

کاربرد فلوتاسیون در پرعیارسازی ذرات ریز کانسنگهای کم عیار منگنز

منوچهر اولیازاده*، محمد نوع پرست**، و رضا دهقان سیمکانی***

گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی دانشگاه تهران

(دریافت مقاله ۸۰/۸/۲۷ - دریافت نسخه نهایی: ۸۱/۴/۲۲)

چکیده - کاربرد روشهای ثقلی در پرعیارسازی کانسنگ کم عیار منگنز ونارج در جای دیگری آورده شده است. مقاله حاضر به ارائه و بررسی نتایج حاصل از فلوتاسیون نرمه‌های منگنز و کاربرد روش ترکیبی مغناطیسی فلوتاسیون، به منظور پرعیارسازی بخش ابعادی ۱۵۰- میکرون کانه کم عیار ونارج اختصاص یافته است. نتایج آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم و معکوس و با استفاده از داروهای شیمیایی مختلف نشان داد، که پرعیارسازی ذرات نرمه کانسنگهای منگنز به روش فلوتاسیون، در شرایط متداول از نظر غلظت کلکتور و دمای محیط امکانپذیر نیست و ایسن امر غیر اقتصادی بودن این روش را محتمل می‌سازد.

در این تحقیق با انجام ترکیب روشهای فلوتاسیون مستقیم و جدایش مغناطیسی مواد ریزتر از ۱۵۰ میکرون با کیفیت $Mn= 8/36\%$ ، $SiO_2= 34/11\%$ و $Fe_2O_3= 23/05\%$ ، محصولی با ۲۶/۷۸ درصد منگنز، ۱۱/۶۴ درصد سیلیس و ۲۰/۳۷ درصد اکسید آهن و بازیابی حدود ۵۶ درصد بدست آمد. نرمه‌گیری نمونه متوسط در ابعاد ۱۰ الی ۱۵ میکرون قبل از انجام آزمایشها بهبود راندمان عملیات و افزایش کیفیت محصول را به دنبال داشت.

واژگان کلیدی: کانه آرای، فلوتاسیون، منگنز، معدن ونارج

Processing of Low Grade Fine Manganese Ore Using Flotation Method

M. Oliazadeh, M. Noaparast, and R. Dehghan Simakani
Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering
University of Technology

Abstract : Application of gravity and magnetic separation methods to upgrade low grade Manganese ores from Venaj Mine has been reported elsewhere. This paper discusses the results of flotation tests, as well as combination of flotation and magnetic method to concentrate fine particles (less than 150 microns) of manganese ore. Results obtained from various direct and reverse flotation tests, using different types of reagents, indicated that manganese fines can not easily be concentrated by flotation.

In this investigation, combination of direct flotation and magnetic separation for fine particles (finer than 150 microns) with 8.36% Mn, 34.11% SiO_2 , 23.05% Fe_2O_3 yielded a manganese concentrate with 26.78% Mn, 11.64% SiO_2 , 20.37% Fe_2O_3 and 56% recovery. Desliming 10-15 micron particles prior to flotation tests improved product quality and the recovery.

Keywords: Mineral Processing, Flotation, Manganese, Vanarj Mine.

***-کارشناسی ارشد

** -استادیار

* -دانشیار

فلوتاسیون امولسیونی یا آگلومراسیونی برای پرعیار سازی کانه‌ای با باطله سیلیس، کلسیت، ژیپس، باریت و رس بتونیتی استفاده می‌شود. در این فرایند پس از آماده سازی کانه با حضور کربنات سدیم در pH حدود ۸ و با حضور دی اکسید گوگرد و امولسیونی از نفت دیزل و کف ساز صابونی و یک عامل سولفونات الکیل - آریل و تحت همزنی با شدت زیاد، عملیات شناورسازی صورت می‌پذیرد. مقدار مصرف این داروهای شیمیایی حدود ۱۳۵ کیلوگرم بر تن ذکر شده است [۴].

شناورسازی رودوکروزیت (کربنات منگنز) معمولاً به آسانی انجام می‌شود و اغلب فلوتاسیون به عنوان روش پرعیار سازی این کانی معرفی می‌شود. در کارخانه فلوتاسیون کربنات منگنز در آناکوندا^۱، هزینه فلوتاسیون رودوکروزیت معادل هزینه فلوتاسیون سرب و روی در ظرفیتهای برابر برآورد شده است [۴]. شناورسازی اکسید منگنز در حضور دودسیل سولفونات و دودسیل آمین (کلکتورهای آنیونی و کاتیونی) ناشی از جذب الکترواستاتیکی بین کانی منگنز و کلکتور در دو محیط اسیدی و قلیایی انجام شده است. بررسی رفتار پیرولوژیت در حضور اولئات سدیم نشان داده است، که این کانی در دو pH معادل ۴ و ۸/۵ شناور می‌شود که به ترتیب بر اثر جذب الکترواستاتیکی و جذب شیمیایی اولئات بر روی سطح این کانی می‌باشد.

کلکتورهای R-۷۱۰ و R-۷۱۵ و اسیدهای چرب نیز (از طرف شرکت سیانامید^۱) برای شناور سازی اکسیدهای منگنز معرفی شده‌اند [۶]. برای فلوتاسیون اکسیدهای منگنز در کوبا نیز امولسیونی مرکب از اسیدهای چرب، پترولیوم اوایل و پترولیوم سولفونات به عنوان کلکتور استفاده شده است [۳].

۲- مواد و روشها

حدود ۵۰۰ کیلوگرم نمونه سنگ منگنز کم عیار سنگ شکنی شده دریافت، و نمونه معرف از آن تهیه شد. مطالعات کانی شناسی از طریق مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک و صیقلی، دیفراکتومتری پرتو ایکس و نیز به وسیله میکروسکوپ

بطور کلی فلوتاسیون کانیهای اکسیدی در مقایسه با فلوتاسیون سولفیدها با مشکلات بیشتری مواجه است و این اصل در مورد کانیهای منگنز که اغلب به صورت اکسید یا سیلیکات‌اند نیز کاملاً صادق است. مصرف کلکتور در فلوتاسیون اکسیدهای منگنز بالا بوده و در مواردی تا حدود (۲ تا ۵ کیلوگرم بر تن) می‌رسد و معمولاً باید مخلوطی از کلکتورهای مختلف استفاده شود [۱].

کانیهای منگنز از نظر قابلیت شناورسازی به دسته‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]:

جدول ۱- تقسیم‌بندی کانیهای مختلف منگنز از نظر شناورسازی

| نام کانی‌ها | شرایط فلوتاسیون |
|--|--------------------------------------|
| رودوکروزیت | شناور می‌شوند ^۱ . |
| پسیلوملان، آلاباندیت، پیرولوژیت، منگانیت | مشکل شناور می‌شوند ^۲ . |
| براونیت، رودونیت | به ندرت شناور می‌شوند ^۳ . |

کانیهای منگنز از نظر کاربرد روش فلوتاسیون به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شوند. گروه اول شامل کانه‌هایی با عیار بالایی از پیرولوژیت یا منگانیت همراه با باطله کلسیتی‌اند که با شناوری کلسیت، باطله‌ای غنی از منگنز (فلوتاسیون معکوس) به دست می‌آید. در این حالت کانه در pH حدود ۸ و با استفاده از (۰/۵ تا ۲/۳ کیلوگرم بر تن) کربنات سدیم و (۰/۲۳ تا ۱/۴ کیلوگرم بر تن) دکستریل زرد آماده سازی می‌شود و سپس فلوتاسیون با (۰/۵ تا ۱/۸ کیلوگرم بر تن) اسید اولئیک انجام می‌شود. گروه دوم، کانه‌های منگنز حاوی پیرولوژیت، منگانیت یا پسیلوملان هستند، که با مقادیر کمی از رس و سایر ترکیبات مولد نرمه همراه‌اند. و با شناورسازی کانیهای منگنز قابل پرعیار شدن می‌شوند [۳].

فلوتاسیون منگنز در واحد فراوری کیدز نوادا^۴ نیز از

جدول ۲ - عیار ترکیبات مختلف در فراکسیونهای محدوده ۱۵۰- میکرون

| عیار (%) | | | محدوده ابعادی میکرون |
|--------------------------------|------------------|-------|----------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | |
| ۲۰/۶۶ | ۳۲/۶۶ | ۱۱/۱۲ | -۱۵۰+۷۵ |
| ۱۹/۵۴ | ۳۴/۱۴ | ۹/۳۳ | -۷۵+۳۸ |
| ۲۴/۸ | ۳۴/۶ | ۷/۱۹ | -۳۸ |

تاثیر نرمه‌گیری خوراک فلوتاسیون (که با استفاده از هیدروسیکلون آزمایشگاهی موزلی^۷ و نرمه‌گیری در حد ۱۰ الی ۱۵ میکرون انجام شد) مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از ترکیب فلوتاسیون مستقیم با اسیدهای چرب و جدایش مغناطیسی تر برای پرعیار سازی نرمه‌های منگنز نیز بررسی شد. در این حالت دستگاه جدایش مغناطیسی تر مدل باکس-مگ^۸ مورد استفاده قرار گرفت.

۳- مطالعات انجام شده

اگر چه روشهای پرعیار سازی ثقلی (جیگ، میز لرزان و مایعات سنگین) و جدایش‌های مغناطیسی، نتایج قابل قبولی را در مورد کانه کم عیار معدن منگنز ونارج قم به دنبال داشت، اما این روشها در محدوده ۱۵۰- میکرون قادر به پرعیار سازی نرمه‌های منگنز نبودند و روش فلوتاسیون در صورت موفقیت می‌تواند به عنوان مکمل سایر روشهای مذکور، بازیابی عملیات پرعیار سازی را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. محدوده ابعادی ۱۵۰- میکرون حدود ۷/۷ درصد از کل منگنز موجود در نمونه متوسط را داراست.

ترکیب شیمیایی نمونه مورد استفاده در آزمایشهای فلوتاسیون به صورت $SiO_2=34/11\%$ ، $Mn=8/36\%$ و $Fe_2O_3=23/05\%$ است. مطالعات تعیین درجه آزادی نمونه متوسط کانه کم عیار، درجه آزادی کانیهای منگنز را در محدوده ۱۵۰+۱۸۰- میکرون حدود ۸۰ درصد نشان داده است. بنابراین به نظر میرسد که ذرات منگنز در این محدوده ابعادی آزادند. نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نیز بر تشکیل کانه کم عیار از کانیهای براونیت (کانی عمده منگنز) همراه با باطله‌های

صیقلی، دیفراکتومتری پرتو ایکس و نیز به وسیله میکروسکوپ الکترونی انجام شد. آنالیز شیمیایی نمونه متوسط نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی به دست آمد. پس از تعیین درجه آزادی کانیهای منگنز از طریق مطالعه مقاطع تهیه شده از هشت محدوده مختلف ابعادی، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایشهای پرعیار سازی آماده شد.

نمونه متوسط مورد استفاده برای انجام مطالعات پرعیار سازی کانه کم عیار معدن ونارج قم، دارای ترکیب شیمیایی ($SiO_2=31/02\%$ ، $Fe_2O_3=18/44\%$ ، $Mn=10/18\%$ ، $CaO=9/04\%$ ، $S=0/33\%$ ، $P=0/04\%$ ، $Al_2O_3=7/30\%$) بود. نتایج بررسیهای انجام شده برای پرعیار سازی این نمونه با روشهای ثقلی و مغناطیسی در جای دیگری آمده است [۷]. نمونه مورد استفاده برای انجام این تحقیق، دارای ابعاد ۱۵۰- میکرون (موجود در نمونه اولیه و حاصل از مراحل قبلی خردایش) بود.

آزمایشهای فلوتاسیون کانیهای منگنز به دو روش مستقیم و معکوس وبا استفاده از سلول آزمایشگاهی دنور و داروهای شیمیایی مختلف انجام شد. آزمایشهای معکوس با کلکتور کاتیونی آرماک-تی در PH حدود ۸ همراه با متفرق کننده سیلیکات سدیم و کف سازهای اثر و فروت-۷۷ و اثر و فروت ۶۷- در دو حالت با بازدارنده کبراکو و بدون آن انجام شدند. آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم نیز با استفاده از کلکتورهای R-۸۴۵، اسیدهای چرب (Emery 305)، اسید اولئیک و (Emery 3531) و اولئات سدیم در غلظتهای مختلف کلکتور و شرایط محیطی مختلف از نظر PH و دما و کف سازهای مذکور در دو حالت با استفاده از متفرق کننده سیلیکات سدیم و بدون استفاده از آن انجام شدند.

جدول ۳ - نتایج آزمایش فلوتاسیون معکوس بدون استفاده از بازدارنده

| توزیع (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------|-----------|---------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۲۴/۲۴ | ۲۲/۳۹ | ۱۴/۴۵ | ۲۳/۹۶ | ۳۳/۳۷ | ۶/۵۵ | ۲۱/۷۶ | محصول شناور |
| ۷۵/۷۶ | ۷۷/۶۱ | ۸۵/۵۵ | ۲۰/۸۳ | ۳۲/۱۶ | ۱۰/۷۶ | ۷۸/۲۴ | محصول غوطه‌ور |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۱/۵۱ | ۳۲/۴۲ | ۹/۸۴ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

جدول ۴ - نتایج آزمایش فلوتاسیون معکوس با استفاده از بازدارنده کبراکو

| توزیع (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|------|-----------|--------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۷/۴۷ | ۶/۷۱ | ۵/۵۷ | ۲۳/۰۵ | ۳۲/۰۸ | ۶/۹۵ | ۶/۹۷ | شناور اول |
| ۱۰/۵۹ | ۹/۵۹ | ۷/۴۳ | ۲۴/۱۹ | ۳۳/۹ | ۶/۹۳ | ۹/۴۲ | شناور دوم |
| ۶۲/۷۵ | ۶۳/۲۹ | ۶۸ | ۲۰/۵۵ | ۳۲/۰۸ | ۹/۰۰ | ۶۵/۶۶ | غوطه‌ور |
| ۱۹/۱۶ | ۲۰/۴۲ | ۱۹ | ۲۲/۹۶ | ۳۷/۸۶ | ۹/۵۴ | ۱۷/۹۵ | نرمة جدا شده |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۱/۵۰ | ۳۲/۲۸ | ۸/۶۹ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

جدول ۵ - نتایج آزمایش فلوتاسیون مستقیم با کلکتور اسید چرب (Emery 305)

| توزیع (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|------|-----------|----------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۱/۳۳ | ۱/۶۸ | ۱/۸۷ | ۱۵/۰۵ | ۲۸/۵۷ | ۸/۴۸ | ۲ | محصول شناور (pH=۸/۵) |
| ۱/۸۱ | ۳/۳۶ | ۲/۵۴ | ۱۳/۸۹ | ۲۷/۱۷ | ۷/۶۵ | ۲/۹۶ | محصول شناور (pH=۵) |
| ۲۶/۵ | ۳۰/۷۴ | ۴۴/۵۸ | ۱۹/۳۶ | ۳۳/۷۴ | ۱۳ | ۳۰/۹۷ | محصول غوطه‌ور |
| ۷۰/۳۶ | ۶۵/۲۱ | ۵۱/۰۱ | ۲۴/۸ | ۳۴/۶ | ۷/۱۹ | ۶۴/۰۷ | نرمة ۳۸- میکرون |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۲/۵۹ | ۳۳/۹۹ | ۹/۰۳ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

گرم بر تن انجام شد. آماده سازی پالپ در شرایط ۵۰٪ وزنی جامد و به مدت سه دقیقه انجام و شناورسازی در درصد جامد حدود ۳۰ درصد وزنی با استفاده از سیلیکات سدیم به عنوان متفرق کننده نرمة‌ها و کف ساز اثر-۷۷ انجام شد. نتایج این آزمایش در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج حاصل از آزمایش معکوس و با استفاده از کبراکو (به عنوان بازدارنده کانیهای منگنز) و استفاده از کف ساز اثر-۶۷

کوارتز، کلسیت، فلدسپاتها و هماتیت دلالت دارد. ترکیب شیمیایی فراکسیونهای موجود در محدوده ۱۵۰- میکرون در جدول ۲ ارائه شده است.

۴- آزمایشهای فلوتاسیون

آزمایش فلوتاسیون معکوس بدون بازدارنده، با کلکتور آرماس- تی برای شناور سازی کوارتز در PH حدود ۸ به میزان ۲۰۰۰

جدول ۶- نتایج فلوتاسیون مستقیم با کلکتور اولئات سدیم

| توزیع (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|-------|-----------|----------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۲۵/۷۸ | ۲۲/۱۸ | ۱۹/۰۶ | ۱۹/۶۱ | ۲۸/۱۳ | ۷/۶۶ | ۲۶/۵۷ | محصول شناور اول |
| ۳/۵۶ | ۳/۹۲ | ۴/۱۶ | ۱۶/۰۲ | ۲۹/۳۶ | ۸/۵۸ | ۴/۵ | محصول شناور (pH=۸/۵) |
| ۹/۶۸ | ۱۰/۸۱ | ۱۰/۰۸ | ۲۱/۰۹ | ۳۶/۹۹ | ۱۰/۰۸ | ۹/۲۸ | محصول شناور (pH=۵) |
| ۴۱/۱۹ | ۴۳/۴۸ | ۵۰/۳۳ | ۲۰/۹۱ | ۳۶/۷۹ | ۱۱/۷۳ | ۳۹/۸۲ | محصول غوطه‌ور |
| ۱۹/۸ | ۲۰/۲۲ | ۱۶/۳۸ | ۲۰/۱۸ | ۳۴/۳۶ | ۷/۶۷ | ۱۹/۸۳ | نرمه |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۰/۳۱ | ۳۳/۶۹ | ۹/۲۸ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

موجود در محدوده ۱۵۰- میکرون توسط ظرف نرمه گیر، از ۱۰۰۰ گرم بر تن اولئات سدیم همراه با کف ساز اثر-۷۷ برای شناورسازی کانیهای منگنز در pH=۸/۵ و در pH=۵ استفاده شد. کاهش pH به کمک اسید سولفوریک انجام گرفت و متفرق کننده سیلیکات سدیم نیز در این آزمایشها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از این آزمایشها در جدول ۶ آمده است. اگر چه عیار منگنز در محصول شناور حاصل در pH اسیدی، بیش از عیار آن در pH قلیایی است، اما همچنان شناورسازی مطلوب کانیهای منگنز صورت نگرفته است.

از آنجا که آزمایشهای فلوتاسیون به تنهایی نتایج قابل قبولی را برای پرعیار سازی نرمه‌های منگنز به دنبال نداشت، لذا استفاده از ترکیب روشهای جدایش مغناطیسی تر و فلوتاسیون با غلظت بالاتر کلکتور در دو آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. از طرفی برای بررسی رفتار سیلیکات سدیم و تاثیر آن، این دو آزمایش بر خلاف تمام آزمایشهای قبل بدون استفاده از سیلیکات سدیم انجام شدند.

آزمایش اول با استفاده از اسید چرب (Emery 3531) به میزان ۴۰۰۰ گرم بر تن به عنوان کلکتور و اثر-۷۷ به عنوان کف ساز انجام شد. خوراک این آزمایش ذرات با ابعاد ۱۵۰+۳۸- میکرون و ترکیب شیمیایی $Mn=10/32\%$ ، $SiO_2=34/32\%$ و $Fe_2O_3=20/16\%$ و به میزان ۲۱۰ گرم بوده است. پس از آماده سازی پالپ در درصد وزنی جامد ۵۰ و در pH خشی، عملیات

در دو مرحله و در pH خشی نیز در جدول ۴ مشاهده می‌شود. در این آزمایش نیز از ۲۰۰۰ گرم بر تن کلکتور آرماک-تی و از سیلیکات سدیم به عنوان متفرق کننده استفاده شد. نرمه گیری نمونه با استفاده از ظرف نرمه‌گیر انجام شد و با وجود به کارگیری کبراکو به میزان ۴۰۰۰ گرم بر تن (به منظور بازداشت کانیهای منگنز و انجام آزمایش فلوتاسیون معکوس) نتایج به دست آمده تفاوت قابل توجهی با نتایج مندرج در جدول ۳ را نشان نمی‌دهد.

فلوتاسیون مستقیم با استفاده از کلکتورهای مختلفی انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش شناورسازی مستقیم با استفاده از کلکتور اسید چرب (Emery 305) به میزان ۲۰۰۰ گرم بر تن و در دو محدوده pH بازی و اسیدی بر روی ذرات ۱۵۰+۳۸- میکرون در جدول ۵ ارائه شده است.

به منظور کاهش pH محیط، از اسید سولفوریک استفاده شد و سیلیکات سدیم اثر-۷۷ به عنوان متفرق کننده و کف ساز در این آزمایش استفاده شدند. توزیع منگنز در فراکسیون ۳۸- میکرون قابل توجه بوده و چنانچه ملاحظه می‌شود، در هیچ‌یک از محدوده‌های pH شناورسازی کانیهای منگنز انجام نشده است. در آزمایش دیگری ابتدا با کلکتور اسید اولئیک و در pH حدود ۸، سعی در شناورسازی کانیهای کلسیم‌دار شد و سپس با استفاده از کلکتور اولئات سدیم، شناورسازی کانیهای منگنز در دو pH اسیدی و بازی بررسی شد. پس از نرمه گیری مواد

جدول ۷- نتایج حاصل از نرمه گیری در محدوده ۱۵۰- میکرون

| توزیع (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|-------|--------------------------------|------------------|------|-----------|-------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۶۸/۹ | ۷۳/۴۷ | ۸۰/۸۳ | ۲۱/۹۴ | ۳۴/۶۲ | ۹/۳۴ | ۷۲/۳۶ | تهریز هیدروسیکلون |
| ۳۱/۱ | ۲۶/۵۳ | ۱۹/۱۷ | ۲۵/۹۴ | ۳۲/۷۵ | ۵/۸ | ۲۷/۶۴ | سرریز هیدروسیکلون |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۳/۰۵ | ۳۴/۱۱ | ۸/۳۶ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

جدول ۸- نتایج آزمایش مغناطیسی تر بر ته ریز هیدروسیکلون

| عیار (%) | | | عیار (%) | | | درصد وزنی | نوع محصول |
|--------------------------------|------------------|------|--------------------------------|------------------|-------|-----------|-------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | | |
| ۵۳/۹۶ | ۴۰/۶۶ | ۹۴/۱ | ۲۳/۱۱ | ۲۷/۴۸ | ۱۷/۱۵ | ۵۱/۲۳ | کنسانتره مغناطیسی |
| ۴۶/۰۴ | ۵۹/۳۴ | ۵/۹ | ۲۰/۷۱ | ۴۲/۱۲ | ۱/۱۳ | ۴۸/۷۷ | باطله غیرمغناطیسی |
| ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۲۱/۹۴ | ۳۴/۶۲ | ۹/۳۴ | ۱۰۰ | جمع - متوسط |

تحت جدایش مغناطیسی قرار گرفت و سپس آزمایش شناور سازی بر روی محصول مغناطیسی انجام شد. نتایج آزمایش مغناطیسی تر بر روی ته ریز هیدروسیکلون در جدول ۸ ارائه شده است.

نتایج جدول ۸ دلالت بر آن دارد که محصولی با عیار منگنز ۱۷/۱۵ درصد و بازیابی ۹۴/۱ درصد از جدایش مغناطیسی به دست آمده است. آزمایش فلوتاسیون با استفاده از ۳۵۰۰ گرم بر تن کلکتور اولئات سدیم در pH=۷/۵ و با حضور کف ساز ائرو-۷۷ در دمای آب ۴۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۹ آمده است. تاثیر نرمه گیری در حد ۱۰ الی ۱۵ میکرون، علاوه بر جلوگیری از بروز مشکلات در عملیات شناور سازی، از جهت افزایش عیار منگنز نیز حائز اهمیت است، که این امر در جدول ۷ به وضوح مشاهده می شود.

۵- نتیجه گیری

نتایج زیر از مطالعات پرعیار سازی محدوده ۱۵۰- میکرون کانه کم عیار منگنز ونارج به دست آمده است:

۱- نرمه گیری مواد موجود در این محدوده ابعادی قبل از

شناور سازی در دمای ۴۰ درجه سلسیوس انجام شد. محصول شناور این آزمایش پس از خشک شدن ۲۰ گرم بود. افزایش عیار منگنز آن در زیر میکروسکوپ به وضوح مشاهده شد. پس از شستشوی کامل، عملیات شناورسازی مجدداً با استفاده از ۵۰۰ گرم بر تن کلکتور R-۸۴۵ و در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد انجام شد. وزن محصول شناور این مرحله ۶۵ گرم و دارای ترکیب شیمیایی $Fe_2O_3=9/99\%$ و $SiO_2=105/76\%$ و $Mn=19/82\%$ بوده است. لذا تحت این شرایط محصولی با عیار منگنز ۱۹/۸۲٪ و بازیابی ۵۹/۴۴ درصد به دست آمد. آزمایش مغناطیسی تر بر روی این محصول انجام شد و محصولی با ترکیب $Fe_2O_3=20/37\%$ و $SiO_2=11/64\%$ ، $Mn=26/78\%$ و بازیابی ۹۵/۰۸ درصد به دست آمد و بدین ترتیب بازیابی کل این فرایندها ۵۶/۵۲٪ محاسبه شد.

به منظور بررسی تاثیر نرمه گیری، مواد موجود در محدوده ۱۵۰- میکرون ابتدا با استفاده از هیدروسیکلون آزمایشگاهی موزلی در ابعاد ۱۰ الی ۱۵ میکرون نرمه گیری شد، که نتایج حاصل در جدول ۷ ارائه شده است.

برای انجام آزمایش شناور سازی ابتدا ته ریز هیدروسیکلون

جدول ۲ - عیار ترکیبات مختلف در فراکسیونهای محدوده ۱۵۰- میکرون

| عیار (%) | | | محدوده ابعادی میکرون |
|--------------------------------|------------------|-------|----------------------|
| Fe ₂ O ₃ | SiO ₂ | Mn | |
| ۲۰/۶۶ | ۳۲/۶۶ | ۱۱/۱۲ | -۱۵۰+۷۵ |
| ۱۹/۵۴ | ۳۴/۱۴ | ۹/۳۳ | -۷۵+۳۸ |
| ۲۴/۸ | ۳۴/۶ | ۷/۱۹ | -۳۸ |

تاثیر نرمه‌گیری خوراک فلوتاسیون (که با استفاده از هیدروسیکلون آزمایشگاهی موزلی^۷ و نرمه‌گیری در حد ۱۰ الی ۱۵ میکرون انجام شد) مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از ترکیب فلوتاسیون مستقیم با اسیدهای چرب و جدایش مغناطیسی تر برای پرعیار سازی نرمه‌های منگنز نیز بررسی شد. در این حالت دستگاه جدایش مغناطیسی تر مدل باکس-مگ^۸ مورد استفاده قرار گرفت.

۳- مطالعات انجام شده

اگر چه روشهای پرعیار سازی ثقلی (جیگ، میز لرزان و مایعات سنگین) و جدایش‌های مغناطیسی، نتایج قابل قبولی را در مورد کانه کم عیار معدن منگنز ونارج قم به دنبال داشت، اما این روشها در محدوده ۱۵۰- میکرون قادر به پرعیار سازی نرمه‌های منگنز نبودند و روش فلوتاسیون در صورت موفقیت می‌تواند به عنوان مکمل سایر روشهای مذکور، بازیابی عملیات پرعیار سازی را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. محدوده ابعادی ۱۵۰- میکرون حدود ۷/۷ درصد از کل منگنز موجود در نمونه متوسط را داراست.

ترکیب شیمیایی نمونه مورد استفاده در آزمایشهای فلوتاسیون به صورت $Mn=۸/۳۶\%$ ، $SiO_2=۳۴/۱۱\%$ و $Fe_2O_3=۲۳/۰۵\%$ است. مطالعات تعیین درجه آزادی نمونه متوسط کانه کم عیار، درجه آزادی کانیهای منگنز را در محدوده ۱۵۰+۱۸۰- میکرون حدود ۸۰ درصد نشان داده است. بنابراین به نظر میرسد که ذرات منگنز در این محدوده ابعادی آزادند. نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نیز بر تشکیل کانه کم عیار از کانیهای براونیت (کانی عمده منگنز) همراه با باطله‌های

صیقلی، دیفراکتومتری پرتو ایکس و نیز به وسیله میکروسکوپ الکترونی انجام شد. آنالیز شیمیایی نمونه متوسط نیز با استفاده از دستگاه جذب اتمی به دست آمد. پس از تعیین درجه آزادی کانیهای منگنز از طریق مطالعه مقاطع تهیه شده از هشت محدوده مختلف ابعادی، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایشهای پرعیار سازی آماده شد.

نمونه متوسط مورد استفاده برای انجام مطالعات پرعیار سازی کانه کم عیار معدن ونارج قم، دارای ترکیب شیمیایی ($SiO_2=۳۱/۵۲\%$ ، $Fe_2O_3=۱۸/۴۴\%$ ، $Mn=۱۵/۱۸\%$ ، $CaO=۹/۵۴\%$ ، $S=۰/۳۳\%$ ، $P=۰/۰۴\%$ ، $Al_2O_3=۷/۳۵\%$) بود. نتایج بررسیهای انجام شده برای پرعیار سازی این نمونه با روشهای ثقلی و مغناطیسی در جای دیگری آمده است [۷]. نمونه مورد استفاده برای انجام این تحقیق، دارای ابعاد ۱۵۰- میکرون (موجود در نمونه اولیه و حاصل از مراحل قبلی خردایش) بود.

آزمایشهای فلوتاسیون کانیهای منگنز به دو روش مستقیم و معکوس وبا استفاده از سلول آزمایشگاهی دنور و داروهای شیمیایی مختلف انجام شد. آزمایشهای معکوس با کلکتور کاتیونی آرماک-تی در PH حدود ۸ همراه با متفرق کننده سیلیکات سدیم و کف سازهای اثر و فروت-۷۷ و اثر و فروت ۶۷- در دو حالت با بازدارنده کبراکو و بدون آن انجام شدند. آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم نیز با استفاده از کلکتورهای R-۸۴۵، اسیدهای چرب (Emery 305)، اسید اولئیک و (Emery 3531) و اولئات سدیم در غلظتهای مختلف کلکتور و شرایط محیطی مختلف از نظر PH و دما و کف سازهای مذکور در دو حالت با استفاده از متفرق کننده سیلیکات سدیم و بدون استفاده از آن انجام شدند.

Minerals," in P. Somasundaran (ed): Advanced Mineral Processing, SME, Littleton, pp. 289-307, 1986.

6. Mining Chemical Handbook, Revised Edition, Mineral Dressing Notes No. 26, American Cyanamid Company, 1986.

۷. اولیازاده، م. نوع پرست، م. و دهقان سیمکانی، ر. "کاربرد روشهای تقلبی و مغناطیسی در پرعیار سازی کانسنگهای کم عیار منگنز،" مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۱۳، شماره ۱۴، صفحه ۹-۲۱، ۱۳۸۱.