می آید توسعه و پر اهمیت تر شدن کاربردهای میکا با کوچکتر شدن اندازه های آن می باشد. پائین بودن راندمان روشهای مکانیکی خردایش به دلایلی که در ذیل ذکر می شود بصورتی به وجود آورد تا آزمون روش شیمیایی را محک بزنیم که نتایج آن به صورت نمودارها و جداول در ادامه آورده شده است.

## ۲- چگونگی کاهش اندازه ذرات:

فرآیند کاهش اندازه به کلیه عملیاتی اطلاق می شود که هدف تبدیل مواد با اندازه های درشت تر به ذرات ریزتر و

در ذره به مانند فنر کشیده شده ذخیره می شود. در اثر ادامه انجام کار انرژی مکانیکی تنش در ذره افزایش می یابد و تا حدی می رسد که از مقاومت نهائی ذره بیشتر می شود سپس ذره شکسته شده و ذرات کوچکتر به وجود می آیند [۵]، به عبارت دیگر سطح جدیدی به وجود می آید. اگر فرض کنیم که انرژی (E) داده شده به منظور خردایش تماماً به ذرات منتقل شود و به محیط اطراف منتقل نشود و Cp و گرمای ویژه ذرات باشد داریم [۷]:

$$E = M_s \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

$\Delta T$ ,  $C_p$ ,  $M_s$  در معادله (۱) به ترتیب تغییرات دمایی، ظرفیت گرمایی و جرم ذرات جامد خرد شونده و (E) مقداری از انرژی داده شده به ذرات است که صرف گرمایش ذرات شده است بنابراین مقدار انرژی داده شده به ازای واحد جرم که از تقسیم  $E / M_s$  به دست می آید برابر است با [۷]:

$$E_m = (1/163) \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2)$$

$1/163$  یک ضریب تصحیح است چون با این همه فرض کردیم تمام انرژی به ذرات منتقل شود. این فرض یک فرض کاملاً صحیح نیست چون مقداری از انرژی به صورت حرارت و تشعشع به محیط، اعم از سیال حامل یا دیواره ها منتقل می شود.

برای محاسبه راندمان خردایش پس از انجام عملیات با توجه به سطوح جدیدی که به وجود آمده نسبت بین انرژی سطوح به وجود آمده و انرژی اعمال شده و جذب شده توسط جامد را برای ذره تحت تنش به صورت زیر محاسبه می نمایم [۸،۹]:

مفید تر می باشد. در عملیات کاهش اندازه سه هدف مختلف دنبال می شود که عبارتند از:

### ۱-۲-۱- ازدیاد سطح:

به این معنی که واحد سطح جامد دارای مقدار معینی انرژی می باشد. بنا بر این ایجاد سطح جدید به کار نیاز دارد که به صورت انرژی مکانیکی تنش به ذره داده می شود، مازاد انرژی اعمال شده نسبت به سطوح به وجود آمده طبق قانون بقای انرژی باید به صورت گرما ظاهر شود، لذا هنگام عملیات خرد کردن ذرات گرم می شوند [۳،۴].

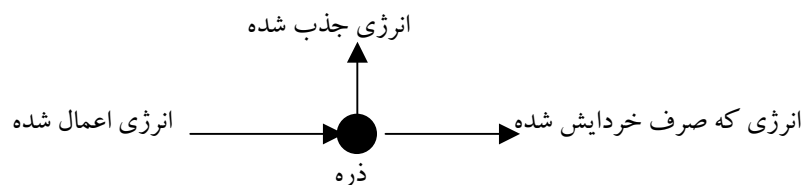
### ۲-۲- ایجاد اندازه های دلخواه:

معمولاً محصول در این عملیات ها دارای یک طیفی از یک اندازه ماکزیمم تا ذرات زیر میکرون را دارد. بعضی از عملیاتها به نحوی طراحی می شوند که ماکزیمم اندازه ذرات خروجی از یک حدی تجاوز نکنند و یا اینکه سمت ریز اندازه ذرات را کنترل می کنند [۳،۴].

### ۳-۲- افزایش درجه آزادی:

در یک سنگ معدنی کانی های زیادی موجود است برای اینکه جداسازی انجام شود و مواد غیر قابل استفاده حذف گردند باید ذرات دانه بندی مشخصی داشته باشند، مثلاً در پدیده فلوتاسیون باید دانه بندی ذرات کنترل شده و معین باشد [۴].

در عملیات های کاهش اندازه بیشتر هزینه عملیات شامل هزینه مصرف انرژی است و همیشه کنترل روی مصرف انرژی صورت می گیرد. در فرآیند مکانیکی و در حین عمل خرد کردن ابتدا ذره تحت تنش قرار گرفته و سپس کاری که روی ذره انجام می گیرد به صورت انرژی مکانیکی تنش



بازده خردایش که با C نمایش می دهد از رابطه زیر به دست می آید [۱۱]:

اگر  $E_s$  انرژی سطوح به ازای سطح واحد جرم و  $W_n$  انرژی جذب شده واحد جرم و  $A_{wa}, A_{wb}$  نیز سطح به ازای جرم واحد سطح در قبل و بعد از خردایش باشد مقدار

(انرژی مصرفی) / (انرژی سطوح جدید) =  $\zeta_c$

(سطح واحد جرم) / (انرژی سطح) =  $es$

$W_n$  = انرژی جذب شده واحد جرم

(جرم واحد سطح) / (سطح) =  $A_{wa}, A_{wb}$

$$\zeta_c = [ es ( A_{wb} - A_{wa} ) ] / W_n \quad (3)$$

### ۳- خردایش شیمیایی میکا :

با توجه به ساختار کریستالین و انعطاف پذیر میکا مبنای خردایش در این روش استفاده از تنش های حرارتی و بهره گیری از گروه های عاملی متفاوت جهت ضربه زدن به پیکره کریستالی این مینرال می باشد. این فرآیند به ترتیب شامل قسمت های زیر می باشد :

#### ۱-۲-۳- تهیه ماده اولیه :

ماده اولیه میکای طبیعی بوده که پس از فرآوری از کارخانه به محل انتقال داده می شود.

#### ۲-۲-۳- شستشو :

از آنجا که همراه میکای خام کمی خاک یا مواد زائد دیگر می باشد ابتدا میکا را توسط دوشهای آب خوب شستشو داده تا خاک و گل آن جدا شود و فقط میکای خالص مانده و باطله دور ریخته خواهد شد.

#### ۳-۲-۳- حرارت دهی :

میکای شسته شده به داخل کوره ای منتقل شده و در آنجا تا دمای ۷۰۰ الی ۸۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده خواهد شد. کوره از نوع آتمسفریک بوده و این عملیات جهت جدایش آب پیوندی صورت می پذیرد.

#### ۴-۲-۳- سرد نمودن ناگهانی :

در این مرحله میکای داغ خروجی از کوره را در یک محلول کربنات سدیم یا سود نرمال به یکباره سرد می نمایند . این عملیات بر پایه شوک حرارتی جهت سست نمودن پیوند میان کریستالها بوده و انتخاب آلکالین محلول جهت فعال نمودن کریستالهای میکا می باشد.

#### ۵-۲-۳- خنثی سازی :

در این مرحله میکای نیمه فعال سرد شده در محلول سود را وارد یک محلول اسید معدنی مینمایند زیرا که اسید معدنی

$\zeta_c$  عدد کوچکی است چون قسمت اعظم انرژی مصرفی به گرما تبدیل می شود [۱۰]. در عملیات خردایش در آسیابها مقدار کار انجام شده برای خرد کردن ذرات بیشتر از کار لازم بر مبنای تئوری است به عبارت دیگر راندمان انرژی کم است مثلاً راندمان خرد کردن ذرات ریز و سخت در حدود ۱ تا ۱۰ درصد است و اگر ذرات درشت و با سختی کم باشد تا ۲۰ درصد راندمان خرد کردن امکان دارد [۵،۶]. این روابط همگی چگونگی پایین بودن راندمان روشهای مکانیکی را شرح می دهند.

### ۴-۲- روشهای مکانیکی کاهش اندازه :

این دستگاهها شامل نرم کننده هایی از قبیل آسیابهای چکشی ، غلطکی ، غلطکی فشاری، گلوله ای و میله ای می باشد. مکانیسمهای حاکم بر تنش دستگاه کاهش اندازه شامل تحت تنش قرار دادن ذرات بین دو سطح ، تحت تنش قرار دادن بین دو سطح و ذرات مجاور ، تحت تنش قرار دادن در اثر برخورد با یک سطح ، تحت تنش قرار دادن بوسیله برخورد ذرات با یکدیگر ، تحت تنش قرار دادن بوسیله برش و تحت تنش قرار دادن بوسیله محیط اطراف می باشد [۱۲]. این روشها فقط برای موادی که اندیس خردایش پائین دارند دارای کاربرد می باشد اما برای موادی مانند میکا که به علت ساختار کریستالی ورقه ای و انعطاف پذیر خود دارای مقاومت شکست بالائی است دارای راندمان بسیار پائینی می باشند چرا که فاکتور مصرف انرژی در آنها فوق العاده بالا بوده و همانطور که خواهیم دید به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود. لذا جهت خردایش این مواد فرآیند های دیگری لازم می نماید که از جمله آنها فرآیند خردایش شیمیایی می باشد.

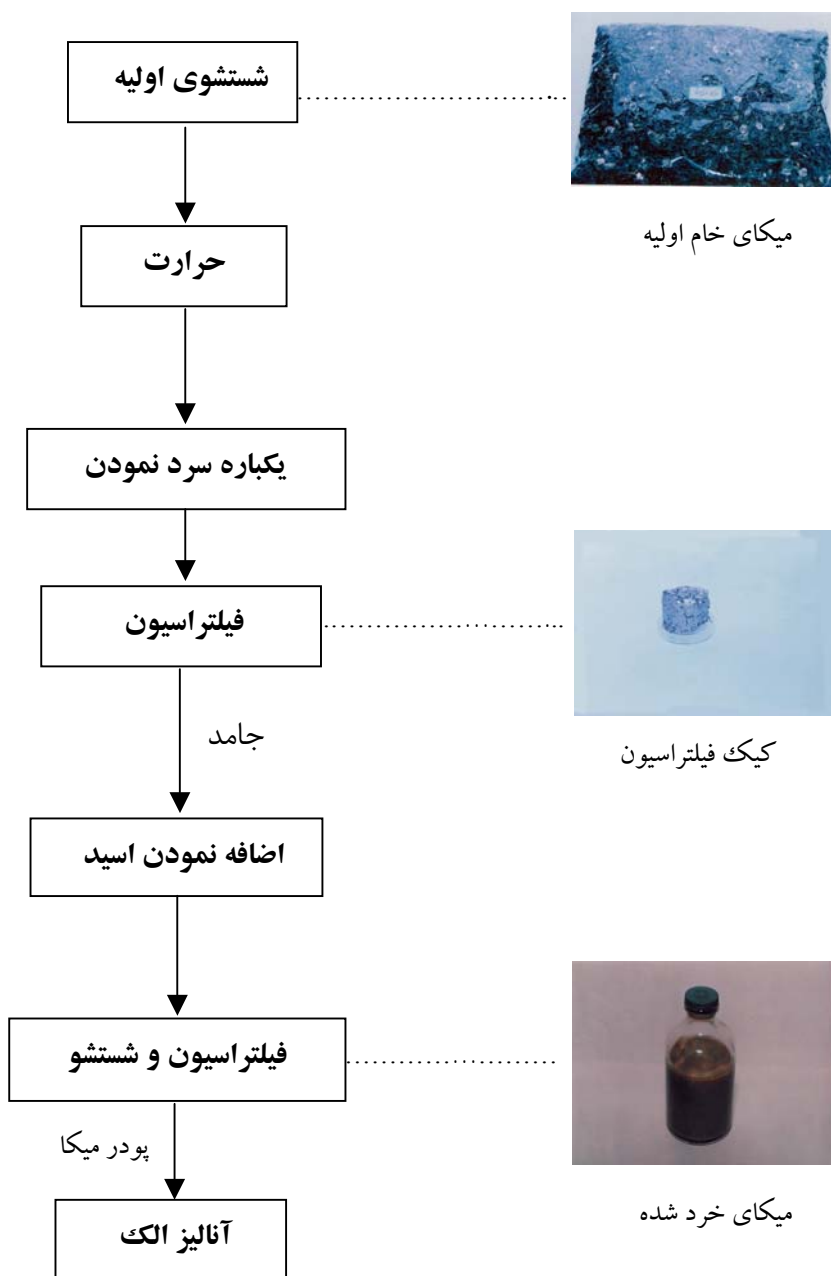
این عمل جهت خنثی نمودن کامل محلول و جدایش محلول اسیدی از دوغاب میکا می باشد.

### ۷-۲-۳- جدایش آب :

در این مرحله پالپ به دست آمده را از یک فیلتر خلأ عبور می دهیم که در آن آب محلول دوغابی کاملاً جدا شده و باقیمانده ذرات بسیار ریز میکا می باشد که اندازه بعضی ذرات تا ۴۰۰ مش می باشد.

در این مرحله قادر به تاثیر بر روی میکا خواهد بود. اسید مورد استفاده اسید سولفوریک یا کلریدریک می باشد. در این مرحله چند فاکتور در خردایش نهائی میکا بسیار موثر می باشد که از جمله می توان به زمان تاثیر و ایجاد هیجان در محلول اشاره نمود که در ادامه نمودارها و منحنی های آن را خواهیم آورد.

### ۶-۲-۳- شستشوی دو باره :



شکل (۱): طرح فرآیند شیمیایی کاهش اندازه میکا  
حرارتی قرار می گیرد سپس عملیات سرد نمودن یکباره (quenching) انجام میگیرد پس از آن عملیات فیلتراسیون

همانطور که در شکل (۱) مشاهده می شود پولکهای اولیه پس یک مرحله شستشو وارد کوره شده و تحت یک تنش

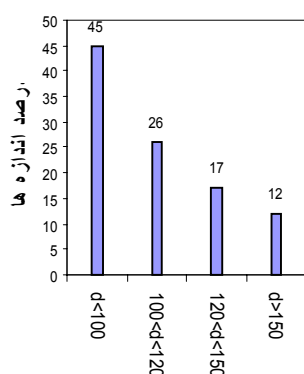
و اضافه نمودن اسید اعمال شده و در انتها نیز پس از یک مرحله فیلتراسیون و شستشوی دوباره ذرات جهت طبقه بندی به مرحله لابر اتوار اندازه ها و آنالیز الک منتقل می شود.

#### ۴- بحث :

#### الف : اثر پارامتر های زمان اثر اسید و همزدن :

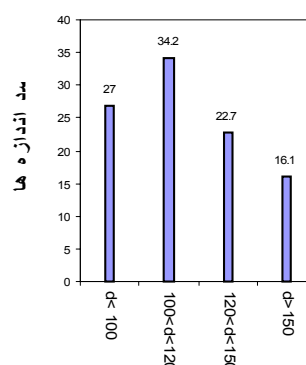
در روش شیمیایی فاکتور زمان ، اثر اسید و ایجاد هیجان در محلول بسیار پر اهمیت بوده به طوری که محاسبه نقطه بهینه در آن برای هر ماده ضروری می نماید. برای میکا این نقاط بهینه برای فاکتور زمان بین ۱۵ تا ۱۷ دقیقه بوده و این در حضور همزن یعنی فاکتور آشفتگی و هیجان بهترین حالات

خردایش را به وجود خواهد آورد. اشکال (۲) و (۳) مربوط به نمودارهای اثر اسید بر میکا نسبت به زمانهای مختلف و شرایط هیجانی محلول می باشد. در شکل یک اثر اسید بر میکا بدون همزن و در زمانهای مختلف در اشکال  $a, b, c, d$  برای زمانهای یک ، پنج ، ده و پانزده دقیقه نشان داده شده است. این اشکال نشان می دهند که با افزایش زمان راندمان خردایش برای اندازه های کمتر افزایش می یابد :



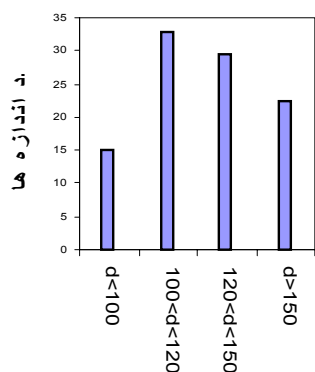
خردایش برای زمان یک دقیقه

[ a ]



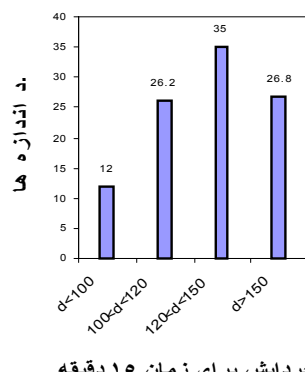
خردایش برای ۵ دقیقه

[ b ]



خردایش برای زمان ۱۰ دقیقه

[ c ]



خردایش برای زمان ۱۵ دقیقه

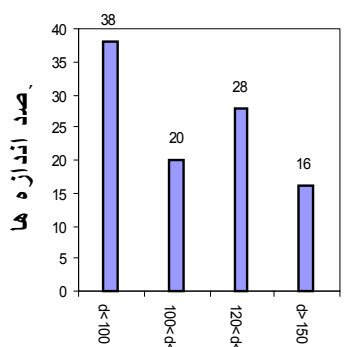
[ d ]

شکل (۲) : نمودارهای  $a, b, c, d$  اثر اسید بر میکا و بدون استفاده از همزن

بخشیده است. شکل (۳) مربوط به تغییرات خردایش میکا در حضور همزن می باشد. روند مشاهده شده در داده های حاصل از آزمایش نشان می دهد که اعمال همزن باعث

همانطور که در شکل (۳) دیده می شود استفاده از همزن در فرآیند شیمیایی بسیار اثر بخش بوده و راندمان خردایش میکا را بالاخص در سایز های کوچکتر افزایش قابل توجهی

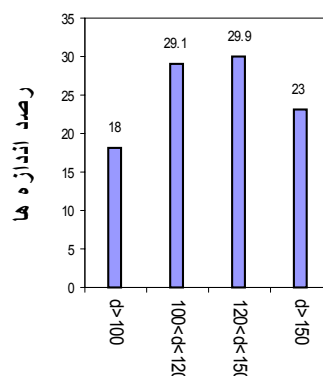
آزمایشات بعدی نشان دادند که با افزایش بیشتر زمان تغییری در توزیع ذرات بوجود نیامده، لذا زمان بهینه ۱۵ دقیقه در نظر گرفته می شود:



خردایش برای زمان یک دقیقه

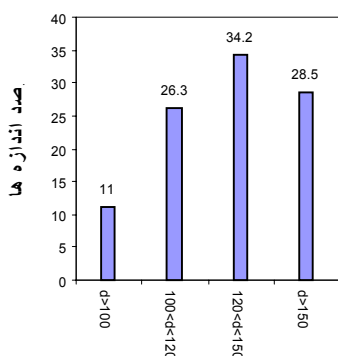
[ a ]

خردایش بیشتر در اندازه های کوچکتر می شود به طوری که درصد مواد با سایز ۱۵۰ مش از ۱۶٪ در شکل (۳- a) با گذشت زمان ۱۵ دقیقه به ۳۷٪ در شکل (۳- d) خواهد رسید.



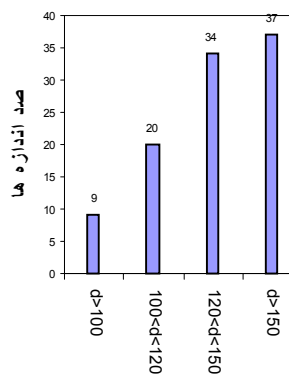
خردایش برای زمان ۵ دقیقه

[ b ]



خردایش برای زمان ۱۰ دقیقه

[ c ]



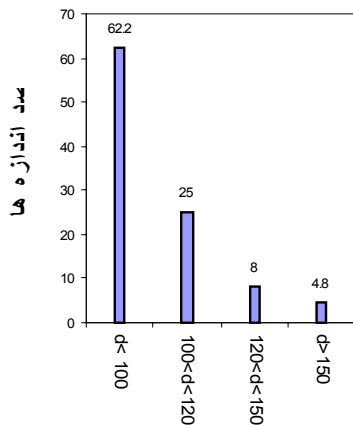
خردایش برای زمان ۱۵ دقیقه

[ d ]

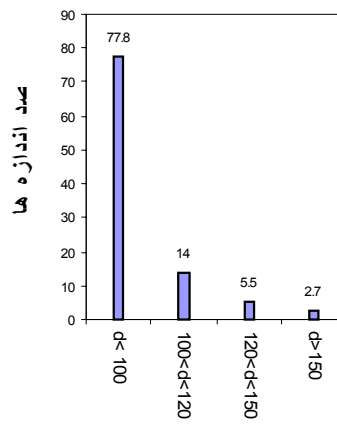
شکل (۳): نمودارهای a , b , c , d اثر اسید بر میکا و با استفاده از همزن

خردایش میکا در آسیاب گلوله ای و چکشی در مدت زمان سه ساعت می باشد. همانگونه که دیده می شود حتی پس از گذشت زمان سه ساعت تولید ذرات با اندازه ۱۵۰ مش از ۸/۴ درصد تجاوز ننموده است:

**ب: مقایسه فنی روش های شیمیایی و مکانیکی :**  
در بخش مقایسه روش شیمیایی با مکانیکی از لحاظ فنی همانطور که نمودارها گویای آن می باشند برتری و ارجحیت کامل روش شیمیایی را بر روشهای دیگر به وضوح می توان دید. شکل (۴) مربوط به نمودار خردایش



خردایش برای مدت ۳ ساعت اسباب چکشی



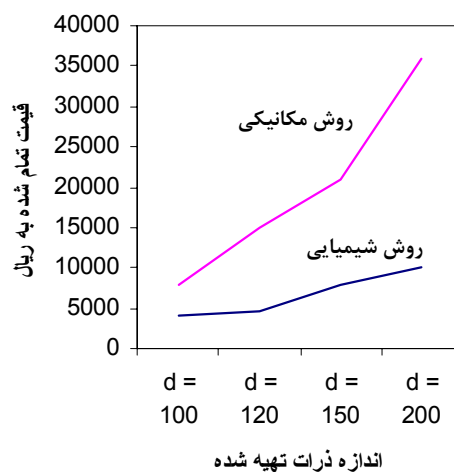
خردایش برای مدت ۳ ساعت اسباب گلوله ای

شکل (۴): نمودار میزان خردایش میکا در آسیابهای چکشی و گلوله ای

هزینه ها منحنی بالایی مربوط به روش مکانیکی و منحنی پائین مربوط به روش شیمیایی می باشد. با توجه به روندهای مشاهده شده در داده های حاصل از تحقیق، روش های مکانیکی به جهت انتقال کور و بی هدف تنشها راندمان پائینی داشته و هزینه ها را افزایش می دهد و این موضوع بالأخص در سایزهای کوچکتر شدت بیشتری می یابد:

### ج: مقایسه و برآورد اقتصادی:

از نقطه نظر اقتصادی نیز که شریان حیاتی صنعت می باشد شاهد هستیم که این روش بسیار مقرون به صرفه تر و اقتصادی تر نسبت روشهای مکانیکی می باشد. شکل (۵) مربوط است به مقایسه هزینه فرآیند به ریال به ازای یک کیلو گرم از میکای خردایش شده با اندازه معین. در نمودار



شکل (۵): نمودار مقایسه هزینه فرآیند در دو حالت شیمیایی و مکانیکی

به نوبه خود از اهمیت به سزایی برخوردار است و از آنها می توان به کنترل گریز بودن این روش اشاره نمود. این فرآیند از نقطه نظر غلظت محلولها، دمای بهینه و زمان به همزدن بررسی شده که زمان بهینه به همزدن بین ۱۵ تا ۱۷ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد و در یک محلول نرمال می باشد. از نقطه نظر کنترل اندازه ذرات بررسی نشده که تحقیق در

### ۵ - نتیجه گیری:

فرآیند شیمیایی خردایش میکا بررسی شده و مشاهده می شود که سادگی، اقتصادی بودن، سهل الوصول بودن و هدفمند تر بودن خردایش در روش شیمیایی در قیاس با روش های مکانیکی را می توان از مزایای این روش دانست. اما نکاتی چند نیز در روش شیمیایی وجود دارد که



[7] Work, L. T. " Trends in particle size technology ". Ind. Eng. Chem. 55, No. 2 (Feb. 1963) 56-58.

[8] Austin, L. G. and Klimpel, R. R. " The theory of grinding tests ". Ind. Eng. Chem. 56, No. 11 (Nov. 1964) 18-29.

[9] Adams, J. T., Johnson, J. F., and Piret, E. L. " Energy-new surface relationship in the crushing of solids. II. Application of permeability methods to an investigation of the crushing of halite ". Chem. Eng. Prog. 45 (1949) 655.

[10] Heywood, H. " Some notes on grinding research ". J. Imp. Coll. Chem. Eng. Soc. 6 (1950-2) 26.

[11] Johnson, J. F., Axelson, J., and Piret, E. L. " Energy-new surface relationship in the crushing of solids. III. Application of gas adsorption measurements to an investigation crushing of quartz ". Chem. Eng. Prog. 45 (1949) 708.

[12] Gross J. " Crushing and grinding "U.S.Bur . Mines Bull . 402 (1938)

این زمینه ادامه دارد. از آنچه گفته شد چنین می توان نتیجه گرفت که توسعه فرآیندهای شیمیایی خردایش با لحاظ نمودن ظرافت های آن در کنترل فرآیند شیمیایی امری بسیار ضروری می نماید.

### تشکر و قدر دانی:

نویسندگان از اعضای محترم هیئت مدیره شرکت میکای آماردی کاوش به جهت در اختیار نهادن امکانات و حمایت مالی طرح و همکاریهای صمیمانه شان بالاخص جناب آقای دکتر حسینی پور جهت زحمات بی شائبه شان تشکر و قدر دانی می نمایند.

### مراجع:

[1] رحیمی، رهبر. و صالحی، محمد علی، " فرآیند ورقه ای شدن میکا ". مجله مهندسی شیمی ایران، سال اول، شماره چهارم ص ۸ (۱۳۸۱).

[2] Madhukar.B.B.L, Srivastava.S.N.P, " Mica and mica industry ". Balkema/ Rotterdam. Ind Pub. 1995

[3] Bond, F.C. " New grinding theory aids equipment selection ". Chem. Eng., Albany 59 (Oct. 1952) 169.

[4] Kwong, J. N. S., Adams, J. T., Johnson, J. F., and Piret, E. L. " Energy-new surface relationship in crushing.I. Application of permeability methods to an investigation of the crushing of some brittle solids ". Chem. Eng. Prog. 45 (1949) 508.

[5] Owens, J. S. " Notes on power used in crushing ore, with special reference to rolls and their behaviour ". Trans. Inst. Min. Met. 42 (1933) 407.

[6] Zeleny, R. A. and Piret, E. L. " Dissipation of energy in single crushing ". Ind. Eng. Chem. Process Design and Development 1, No. 1 (Jan. 1962) 37-41.