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: ۸۱/٤/۲۲)

چکیده – کاربرد روشهای ثقلی در پر عیار سازی 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 کانسه کم عیار ونارج اختصاص یافته است. نتایج آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم و معکوس و با استفاده از داروهای شیمیایی مختلف نشان داد، کـه پـر عیار سازی ذرات نرمه کانسنگهای منگنز به روش فلوتاسیون، در شرایط متداول از نظر غلظت کلکتور و دمای محیط امکانپذیر نیست و ایـن امـر غیر اقتصادی بودن این روش را محتمل می‌سازد.
در این تحقیق با انجام ترکیب روشهای فلوتاسیون مستقیم و جدایش مغناطیسی مواد ریزتـر از ۱۵۰ میکـرون بـا کیفیـت ٪Mn= ۸/۳۶، ٪۳۴/۱۱ SiO_2= و ٪۲۳/۰۵ Fe_2O_3 ، محصولی با ۲۶/۷۸ درصد منگنز، ۱۱/۶۴ درصد سیلیس و ۲۰/۳۷ درصد اکسید آهن و بازیابی حدود ۵۶ درصد بدسـت آمد. نرمه‌گیری نمونه متوسط در ابعاد ۱۰ الی ۱۵ میکرون قبل از انجام آزمایشها بهبود راندمان عملیات و افزایـش کیفیـت محصـول را بـه دنبـال داشت.

واژگان کلیدی: کانه آرایی، 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.***

---

*- دانشیار **- استادیار *** -کارشناسی ارشد

۱- مقدمه

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 کاملا صادق است. مصرف کلکتور در فلوتاسیون اکسیدهای منگنز بالا بوده و در مواردی تا حدود (۲ تا ۵ کیلوگرم بر تن) می‌رسد و معمولا 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، پیرولوزیت، 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 پیرولوزیت 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 ۱/٤ کیلوگرم بر تن) دکسترین 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 پیرولوزیت، 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[٤] نیز از فلوتاسیون امولسیونی یا اگلومراسیونی برای پرعیار سازی کانه‌ای با باطلهٔ سیلیس، کلسیت، ژیپس، باریت و رس بنتونیتی 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 [٤].

شناورسازی رودوکروزیت (کربنات منگنز) معمولا به آسانی انجام می‌شود و اغلب فلوتاسیون به عنوان روش پرعیار سازی این کانی معرفی می‌شود. در کارخانه فلوتاسیون کربنات منگنز در آناکوندا[٥]، هزینه فلوتاسیون رودوکروزیت معادل هزینه فلوتاسیون سرب و روی در ظرفیتهای برابر برآورد شده است [٤]. 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 پیرولوزیت در حضور اولئات سدیم نشان داده است، که این کانی در دو pH معادل ٤ 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-۷٦۵ و اسیدهای چرب نیز (از طرف شرکت سیانامید[٦]) برای شناور سازی اکسیدهای منگنز معرفی شده‌اند [٦]. برای فلوتاسیون اکسیدهای منگنز در کوبا نیز امولسیونی مرکب از اسیدهای چرب، پترولیوم اویل 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

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

محدودهٔ ابعادی میکرون	عیار (٪)		
	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
-۱۵۰+۷۵	۱۱/۱۲	۳۲/٦٦	۲۰/٦٦
-۷۵+۳۸	۹/۳۳	۳٤/۱٤	۱۹/۵٤
-۳۸	۷/۱۹	۳٤/٦	۲٤/۸

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 محدودهٔ مختلف ابعادی، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایشهای پرعیار سازی آماده شد.

نمونهٔ متوسط مورد استفاده برای انجام مطالعات پرعیار سازی کانه کم عیار معدن ونارج قم، دارای ترکیب شیمیایی (Mn= ۱۵/۱۸٪ ، SiO_2= ۳۱/۵۲٪ ، Fe_2O_3= ۱۸/٤٤٪ ، Al_2O_3= ۷/۳۵٪ ، P=۰/۰٤٪ ، S=۰/۳۳٪ ، CaO=۹/۵٤٪) 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 کنندهٔ سیلیکات سدیم و کف سازهای اثرو فروت-۷۷ و اثرو فروت ٦۷- در دو حالت با بازدارنده کبراکو و بدون آن انجام شدند. آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم نیز با استفاده از کلکتورهای R-۸٤۵ ، 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 کنندهٔ سیلیکات سدیم و بدون استفاده از آن انجام شدند.

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. محدودهٔ 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=۸/۳٦٪ ،SiO_2=۳٤/۱۱٪ و Fe_2O_3=۲۳/۰۵٪ است. مطالعات تعیین درجه آزادی نمونه متوسط کانه کم عیار، درجه آزادی کانیهای منگنز را در محدودهٔ ۱۵۰+۱۸۰- میکرون حدود ۸۰ درصد نشان داده است. بنابراین به نظر میرسد که ذرات منگنز در این محدودهٔ ابعادی آزادند. نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نیز بر تشکیل کانه کم عیار از کانیهای براونیت (کانی عمده منگنز) همراه با باطله‌های

جدول ۳ - نتایج آزمایش فلوتاسیون معکوس بدون استفاده از بازدارنده

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			توزیع (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
محصول شناور	۲۱/۷٦	٦/٥٥	۳۳/۳۷	۲۳/۹٦	۱٤/٤٥	۲۲/۳۹	۲٤/۲٤
محصول غوطه‌ور	۷۸/۲٤	۱۰/۷٦	۳۲/۱٦	۲۰/۸۳	۸٥/٥٥	۷۷/٦۱	۷٥/۷٦
جمع - متوسط	۱۰۰	۹/۸٤	۳۲/٤۲	۲۱/٥۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ٤- نتایج آزمایش فلوتاسیون معکوس با استفاده از بازدارنده کبراکو

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			توزیع (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
شناور اول	٦/۹۷	٦/۹٥	۳۲/۰۸	۲۳/۰٥	٥/٥۷	٦/۷۱	۷/٤۷
شناور دوم	۹/٤۲	٦/۹۳	۳۳/۹	۲٤/۱۹	۷/٤۳	۹/٥۹	۱۰/٥۹
غوطه‌ور	٦٥/٦٦	۹/۰۰	۳۲/۰۸	۲۰/٥٥	٦۸	٦۳/۲۹	٦۲/۷٥
نرمهٔ جدا شده	۱۷/۹٥	۹/٥٤	۳۷/۸٦	۲۲/۹٦	۱۹	۲۰/٤۲	۱۹/۱٦
جمع - متوسط	۱۰۰	۸/٦۹	۳۳/۲۸	۲۱/٥۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ٥ - نتایج آزمایش فلوتاسیون مستقیم با کلکتور اسید چرب (Emery 305)

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			توزیع (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
محصول شناور (pH=۸/٥)	۲	۸/٤۸	۲۸/٥۷	۱٥/۰٥	۱/۸۷	۱/٦۸	۱/۳۳
محصول شناور (pH=٥)	۲/۹٦	۷/٦٥	۲۷/۱۷	۱۳/۸۹	۲/٥٤	۳/۳٦	۱/۸۱
محصول غوطه‌ور	۳۰/۹۷	۱۳	۳۳/۷٤	۱۹/۳٦	٤٤/٥۸	۳۰/۷٤	۲٦/٥
نرمه ۳۸- میکرون	٦٤/۰۷	۷/۱۹	۳٤/٦	۲٤/۸	٥۱/۰۱	٦٥/۲۱	۷۰/۳٦
جمع - متوسط	۱۰۰	۹/۰۳	۳۳/۹۹	۲۲/٥۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

کوارتز، کلسیت، فلدسپاتها و هماتیت دلالت دارد. ترکیب شیمیایی فراکسیونهای موجود در محدوده ۱٥۰- میکرون در جدول ۲ ارائه شده است.

٤- آزمایشهای فلوتاسیون

آزمایش فلوتاسیون معکوس بدون بازدارنده، با کلکتور آرماک- تی برای شناور سازی کوارتز در PH حدود ۸ به میزان ۲۰۰۰ گرم بر تن انجام شد. آماده سازی پالپ در شرایط ٥۰٪ 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 نرمه‌ها و کف ساز اثرو-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 اثرو-٦۷

جدول ٦- نتایج فلوتاسیون مستقیم با کلکتور اولئات سدیم

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			توزیع (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
محصول شناور اول	٢٦/٥٧	٦/٦٦	٢٨/١٣	١٩/٦١	١٩/٠٦	٢٢/١٨	٢٥/٧٨
محصول شناور (pH=٨/٥)	٤/٥	٨/٥٨	٢٩/٣٦	١٦/٠٢	٤/١٦	٣/٩٢	٣/٥٦
محصول شناور (pH=٥)	٩/٢٨	١٠/٠٨	٣٦/٩٩	٢١/٠٩	١٠/٠٨	١٠/٨١	٩/٦٨
محصول غوطه‌ور	٣٩/٨٢	١١/٧٣	٣٦/٧٩	٢٠/٩١	٥٠/٣٣	٤٣/٤٨	٤١/١٩
نرمه	١٩/٨٣	٧/٦٧	٣٤/٣٦	٢٠/١٨	١٦/٣٨	٢٠/٢٢	١٩/٨
جمع - متوسط	١٠٠	٩/٢٨	٣٣/٦٩	٢٠/٣١	١٠٠	١٠٠	١٠٠

در دو مرحله و در pH خنثی نیز در جدول ٤ مشاهده می‌شود. در این آزمایش نیز از ٢٠٠٠ 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 ٤٠٠٠ 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 ٣ 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 ٢٠٠٠ گرم بر تن و در دو محدودهٔ pH بازی و اسیدی بر روی ذرات ٣٨+١٥٠- میکرون در جدول ٥ ارائه شده است.

به منظور کاهش pH محیط، از اسید سولفوریک استفاده شد و سیلیکات سدیم اثرو-٧٧ به عنوان متفرق کنندهٔ و کف ساز در این آزمایش استفاده شدند. توزیع منگنز در فراکسیون ٣٨- 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 ٨، 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 موجود در محدوده ١٥٠- میکرون توسط ظرف نرمه گیر، از ١٠٠٠ گرم بر تن اولئات سدیم همراه با کف ساز اثرو-٧٧ برای شناورسازی کانیهای منگنز در pH =٨/٥ و در pH=٥ استفاده شد. کاهش pH به کمک اسید سولفوریک انجام گرفت و متفرق کنندهٔ سیلیکات سیدیم نیز در این آزمایشها مورد استفادهٔ قرار گرفت . نتایج حاصل از این آزمایشها در جدول ٦ 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 ٤٠٠٠ گرم بر تن به عنوان کلکتور و اثرو-٧٧ به عنوان کف ساز انجام شد. خوراک این آزمایش ذرات با ابعاد ٣٨+١٥٠- میکرون و ترکیب شیمیایی Mn=١٠/٣٢٪ ، SiO_2=٣٤/٣٢٪ و Fe_2O_3=٢٠/١٦٪ و به میزان ٢١٠ گرم بوده است. پس از آماده سازی پالپ در درصد وزنی جامد ٥٠ و در pH خنثی، عملیات

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

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			توزیع (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
ته‌ریز هیدروسیکلون	۷۲/۳۶	۹/۳٤	۳٤/٦۲	۲۱/۹٤	۸۰/۸۳	۷۳/٤۷	٦۸/۹
سرریز هیدروسیکلون	۲۷/٦٤	۵/۸	۳۲/۷۵	۲۵/۹٤	۱۹/۱۷	۲٦/۵۳	۳۱/۱
جمع - متوسط	۱۰۰	۸/۳٦	۳٤/۱۱	۲۳/۰۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۸- نتایج آزمایش مغناطیسی تر بر ته ریز هیدروسیکلون

نوع محصول	درصد وزنی	عیار (٪)			عیار (٪)		
		Mn	SiO_2	Fe_2O_3	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
کنسانترهٔ مغناطیسی	۵۱/۲۳	۱۷/۱۵	۲۷/٤۸	۲۳/۱۱	۹٤/۱	٤۰/٦٦	۵۳/۹٦
باطلهٔ غیرمغناطیسی	٤۸/۷۷	۱/۱۳	٤۲/۱۲	۲۰/۷۱	۵/۹	۵۹/۳٤	٤٦/۰٤
جمع - متوسط	۱۰۰	۹/۳٤	۳٤/٦۲	۲۱/۹٤	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

شناور سازی در دمای ٤۰ 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 مجددا با استفاده از ۵۰۰ گرم بر تن کلکتور R-۸٤۵ و در دمای ٤۰ درجه سانتیگراد انجام شد. وزن محصول شناور این مرحله ٦۵ گرم و دارای ترکیب شیمیایی ٪Mn=۱۹/۸۲ ،٪SiO_2=۱۵/۷٦ و ٪Fe_2O_3=۹/۹۹ بوده است. لذا تحت این شرایط محصولی با عیار منگنز ٪۱۹/۸۲ و بازیابی ۵۹/٤٤ درصد به دست آمد. آزمایش مغناطیسی تر بر روی این محصول انجام شد و محصولی با ترکیب ٪Mn=۲٦/۷۸ ، ٪SiO_2=۱۱/٦٤ و ٪Fe_2O_3=۲۰/۳۷ و بازیابی ۹۵/۰۸ درصد به دست آمد و بدین ترتیب بازیابی کل این فرایندها ٪۵٦/۵۲ محاسبه شد.

به منظور بررسی تاثیر نرمه گیری، مواد موجود در محدودهٔ 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 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 ۹٤/۱ 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 ٤۰ درجه سانتیگراد انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۹ آمده است. تاثیر نرمه‌گیری 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 می‌شود.

۵- نتیجه گیری

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

۱- نرمه‌گیری مواد موجود در این محدودهٔ ابعادی قبل از

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

محدودهٔ ابعادی میکرون	عیار (٪)		
	Mn	SiO_2	Fe_2O_3
-۱۵۰+۷۵	۱۱/۱۲	۳۲/٦٦	۲۰/٦٦
-۷۵+۳۸	۹/۳۳	۳٤/۱٤	۱۹/۵٤
-۳۸	۷/۱۹	۳٤/٦	۲٤/۸

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 محدودهٔ مختلف ابعادی، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایشهای پرعیار سازی آماده شد.

نمونهٔ متوسط مورد استفاده برای انجام مطالعات پرعیار سازی کانه کم عیار معدن ونارج قم، دارای ترکیب شیمیایی (Mn= ۱۵/۱۸٪ ، SiO_2= ۳۱/۵۲٪ ، Fe_2O_3= ۱۸/٤٤٪ ، Al_2O_3= ۷/۳۵٪ ، P=۰/۰٤٪ ، S=۰/۳۳٪ ، CaO=۹/۵٤٪) 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 کنندهٔ سیلیکات سدیم و کف سازهای اثرو فروت-۷۷ و اثرو فروت ٦۷- در دو حالت با بازدارنده کبراکو و بدون آن انجام شدند. آزمایشهای فلوتاسیون مستقیم نیز با استفاده از کلکتورهای R-۸٤۵ ، 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 کنندهٔ سیلیکات سدیم و بدون استفاده از آن انجام شدند.

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. محدودهٔ 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=۸/۳٦٪ ،SiO_2=۳٤/۱۱٪ و Fe_2O_3=۲۳/۰۵٪ است. مطالعات تعیین درجه آزادی نمونه متوسط کانه کم عیار، درجه آزادی کانیهای منگنز را در محدودهٔ ۱۵۰+۱۸۰- میکرون حدود ۸۰ درصد نشان داده است. بنابراین به نظر میرسد که ذرات منگنز در این محدودهٔ ابعادی آزادند. نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نیز بر تشکیل کانه کم عیار از کانیهای براونیت (کانی عمده منگنز) همراه با باطله‌های

۷. اولیازاده، م. نوع پرست، م. و دهقان سیمکانی، ر. "کاربرد روشهای ثقلی و مغناطیسی در پرعیارسازی کانسنگهای کم‌عیار منگنز،" مجله بین‌المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران، جلد ۱۳، شماره ۱٤، صفحه ۹-۲۱، ۱۳۸۱.

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.