

مطالعه و بررسی خواص سنگی گرونا از دیدگاه فرآوری

فیروز علی نیا
استادیار

بهرام رضایی
استادیار

اسماعیل جرجانی
دانشجوی کارشناسی ارشد

دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

ذخایر بزرگی از گرونا در نقاط مختلف ایران از جمله منطقه کوه گیری رفسنجان گزارش شده است که از لحاظ عیار نیز قابل توجه می باشد. گروناي این منطقه به دلیل وجود ناخالصی های همراه به صورت مستقیم قابل کاربرد در صنایع ساینده، تصفیه آب و دیگر صنایع نمی باشد. به منظور دستیابی به ترکیبات کانی شناختی، نوع گرونا، خواص شیمیایی و حد بهینه خردایش که از پارامترهای مؤثر در طراحی فلووشیت گرونا می باشد، نمونه، مورد مطالعات عمقی میکروسکوپی، کانی شناسی، تجزیه ابعادی و شیمیایی و تعیین درجه آزادی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نوع گروناي منطقه را آندرادیت با عیار تقریبی ۷۵ درصد تعیین نمود که ذرات آن از نظر شکل گوشه دار بوده و بنابراین از دیدگاه کاربرد در صنایع ساینده و تصفیه آب از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. ناخالصی های همراه شامل کوارتز، کلسیت، ولاستونیت، منیتیت و هماتیت می باشد. مطالعات تعیین درجه آزادی نیز حد بهینه خردایش را در حدود ۶۰۰ میکرون مشخص نموده است. با توجه به مسائل عنوان شده پیش بینی می گردد که بتوان ناخالصی های همراه را با روشهای ثقلی و یا مغناطیسی از گرونا جدا نمود.

The Characterization Studies of Garnet Deposits from Beneficiation Point of View

Bahram Rezai
Assistant Prof.

Firouz Alinia
Assistant Prof.

Esmail Jorjani
M.Sc. Student

Mining and Metallurgical Eng. Dept. Amirkabir Univ. of Tech.

Abstract

The occurrences of huge reserves of garnet deposits have been reported from different parts of Iran specially those of Kohe-E-Gabri area which is situated near Refsanjan city. These deposits cannot be directly used as abrasives, filter aid and many others because of some impurities present. To know the mineralogical composition, type of garnet, shape of the particles, chemical characters and the mesh of grind which play vital role in finding out suitable flowsheet design, the samples have been subjected to detailed mineralogical and microscopic studies, sieve analysis, liberation studies and chemical analysis. The results obtained have shown that the type of the garnet is andradite with relative grade of 75% and most of the particle shapes are edged type rather than rounded one and this is to be taken into account while using them as abrasives and filter aid.

Quartz, Calcite, Wollastonite, Magnetite and Hematite are the impurities present in the order of abundances and liberation studies have shown that optimum mesh of grind is about 600 microns. Lastly with the investigation carried out we can predict the gravity and magnetic methods would be the suitable separation techniques for removing the impurities.

۱- مقدمه

گرونا نامی عمومی برای گروهی از ترکیبات سیلیکاته با خواص فیزیکی، شکل بلورین و فرمول شیمیایی مشابه می باشد. این کانی در سیستم مکعبی متبلور شده و شامل یک سری شکل های بلورین دوازده وجهی (دودکائدر) تا چهل و هشت وجهی (هگزاکتائدر) می باشد [۱].

نام گرونا از زبان لاتین و از لغت گرونا توس^۱ به معنای «دانه اناری» مشتق شده است. فرمول شیمیایی این کانی به صورت $AB_2(SiO_4)_3$ می باشد که در آن عنصر دو ظرفیتی می تواند، هر یک از عناصر کلسیم، منیزیم، آهن و یا منگنز و عنصر سه ظرفیتی نیز عناصری شامل آلومینیوم، آهن، کروم و یا به ندرت تیتانیم باشد. براساس عناصر تشکیل دهنده فرمول فوق، گروناها را می توان به سه دسته عمده تقسیم نمود [۱]:

۱- گرونا آلومینیوم^۲

الف: گروسولاریت^۳ به فرمول $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
ب: پیروپ^۴ به فرمول $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$
ج: آلماندین^۵ به فرمول $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$
د: اسپسارتیت^۶ به فرمول $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$

۲- گرونا آهن^۷

شامل آندرادیت^۸ به فرمول $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$

۳- گرونا کروم^۹

شامل اوواروویت^{۱۰} به فرمول $Ca_3Cr_2(SiO_4)_3$ به کاربردهای گرونا شامل تولید ساینده های پوششی (کاغذهای ساینده، سنگهای ساینده، چرخ ها و غلتک های ساینده)، تصفیه آب (کاهش سختی آب)، گریس سزباده، ساندبلاست، کاربردهای زینتی و استفاده آن در واژگت می باشد.

برای کاربرد گرونا در صنعت ساینده ها این کانی بایستی دارای گوشه های تیز بوده، از سختی بالایی برخوردار باشد، فاقد انکلوزن بوده و پس از شکستن خرد شدن دوباره تولید ذرات گوشه دار نماید [۲].

چنانچه کاربرد آن در تصفیه آب و ساندبلاست مطرح گردد، عامل دانه بندی مد نظر قرار می گیرد. به گونه ای که جهت مصرف در تصفیه آب دانه بندی درشت $(+1/4)$ و $(-4/75)$ و دانه بندی ریز $(+0/3)$ و $(-0/84)$ جهت مصرف در ساندبلاست نیز از محدوده دانه بندی های $(+0/3)$ و $(-0/21)$ و $(-0/59)$ میلیمتر استفاده می گردد [۲].

تولیدکنندگان جهانی گرونا به ترتیب شامل ایالات متحده آمریکا (۴۴ درصد)، استرالیا (۲۸ درصد)، چین (۱۷ درصد)، هند (۹ درصد) و سایر کشورها (۲ درصد) می باشند [۲].

فاکتورهای مهم و کنترل کننده رفتار گرونا در طی مراحل فرآوری شامل نوع کانی های همراه، درصد هر یک از کانی ها، ابعاد، شکل ذرات و جرم مخصوص است.

جهت تأیید نوع گرونا، نمونه ای خالص از گرونا، منطقه با روش های معمول فرآوری تهیه و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت که نتیجه آن در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲) نتایج آنالیز شیمیایی نمونه گرونا خالص

درصد وزنی	ترکیبات	درصد وزنی	ترکیبات
۰/۰۲۸	SO ₃	۳۷	SiO ₂
۰/۰۲۷	K ₂ O	۳۳/۴	CaO
۰/۰۱۲	P ₂ O ₅	۲۵/۲	Fe ₂ O ₃
۰/۰۲۷	(۹۰۰°C)L.O.I	۲/۴۱	Al ₂ O ₃
۱/۰۱۳	سایر عناصر	۰/۵	MgO
۱۰۰	جمع	۰/۱۴	MnO

۳-۲-۳ مطالعات X.R.D

جهت تعیین فازهای مینرالوژیکی نمونه به روش اشعه X، مقداری نمونه نماینده تهیه و تا ابعاد زیر ۲۰۰ مش (A.S.T.M)، خرد گردیده و سپس فازهای تشکیل دهنده مطابق دیفراکتوگرامهای به دست آمده مشخص شدند. جدول (۳) ترکیب مینرالوژیکی نمونه را نشان می دهد.

جدول (۳) نتایج حاصل از X.R.D

ردیف	۲θ	d	کانی
۱	۲۶/۷	۳/۳۴	کوارتز
۲	۲۶/۸	۳/۳۱	ولاستونیت
۳	۲۹/۵	۳/۰۳	کلسیت
۴	۳۳/۳	۲/۶۹	آندرادیت
۵	۳۵/۴۹	۲/۵۲	منیتیت

باتوجه به جدول (۲) و (۳) نوع گرونا غالب (گروناها عموماً به صورت ترکیبی از انواع آنها یافت می

کانی های همراه گرونا در اغلب ذخایر شامل فلدسپات، میکا، هورنبلند، پیروکسن و کوارتز می باشد. کانی هایی همچون منیتیت، پیریت، لیمونیت، ایلمنیت، پیروتیت، روتیل، کالکوپیریت و کروندوم نیز به میزان کمتری در آنها یافت می شود. روش های معمول فرآوری گرونا در سطح جهانی شامل روش های ثقلی، مغناطیسی و فلوتاسیون است [۲].

منطقه کوه گیری با وسعت ۹۰ کیلومتر مربع در چهل کیلومتری شرق رفسنجان و یا به طور دقیق تر در سمت راست کیلومتر هفتاد جاده کرمان رفسنجان و در فاصله یک کیلومتری شمال دهکده ده پناه قرار دارد [۴]. مطالعات خواص سنجی بر روی گروناهای این منطقه جهت دستیابی به روش های مناسب فرآوری در ادامه این مقاله آورده شده است.

۲-۲-۲ آزمایش ها

۲-۲-۱-۱ ماده سازی نمونه

نمونه ارسالی از ناحیه کوه گیری، پس از سنگ شکنی تا حد زیر ۲۳۶۰ میکرون، با روش های معمول کاهش ابعاد و نمونه گیری، به وزن های ۱۰۰۰ گرمی جهت آزمایش های مختلف آماده گردید.

۲-۲-۲-۲ تجزیه شیمیایی نمونه

مقدار معینی از نمونه معرف پس از عبور از سرند ۱۵۰ مش (A.S.T.M) جهت تعیین اکسیدهای موجود در نمونه تجزیه شیمیایی شده است که نتایج حاصل در جدول (۱) درج شده است.

جدول (۱) نتایج آنالیز شیمیایی نمونه گرونا

ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد وزنی
CaO	۳۵	K ₂ O	۰/۰۷۲
SiO ₂	۳۴/۶	SO ₃	۰/۰۵
Fe ₂ O ₃	۲۲	P ₂ O ₅	۰/۰۳
Al ₂ O ₃	۲/۰۸	(۹۰۰°C)L.O.I	۳/۴۹
MgO	۰/۸۲	سایر عناصر	۱/۶۶
MnO	۰/۲	جمع	۱۰۰

شوند) آندرادیت با فرمول شیمیایی $Ca_3Fe_2(SiO_4)_3$ بوده و سایر کانی‌ها به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، منیتیت، ولاستونیت و کوارتز می‌باشند.

۲-۴- مطالعات میکروسکوپی

درفرآوری گرونا بررسی‌های میکروسکوپی و کانی‌شناسی نقش مهمی را ایفاء می‌کنند. از آن جمله می‌توان به تعیین نوع و عیار تقریبی کانی‌ها، میزان درگیری آنها، ابعاد ذرات، شکل ذرات، حد بهینه خردایش و خواص و ویژگی‌های سطحی گروناها همچون اکسیداسیون اشاره نمود. پس از آماده‌سازی نمونه، ۱۰ مقطع نازک تهیه و با میکروسکوپ نور عبوری، مطالعاتی بر روی مقاطع انجام گردید. درصد تقریبی کانی‌ها در جدول (۴) درج شده است که مطالعات X.R.D را نیز تأیید می‌کند. انواع و درصد گروناهای موجود نیز، در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول (۴) درصد کانی‌های تشکیل دهنده نمونه

کانی	گرونا	کلسیت	کوارتز	ولاستونیت	منیتیت و هماتیت
درصد	۷۵	۷	۵	۶	۷

جدول (۵) نوع و درصد گروناهای موجود در نمونه

کانی	آندرادیت	گروسولاز	آلماندین	پیروپ	اسپارتین
درصد	۹۰	۷	۱-۲	۱	کمتر از یک

مقاطع نازک، نیز در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است.

از مطالعات میکروسکوپی نتایج زیر را می‌توان مطرح نمود:

الف: کانی اصلی نمونه گرونا بوده و ۸۰ درصد ذرات آن ابعادی بین ۳۰۰-۴۰۰ میکرون دارند.

ب: درگیری گرونا بیشتر با منیتیت و ولاستونیت است و به نظر می‌رسد بتوان با خردایش نمونه تا حد زیر ۵۰۰ میکرون به درجه آزادی مطلوب دست یافت.

ج: در معدودی از مقاطع، گرونا در امتداد شکستگی‌های

موجود در سطح و همچنین در حاشیه دانه‌ها به اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده است که این مسئله باعث تخریب ساختمان گرونا گردیده و سختی آن را کاهش می‌دهد.

۲-۵- تهیه نمودار استاندارد به منظور عیار سنجی گرونا

باتوجه به اینکه فرمول شیمیایی کلیه گروناها ترکیبی از عناصر مختلف $(A_3B_2(SiO_4)_3)$ بوده و در باطله‌های همراه گرونا نیز، این عناصر وجود دارند بنابراین به کمک تجزیه شیمیایی نمی‌توان عیار گرونا را مشخص نمود. جهت عیار سنجی گرونا در طی مطالعات مقدماتی و عملیات فرآوری، نمودار استاندارد تهیه گردید. برای تهیه این نمودار ابتدا مقداری گرونای خالص با روش‌های معمول تهیه و سپس درصدهای متفاوتی از باطله به آن اضافه گردید. در انتها جهت کاهش میزان خطا، ۱۰ درصد وزنی فلورین نیز به عنوان استاندارد داخلی به نمونه‌ها اضافه و از کلیه نمونه‌ها با عیارهای مختلف، X.R.D تهیه گردید. نسبت بین سطح زیر پیک اصلی گرونا به سطح زیر پیک اصلی فلورین در تمامی نمودارها به عنوان معیار عیارسنجی نمونه‌ها مدنظر قرار گرفت. جدول (۶) نسبت بین سطح زیر پیک اصلی گرونا به سطح زیر پیک اصلی فلورین به ازای عیارهای مختلف گرونا و شکل (۳) نمودار استاندارد تهیه شده را نشان می‌دهد.

جدول (۶) نسبت بین سطح زیر پیک اصلی گرونا به سطح

زیر پیک اصلی فلورین به ازای عیارهای مختلف

عیار گرونا (%)	نسبت پیکها	عیار گرونا (%)	نسبت پیکها
۲۵/۵	۰/۸۵	۶۳/۱۱	۱/۶۹
۴۲/۷۹	۱/۲۵	۷۱/۳۹	۱/۸۵
۴۸/۳	۱/۱۸	۷۸/۲۴	۲/۱۵
۵۵/۴۲	۱/۳۶	۹۰	۲/۷

با توجه به شکل (۳) معادله این نمودار نیز مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$G = 31/899 y + 8/58$$

Y: نسبت بین سطح زیر پیک اصلی گرونا (A_1) به سطح زیر پیک اصلی فلورین (A_2)
G: عیار تقریبی گرونا قبل از اضافه کردن فلورین

۶-۲- مطالعات توزیع ابعادی

برای مطالعه و بررسی تغییرات عیار و توزیع گرونا در بخش‌های مختلف دانه بندی نمونه‌ای به وزن ۱۰۰۰ گرم مورد تجزیه سرنندی قرار گرفت. منحنی‌های دانه بندی و توزیع گرونا در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.

براساس مطالعات توزیع ابعادی می‌توان نتایج زیر را مطرح نمود.

الف: عیار متوسط نمونه ۷۷ درصد است.

ب: تقریباً ۸۰ درصد ذرات دارای ابعادی کمتر از ۱۹۰۰ میکرون و ۵۰ درصد مواد دارای ابعادی کمتر از ۱۱۴۰ میکرون است.

ج: توزیع عیار در فراکسیون‌های ($۱۴۰۰ + ۲۰۰۰$) و ($۵۰۰ + ۱۰۰$) میکرون نسبت به سایر فراکسیونها بیشتر بوده و این مسأله در مطالعات تعیین درجه آزادی می‌تواند مد نظر قرار گیرد.

۷-۲- مطالعات تعیین درجه آزادی

جهت بررسی درجه آزادی گرونا از ناخالصی‌های همراه از دو روش شمارش میکروسکوپی و محلول‌های سنگین استفاده شده است.

۷-۲-۱- تعیین درجه آزادی از طریق شمارش میکروسکوپی

در این مرحله، پس از تجزیه سرنندی نمونه، از هر بخش ۲۰۰ دانه به طور غیر انتخابی جدا کرده و چنانچه مجموع دانه‌ها در هر فراکسیون کمتر از ۲۰۰ عدد باشد، تمام نمونه، مورد استفاده قرار خواهد گرفت. پس از تعیین تعداد گرونا آزاد، در گیر و باطله، درجه آزادی در هر فراکسیون محاسبه شده است. نتیجه حاصل از این بخش در شکل (۶) نشان داده شده است.

باتوجه به شکل (۶) هشتاد درصد ذرات گرونا در دانه بندی ریزتر از ۶۳۰ میکرون به درجه آزادی می‌رسند.

۷-۲-۲- تأیید درجه آزادی به روش محلول‌های سنگین

نمونه تا ابعاد کمتر از ۱ میلی‌متر خرد و سپس به فراکسیون‌های ($۷۰۰ + ۱۰۰۰$)، ($۵۰۰ + ۷۰۰$) و ($۳۱۵ + ۵۰۰$) میکرون تفکیک گردید. سپس هر

فراکسیون توسط محلول‌های سنگین با جرم مخصوص‌های ۲/۸۹ (برموفرم)، ۳/۳۲ (دی پدو متان) و ۴/۰۳ (فرمات مالونات تالیوم) گرم بر سانتی‌متر مکعب مورد جدایش قرار گرفت. شکل (۷) توزیع گرونا در بخش غرق شده را نسبت به جرم مخصوص محلول سنگین نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل با کاهش ابعاد ذرات تا حد ۵۰۰ میکرون، میزان توزیع گرونا در بخش (جرم مخصوص) ۳/۳۲، افزایش می‌یابد و این مسأله نشان دهنده آزاد شدن ذرات گرونا و تجمع آنها در این بخش است.

۳- نتایج

باتوجه به مطالعات انجام شده بر روی گرونا منطقه کوه گیری رفسنجان می‌توان به نتایج زیر دست یافت:

۱) نتایج تجزیه شیمیایی و مطالعات X.R.D نشان می‌دهد که نوع گرونا، آندرایت و فراوان ترین کانی موجود در نمونه است. سایر کانی‌ها به ترتیب فراوانی شامل کلسیت، منیتیت و لاستونیت و کوارتز می‌باشند.

۲) مطالعات کانی‌شناسی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که:

الف: در بعضی از ذرات، آهن موجود در ساختمان آندرایت در حاشیه دانه‌ها و در شکاف‌های موجود در سطح آنها در حال تبدیل به اکسیدهای آهن بوده و این مسأله باعث تخریب سطح ذرات گردیده و سختی آنها را کاهش می‌دهد.

ب: درگیری گرونا بیشتر با منیتیت و ولستونیت است و به نظر می‌رسد بتوان با خردایش نمونه تا حد زیر ۵۰۰ میکرون به درجه آزادی مطلوب دست یافت.

ج: شکل ذرات بیشتر گوشه دار بوده و از دیدگاه کاربرد این مواد در صنایع مختلف از اهمیت خاصی برخوردار است.

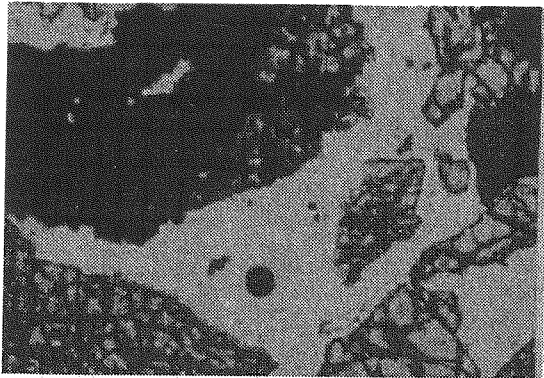
۳) مطالعات توزیع ابعادی نشان می‌دهد که:

الف: تقریباً ۸۰ درصد مواد دارای ابعادی کمتر از ۱۱۴۰ میکرون است.

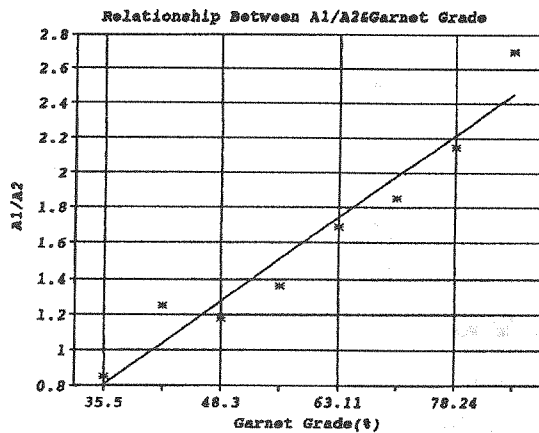
ب: توزیع گرونا در فراکسیون ($۵۰۰ + ۱۰۰۰$) میکرون زیاد بوده و این مسأله می‌تواند تأییدی بر درجه آزادی محاسباتی توسط سایر روشها باشد.

۴) در مطالعات درجه آزادی نتایج زیر حاصل گردید:

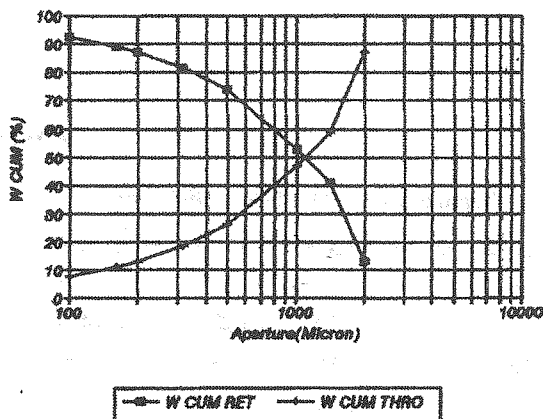
الف: در روش شمارش میکروسکوپی ۸۰ درصد ذرات گرونا در دانه بندی ریزتر از ۶۳۰ میکرون به درجه آزادی می‌رسند. ب: در روش محلول‌های سنگین با



شکل (۲) مقطع نازک با بزرگنمایی (۱۲/۵ × ۱/۶ × ۱۲/۵) دانه‌های سیاه منیتیت می‌باشند. کلسیت نیز در شکل مشخص است.



شکل (۳) نمودار استاندارد عیار سنجی برای گرونا



شکل (۴) منحنی دانه بندی (خروجی از سنگ شکن)

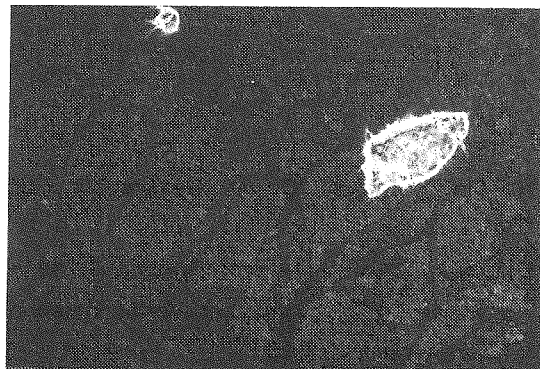
کاهش ابعاد از ۱۰۰۰ به ۵۰۰ میکرون توزیع گرونا در محدوده مایع سنگین با جرم مخصوص (۳/۳۲ + ۴/۰۳) افزایش می‌یابد که این مسأله نشان دهنده افزایش آزادی گرونا است.

(۵) باتوجه به وزن مخصوص و خواص مغناطیسی آندزادیت و کانی‌های همراه و از طرفی باتوجه به درجه آزادی گرونا روش‌های فرآوری به صورت زیر پیش بینی می‌گردد:

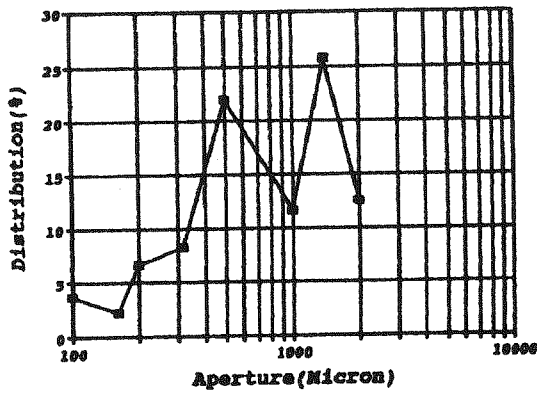
الف: جرم مخصوص تقریبی کانی‌های آندزادیت، ولاستونیت، کلسیت و کوارتز به ترتیب ۲/۸، ۳/۸، ۲/۷۲ و ۲/۶۵ گرم بر سانتیمتر مکعب بوده و درجه آزادی مطلوب تقریباً ۶۰۰ میکرون می‌باشد. لذا پیش بینی می‌شود بتوان با برخی از روش‌های ثقلی از جمله مین، اسپیرال، جداکننده مولتی گراویتی و سپس یک مرحله جدایش مغناطیسی شدت پایین جهت جدایش منیتیت گرونا را پرعیار نمود.

ب: گرونا پارامنیتیت بوده و کلیه باطله‌های همراه آن به جز منیتیت، دیامنیتیت می‌باشند، لذا می‌توان در دو مرحله به روش مغناطیسی گرونا را پرعیار نمود. در مرحله اول می‌توان با جداکننده مغناطیسی شدت بالا (۱۹-۱۲ کیلوگوس) گرونا و منیتیت را جدا و سپس با جداکننده مغناطیسی شدت پایین (کمتر از ۱ کیلوگوس) منیتیت را جدا نمود [۵].

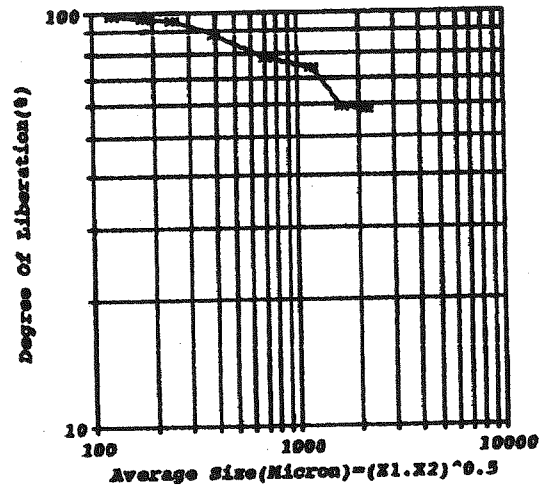
ج: باتوجه به میزان درجه آزادی گرونا به خصوص بخش ریزدانه، روش فلوتاسیون نیز می‌تواند مد نظر قرار گیرد. (۶) در نهایت گرونا این منطقه جهت کاربرد در صنایع تصفیه آب، واترجت، ساندبلاست و شاید ساینده‌های پوششی توصیه می‌گردد.



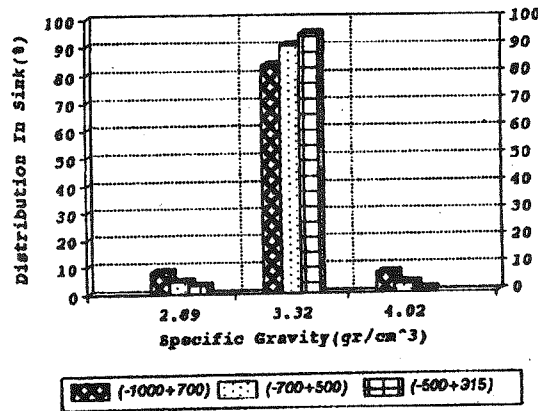
شکل (۱) مقطع نازک با بزرگنمایی (۱۲/۵ × ۱/۶ × ۲/۵) دانه‌های سیاه، گروناپی است که در حاشیه و درزه‌ها اکسید شده است. زمینه روشن گرونا است.



شکل (۶) تعیین درجه آزادی



شکل (۵) منحنی تغییرات توزیع گرونا



شکل (۷) توزیع گرونا در بخش غرق شده به ازای جرم مخصوص های متفاوت از معلول سنگین و دانه بندی های مختلف

مراجع

- [1] John D. Rouse, "Garnet" Butterworths Gem Books. (1986)
- [2] Grodon T. Austin, "Abrasive Materials ", Annual Report, U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, pp: 1-34 (1991)
- [3] U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity

- Summaries", (1991, 1992, 1993, 1994).
- [۲] صرافى، علىرضا و آفتابى، علىجان بررسى ساینده ها از نوع گروناهای استان کرمان، سازمان زمین شناسی مرکز کرمان (۱۳۷۰).
- [5] Wills, B.A., "Mineral Processing Technology", 2nd ed. Pergamon press. pp 525 . (1981).