همایش ملی
محاسبات نرم علوم مهندسی
در صنعت و جامعه

1st National Conference on Soft Computing of Engineering Science in Industry and Society (ASEIS 2022)

بررسی آماری کاهش آهن از سیلیس بروش های مغناطیسی و اسید شویی

محمد باقر فتحی[1]، فرشاد نژاد شاه محمد[2]

[1]* استادیار فرآوری مواد معدنی، مهندسی معدن، دانشگاه ارومیه، ایران mb.fathi@urmia.ac.ir
[2] استادیار گروه مهندسی معدن،دانشگاه ارومیه، ایران.f.shahmohammadi@urmia.ac.ir

چکیده

هدف از این تحقیق بررسی امکان حذف و یا کاهش ناخالصی اکسید آهن از سیلیس توته خانه مراغه واقع در آذربایجان شرقی برای استفاده در صنایع شیشه و سرامیک بود. ذخیره قطعی این معدن حدود ۲۲ میلیون تن برآورد شده است.برای حذف اکسید آهن از روش های مغناطیسی و اسید شویی استفاده شد. عوامل موثر در حذف اکسید آهن در روش مغناطیسی ابعاد ذرات و شدت میدان مغناطیسی و در روش اسید شویی ابعاد ذرات، غلظت اسید، درصد وزنی جامد و زمان اسید شویی انتخاب شدند. جهت انجام آزمایش ها در روش اسید شویی از روش تاکوچی و در روش مغناطیسی از روش عاملی فول فاکتوریل استفاده شد. نتایج آزمایشهای اسید شویی و مغناطیسی به ترتیب توسط نرم افزارهای*Minitab-14*و*Qualitek-14* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بیشترین کاهش اکسید آهن در سیلیس در ابعاد ۱۵۰ میکرون و شدت میدان ۱۵۰۰۰ گوس اتفاق افتاد. کمترین مقدار اکسید آهن باقی مانده در محصول، در فرآوری سیلیس بروش مغناطیسی، حدود ۰/۱۵ درصد می باشد. بیشترین حذف اکسید آهن یا بعبارتی کمترین اکسیدآهن باقی مانده در محصول، در فرآوری سیلیس بروش اسید شویی در زمان، ابعاد ذرات، غلظت اسید مصرفی و درصد جامد پالپ به ترتیب ۴۰دقیقه،۱۵۰ میکرون و ۲۵ گرم بر لیتر و ۲۰ درصد صورت گرفت و در نتیجه مقدار اکسید آهن باقی مانده در محصول به حدود ۰/۰۷۵ درصد رسید. کاهش مقدار اکسید آهن به ارزش سیلیس فرآوری شده می افزاید.

واژه های کلیدی

سیلیس، اکسید آهن، اسید شویی، جدایش مغناطیسی، آزمونF

مقدمه

واژۀ سیلیس نامی است همگانی برای کانیهایی که ترکیب شیمیایی اکسید سیلیسم Sio_2 دارند. زیر پوشش این ترکیب شیمیایی کانیهای گوناگون از قبیل کوارتزیت، اوپال و غیره با ویژگیهای فیزیکی و تا حدودی شیمیایی گوناگون جای دارند[۱]. این کانیها در شرایط مختلف زمین‌شناسی، آذرین، رسوبی و دگرگونی به وجود می‌آیند و در طبیعت به صورت متبلور و یا غیر متبلور، آبدار یا بدون آب یافت می شوند. اکسید سیلیسم (Sio_2) یا سیلیس ترکیبی شیمیائی است که به صورت خالص در قالب کانیهای کوارتز، اپال و سایر کانی ها و یا به صورت ترکیب در کانیهای سیلیکاته حدوداً ۶۰٪ پوستۀ جامد زمین را تشکیل می‌دهد. سیلیس کاربردهای فرآوانی از جمله در صنایع شیشه سازی برای ساختن انواع مختلف شیشه، ریخته گری، فروسیلیس، سیلیکات سدیم، لعاب سازی، آجرهای ماسه آهکی، پشم شیشه، دیرگدازها، الکترونیک و غیره کاربرد دارد[۳،۲]. دانه بندی و خلوص سیلیس مصرفی مهمترین عامل در خوراک هر یک از کارخانجات مصرفی سیلیس می باشد. مهمترین ناخالصی موجود در ذخایر سیلیس اکسید آهن(Fe_2O_3) و کانی های رسی می باشد. سایر ناخالصی ها نیز از جملهاکسیدهای منیزیم، تیتانیوم، کلسیم، پتاسیم و سدیم در اکثر ذخائر سیلیس گزارش می شود اما با توجه به نوع مصرف این ناخالصیها غالباً از اهمیت کمتری برخوردارند. اکسید های آهن، وانادیم، کروم و تیتانیوم حتی به مقدار خیلی کم در صنایع شیشه سازی مضر بوده و باعث تغییر رنگ در شیشه های تولیدی می شوند[۵،۴]. اکسید آهن در شیشه‌سازی سبب ایجاد رنگ سبز در شیشه تولیدی شده و در تولید آجرهای دیرگداز و ماسۀ ریخته‌گری سبب پایین آمدن نقطۀ زینتر می‌گردد[۶]. درصد اکسیدآهن در غالب کانسارهائی که منشاء آذرین داشته و یا از نوع ثانویۀ دگرگونی می‌باشند کم بوده و از این نظر سیلیس چنین معادنی قابل مصرف در صنایع مختلف می‌باشد. حداکثر اکسید آهن و اکسیدآلومینیوم در سیلیس مصرفی برای صنایع شیشه سازی به ترتیب ۰/۱-۰/۰۱ درصد و ۲-۰/۱ درصد می باشد[۳].

نمونه مورد مطالعه از معدن سیلیس توته خانه مراغه واقع در استان آذربایجان شرقی تهیه شد. ذخیره قطعی این معدن در حدود ۲۲ میلیون تن می باشد[۷]. عموما روش های فیزیکی و شیمیایی مانند روش های مغناطیسی، سایش، التراسوند فلوتاسیون و انحلال اسیدی و قلیایی برای حذف اکسید آهن از سیلیس بکار گرفته می شود[۸]. روش های فرآوری مناسب برای حذف اکسید آهن از سیلیس بستگی به نوع کانی آهن و توزیع آهن در سیلیس دارد. در روش فلوتاسیون به علت مقدار کم ناخالصی آهن معمولا روش معکوس استفاده می شود. نقطه بار صفر کوارتز و اکسیدهای آهن به ترتیب ۲/۵-۱/۵ و۴ می باشد لذا درpHحدود ۴-۳ بار سطحی کوارتز منفی و بار سطحی اکسیدهای

آهن مثبت است و با استفاده از یک کلکتور آنیونیک اکسیدهای آهن شناور می شوند. در کارخانه فلوتاسیون معدن کامیس ترکیه برای شناور کردن آهن از ترکیب کلکتورهای آئرو ۸۲۵ و ۸۰۱ استفاده می شود[۶]. از روش التراسوند برای حذف ذرات ریز با ترکیب رسی و آهندار واقع در سطح و در ترک های ریز موجود در سطح ذرات سیلیس، می توان استفاده کرد[۹].

مواد و روش تحقیق

تهیه و آماده سازی نمونه

حدود ۱۵۰ کیلوگرم نمونه از معدن سیلیس توته خانه مراغه تهیه گردید. نمونه های درشت با پتک خرد شدند سپس کل نمونه در دو مرحله توسط سنگ شکن فکی به کمتر از ۵ میلیمتر خرد شد. نصف نمونه خرد شده توسط دستگاه تقسیم کننده ریفل جدا شد. نمونه برداشته شده از محصول سنگ شکنی فکی جهت خردایش بیشتر در سنگ شکن غلطکی تا ابعاد کمتر از ۳ میلیمتر خرد شد. در مرحله بعد، از محصول سنگ شکن غلطکی حدود ۳۵ کیلوگرم نمونه توسط ریفل جدا شد. از نمونه مذکور دو نمونه جداگانه برای آنالیز شیمیایی و کانی شناسی برداشته شد. بقیه نمونه توسط دستگاه لرزاننده سرندی، با سرندهای سری استاندارد آمریکاییASTM با ابعادهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ مش مورد آنالیز ابعادی قرار گرفت.

آنالیز شیمیایی و کانی شناسی نمونه

آنالیز شیمیایی توسط دستگاه XRF انجام گرفت که نتایج آن در جدول(۱) آورده شده است.

مطالعات کانی شناسی توسط دستگاه XRD و میکروسکوپ نوری انجام گرفت. نتایج نشان داد که کانی عمده کوارتز بوده و نمونه حاوی مقادیری کانی های رسی نیز بوده که عمدتا کائولنیت می باشد. مطالعات کانی شناسی توسط میکروسکوپ نوری نشان داد که اساس کانی های تشکیل دهنده سنگ از کوارتز که در ابعاد ریز تا متوسط و با فشردگی خوبی قرار دارند تشکیل یافته است. بلورهای تجدید تبلور یافته کوارتز نیز به مقدار زیاد در بین سطوح دانه های کوارتز قابل مشاهده است. گاهی در حوالی بلورهای رشد یافته کوارتز نوار باریکی از اکسیدهای آهن به چشم می خورد. کانی های اپاک به مقدار خیلی کم مانند زیرکن در نمونه دیده شده است.

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه سیلیس

ترکیبات	درصد
SiO_2	۹۴/۲
Al_2O_3	۴/۸۸
Fe_2O_3	۰/۳۷۶
K_2O	۰/۱۲۹
Na_2O	۰/۰۴۳
CaO	۰/۰۴۹

با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی مشخص شد که مقدار اکسید آلومینیوم در نمونه بالاست که این نشان دهنده حضور رس و سایر کانی های سیلیکاته آلومینیم دار در نمونه سیلیس می باشد، مطالعات کانی شناسی نیز این امر را تایید می کند. لذا برای حذف رس و در نهایت برای بالا بردن عیار سیلیس نمونه، ابعادی که مورد آزمایش قرار گرفتند با آب شستشو داده شد. با توجه به اینکه آزمایش های اسید شویی و مغناطیسی در ابعاد ۰/۱۵ ، ۰/۲۵ و ۰/۵۵ میلیمتر انجام گرفت لذا مواد موجود در این ابعاد بطور کامل در آب شسته شد. آنالیز شیمیایی نمونه برای ابعاد فوق بعد از شستشوی کامل در آب بصورت جدول(۲) می باشد.

جدول۲- نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های سیلیس شسته شده با آب برای ابعاد ۰/۱۵ ، ۰/۲۵ و ۰/۵۵ میلیمتر

		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO
ابعاد (میلیمتر)	۰/۱۵	۹۶/۴	۲/۷۸	۰/۳۸۱	۰/۱۱۳	۰/۰۲۵	۰/۰۶
	۰/۲۵	۹۷/۸	۱/۹۸	۰/۳۹۳	۰/۰۶۷	۰/۰۲۲	۰/۰۴۱
	۰/۵۵	۹۶	۳/۲۲	۰/۳۹۵	۰/۱۱	۰/۰۱۸	۰/۰۴۷

آزمایش ها

هدف اصلی از فرآوری سیلیس در اینجا حذف اکسید آهن از نمونه سیلیس می باشد، زیرا مهمترین ناخالصی سیلیس مورد استفاده برای صنایع شیشه اکسیدآهن می باشد. لذا در این تحقیق سعی شده است تا حد امکان اکسید آهن نمونه کاهش داده شود. روش های متداول برای کاهش اکسید آهن سیلیس اسید شویی، مغناطیسی و فلوتاسیون می باشد. در این تحقیق فقط دو روش اول بررسی شده اند.

جدایش مغناطیسی

جهت حذف اکسید های آهن از یک دستگاه جداکننده مغناطیسی خشک استفاده شد. برای انجام آزمایش ها از روش عاملی فول فاکتوریل و از نرم افزار Minitab-14برای تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شد. پارامتر های موثر در حذف اکسید آهن بروش مغناطیسی ابعاد ذرات و شدت میدان مغناطیسی انتخاب شدند. تعداد سطوح هر پارامتر ۳ سطح انتخاب شد. بنابراین با توجه به اینکه آزمایشها بروش فول فاکتوریل با دو پارامتر در ۳ سطح انجام شد لذا تعداد آزمایش ها ۹ عدد بود. با توجه به اینکه هر آزمایش ۲ بار تکرار شد، بنابراین در کل ۱۸ آزمایش انجام گرفت. ابعاد ذرات ۰/۱۵، ۰/۲۵ و ۰/۵۵ میلیمتر و شدت میدان مغناطیسی ۸۰۰۰، ۱۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰ گوس انتخاب شدند. برای قابل اعتماد بودن نتایج آزمایش ها ترتیب انجام آزمایشها کاملا تصادفی بود. نحوه انجام آزمایش ها به اینصورت بود که در هر آزمایش مقداری از ماده با ابعاد مشخص برداشته و در شدت میدان خاصی عمل جدایش انجام و سپس محصول های غیر مغناطیسی بعنوان کنسانتره مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت.

روش اسید شویی

آزمایش های اسید شویی توسط دستگاه همزن با دور متغییر انجام گرفت. اسید مورد استفاده اسید سولفوریک صنعتی با درجه خلوص ۹۸ درصد بود. برای انجام آزمایش اسید شویی از روش تاکوچی و از نرم افزار $Qualitek-4$ برای تجزیه تحلیل نتایج استفاده شد. برای این منظور پارامترهای موثر در اسید شویی اندازه ذرات، زمان اسید شویی، درصد وزنی جامد و غلظت اسید مصرفی در نظر گرفته شدند. تعداد سطوح هر پارامتر ۳ سطح انتخاب شد. بنابراین با مراجعه به آرایه های متعامد استاندارد تاگوچی طرح L_9 تاگوچی انتخاب شد. با توجه به طرح L_9 تاکوچی برای ۴ عامل با سه سطح ۹ آزمایش باید انجام بگیرد و با توجه به اینکه هر آزمایش دو بار تکرار می شود بنابراین در کل ۱۸ آزمایش انجام شد. پارامترها و سطوح آنها در جدول(۳) نشان داده شده است.

جدول۳- پارامترها و سطوح انتخاب شده جهت انجام آزمایش ها

ابعاد ذرات(میلیمتر)	زمان(دقیقه)	غلظت اسید(گرم بر لیتر)	درصد وزنی جامد
۰/۱۵	۲۰	۸	۲۰
۰/۲۵	۴۰	۱۵	۳۵
۰/۵۵	۶۰	۲۵	۵۰

برای قابل اعتماد بودن نتایج آزمایش ها ترتیب انجام آزمایشها کاملا تصادفی بود. نحوه انجام آزمایش ها به اینصورت بود که در هر آزمایش با توجه به درصد وزنی جامد به مقدار لازم ماده معدنی در ظرف دستگاه همزن ریخته شد و سپس به مقدار لازم اسید سولفوریک با غلظت در نظر گرفته شده به داخل ظرف اضافه شد. سپس دستگاه همزن به مدت زمان مشخصی کار کرد و بعد از آن پالپ داخل ظرف همزن به داخل فیلتر فشاری ریخته شد و در نهایت بعد از عمل فیلتراسیون کیک ایجاد شده توسط دستگاه خشک کن خشک شد و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت.

نتایج آزمایش ها

نتایج آزمایش های مغناطیسی

با توجه به اینکه آزمایش بروش فول فاکتوریل انجام گرفته است، لذا برای آنالیز نتایج از نرم افزار $Minitab-14$ استفاده شد. در آزمایش های انجام گرفته میزان اکسید آهن بعد از انجام آزمایش در ابعاد و شدت های میدان مغناطیسی مختلف اندازه گیری شد تا در نهایت بهترین ابعاد و شدت میدان جهت حذف اکسید آهن تعیین شود. با توجه به تعداد عوامل و همچنین تعداد سطوح آنها، نتایج آنالیز واریانس برای نتایج آزمایش ها بصورت جدول(۴) می باشد.

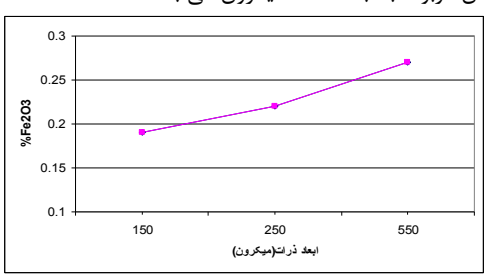
جدول۴- آنالیز واریانس نتایج حاصل از آزمایش ها به کمک نرم افزار *Minitab-14*

عامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F_0
ابعاد(A)	۲	۰/۰۱۷۵۳۰۱	۰/۰۰۸۷۶۵۱	۶۹/۱۷
شدت میدان(B)	۲	۰/۰۰۲۸۹۰۸	۰/۰۰۱۴۴۵۴	۱۱/۴۱
اثر متقابل ابعاد و شدت میدان	۴	۰/۰۰۰۲۱۱۶	۰/۰۰۰۰۵۲۹	۰/۴۲
خطا	۹	۰/۰۰۱۱۴۰۵	۰/۰۰۰۱۲۶۷	-
کل	۱۷	۰/۰۲۱۷۷۲۹	-	-

نرم افزار از آزمون آماری F برای بررسی موثر بودن تک تک پارامترها بر روی میزان حذف اکسید آهن از سیلیس استفاده می کند. برای این منظور F_0 محاسبه شده توسط نرم افزار برای هر یک از پارامترها با درجه آزادی خطا، درجه آزادی پارامتر. F_α محاسبه شده توسط جداول موجود در کتاب های طراحی آزمایش ها برای هر پارامتر با هم مقایسه می شود. اگر F بدست آمده از جداول کوچکتر از F_0 محاسبه شده در جدول آنالیز واریانس باشد، آن عامل، عامل موثر است. مقادیر بدست آمده از جداول برای ابعاد ذرات، شدت میدان مغناطیسی به ترتیب ۴/۲۶، ۴/۲۶ می باشد[۹]. مقایسه این اعداد برای همان عوامل از جدول آنالیز واریانس مشخص می شود. همه این عوامل تاثیر زیادی در حذف اکسید آهن از سیلیس دارند. همچنین مقایسه F بدست آمده از جداول(۳/۶۳) با F_0 بدست آمده از جدول آنالیز واریانس برای تاثیر متقابل بین ذرات و شدت میدان مغناطیسی نشان می دهد که تاثیر متقابل بین این دو پارامتر زیاد مهم نیست. در ضمن مشخص می شود که تاثیر ابعاد برای حذف اکسید آهن موثرتر از شدت میدان می باشد. توجه به این نکته ضروری است که α برابر ۰/۰۵ انتخاب شد تا نتایج با اطمینان ۹۵ درصد درست باشد.

تاثیر ابعاد ذرات در حذف اکسید آهن از سیلیس

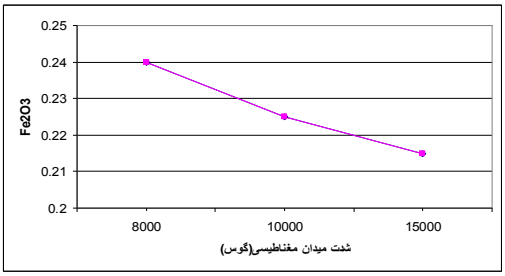
در شکل(۱) تاثیرابعاد ذرات بر میزان حذف اکسید آهن نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با ابعاد ذرات رابطه معکوس دارد. به این ترتیب که هرچه ابعاد ذرات بزرگتر شده میزان کاهش اکسید آهن کمتر شده است. همانطوری که از نمودار پیداست ابتدا با کاهش ابعاد ذرات میزان حذف اکسید آهن سریع کاهش یافته است و سپس با کاهش بیشتر ابعاد ذرات میزان کاهش اکسید آهن شیب ملایمی دارد. بطوری که از نمودار مشخص است از بین سه ابعاد ذرات۱۵۰ ، ۲۵۰ و ۵۵۰ میکرون بیشترین کاهش اکسید آهن مربوط به ابعاد ۱۵۰ میکرون می باشد.



شکل۱- تاثیر ابعاد ذرات بر حذف اکسید آهن

تاثیر شدت میدان مغناطیسی بر حذف اکسید آهن از سیلیس

در شکل(۲) تاثیر شدت میدان مغناطیسی بر میزان حذف اکسید آهن نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با افزایش شدت میدان افزایش یافته است. با توجه به نمودار کمترین اکسید آهن یا بعبارتی دیگر بیشترین کاهش اکسید آهن در شدت میدان ۱۵۰۰۰ گوس اتفاق افتاده است. اما همانطور که نتایج آزمایش های مغناطیسی نشان می دهند، با روش مغناطیسی میزان کاهش اکسید آهن چندان قابل ملاحظه نیست و باید روش های دیگر حذف اکسید آهن نیز آزمایش شوند. بیشترین حذف اکسید آهن یا بعبارتی کمترین اکسیدآهن باقی مانده در محصول به روش مغناطیسی، در ابعاد ذرات و شدت میدان مغناطیسی به ترتیب ۱۵۰ میکرون و شدت میدان ۱۵۰۰۰ گوس اتفاق افتاد. آزمایش نهایی که با این پارامتر ها انجام گرفت مقدار اکسید آهن باقی مانده در محصول به حدود ۰/۱۵ درصد رسانده شد.



شکل۲- تغییرات شدت میدان مغناطیسی بر حذف اکسید آهن

نتایج آزمایش های اسید شویی

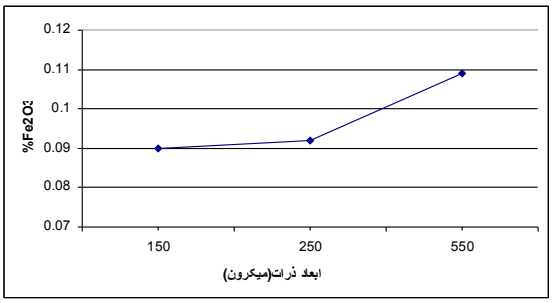
نتایج بدست آمده از آزمایش های اسید شویی توسط نرم افزار *Qualitek – 4* تجزیه تحلیل شد. بعد از انجام آزمایش و تحلیل نتایج عوامل موثر، عوامل بهینه انتخاب و تاثیر متقابل بین عوامل بررسی شد. با توجه به تعداد عوامل و همچنین تعداد سطوح آنها، نتایج آنالیز واریانس برای نتایج آزمایش ها بصورت جدول(۵) می باشد. با توجه به نتایج جدول آنالیز واریانس، عوامل ابعاد ذرات، زمان، غلظت اسید در میزان حذف اکسید آهن از سیلیس موثر بوده ولی درصد وزنی پالپ تاثیر چندانی در حذف اکسید آهن ندارد.

جدول۵- آنالیز واریانس نتایج حاصل از آزمایش ها بکمک نرم افزار *Qualitek – 4*

عامل	درجه آزادی	مجموع مربعات	واریانس	F_0	P(%)
ابعاد(A)	۲	۰/۰۰۱	۰	۱/۵۰۹	۲/۶۵۵
زمان(B)	۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۳/۶۴۸	۱۳/۷۹۵
غلظت اسید(C)	۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۹/۵۱۹	۴۴/۳۷۳
درصد وزنی جامد(D)	۲	۰	۰	۰/۰۲۱	۰
خطا	۹	۰/۰۰۳	۰	-	-
کل	۱۷	۰/۰۱۶	-	-	-

تاثیر ابعاد ذرات در حذف اکسید آهن از سیلیس

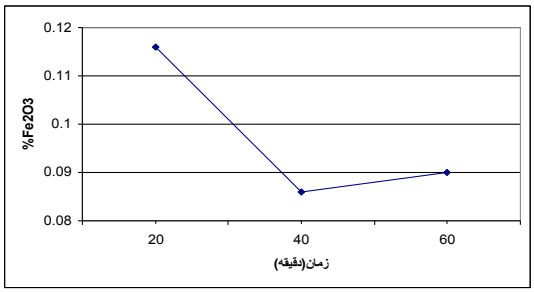
در شکل(۳) تاثیر ابعاد ذرات بر میزان حذف اکسید آهن نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با ابعاد ذرات رابطه معکوس دارد. به این ترتیب که هرچه ابعاد ذرات بزرگتر شده میزان کاهش اکسید آهن کمتر شده است. بطوری که از نمودار مشخص است از بین سه ابعاد ذرات۱۵۰ ، ۲۵۰ و ۵۵۰ میکرون بیشترین کاهش اکسید آهن مربوط به ابعاد ۱۵۰ میکرون می باشد.



شکل۳- تاثیر ابعاد ذرات بر حذف اکسید آهن

تاثیر زمان اسید شویی بر حذف اکسید آهن از سیلیس

تاثیر زمان اسید شویی بر میزان حذف اکسید آهن در شکل(۴) نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با افزایش زمان اسید شویی افزایش یافته است. ابتدا میزان کاهش اکسید آهن با زمان سریع بوده و با افزایش بیشتر زمان میزان کاهش آهن تقریبا به مقدار ثابتی می رسد. با توجه به نمودار کمترین اکسید آهن یا بعبارتی دیگر بیشترین کاهش اکسید آهن تقریبا در زمان ۴۰ دقیقه اتفاق می افتد و از آن زمان به بعد تقریبا آهن موجود در سیلس ثابت باقی مانده است.

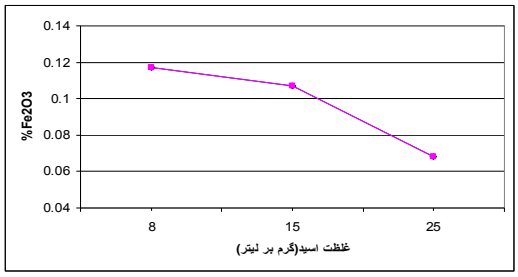


شکل۴- تاثیر زمان اسید شویی بر میزان حذف اکسید آهن

تاثیر غلظت اسید مصرفی بر حذف اکسید آهن از سیلیس

تاثیر غلظت اسید مصرفی بر میزان حذف اکسید آهن از سیلیس در شکل(۵) نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با افزایش غلظت اسید مصرفی افزایش یافته است. ابتدا میزان کاهش اکسید آهن با افزایش غلظت اسید مصرفی ملایم

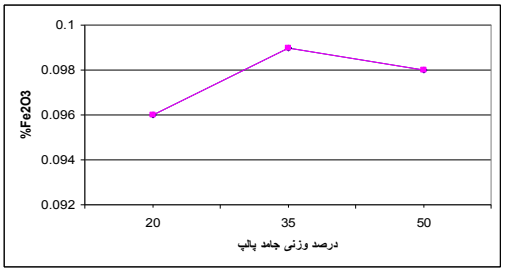
بوده ولی با افزایش بیشتر غلظت اسید مصرفی میزان حذف اکسید آهن نیز شدت بیشتری بخود می گیرد. با توجه به نمودار کمترین اکسید آهن یا بعبارتی دیگر بیشترین کاهش اکسید آهن در غلظت اسید ۲۵ گرم بر لیتر می باشد.



شکل۵- تاثیر غلظت اسید مصرفی بر میزان حذف اکسید آهن

تاثیر درصد وزنی جامد پالپ بر حذف اکسید آهن از سیلیس

در شکل(۶) تاثیر درصد وزنی پالپ بر میزان حذف اکسید آهن از سیلیس نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که میزان حذف اکسید آهن با افزایش و کاهش درصد وزنی پالپ تغییر چندانی پیدا نمی کند.



شکل۶- تاثیر درصد وزنی پالپ بر میزان حذف اکسید آهن

بیشترین حذف اکسید آهن یا بعبارتی کمترین اکسیدآهن باقی مانده در محصول، در زمان، ابعاد ذرات، غلظت اسید مصرفی و درصد وزنی جامد پالپ به ترتیب ۴۰دقیقه، ۱۵۰ میکرون، ۲۵ گرم بر لیتر و ۲۰ درصد اتفاق افتاد. آزمایش نهایی که با زمان، ابعاد ذرات، غلظت اسید مصرفی و درصد وزنی پالپ به ترتیب ۴۰دقیقه، ۱۵۰ میکرون، ۲۵ گرم بر لیتر و ۲۰ درصد انجام شد. مقدار اکسید آهن باقی مانده در محصول به حدود ۰/۰۷۵ درصد رسانده شد.

نتیجه گیری

- نتایج مطالعات کانی شناسی و همچنین آنالیز شیمیایی نشان داد که مهمترین ناخالصی همراه سیلیس مراغه اکسید آهن و رس می باشد.
- برای حذف اکسید آهن از سیلیس روش های مختلفی وجود دارد. در این تحقیق از روش مغناطیسی و اسید شویی استفاده شد. که با توجه به نتایج، روش اسیدشویی موثرتر از روش مغناطیسی می باشد.
- آزمایش های مغناطیسی با دو پارامتر ابعاد ذرات و شدت میدان مغناطیسی انجام گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش ابعاد ذرات و افزایش شدت میدان مغناطیسی میزان حذف اکسید آهن از سیلیس بیشتر می باشد. همچنین نتایج آزمایش ها نشان داد که پارامترهای ابعاد ذرات و شدت میدان مغناطیسی تاثیر متقابل چندانی روی همدیگر ندارند.
- کمترین درصد اکسید آهن باقی مانده در محصول، در فرآوری سیلیس بروش مغناطیسی، حدود ۰/۱۵درصد می باشد که در ابعاد ذرات ۱۵۰ میکرون و شدت میدان ۱۵۰۰۰ گوس اتفاق افتاد.
- آزمایش های اسید شویی با چهار پارامتر ابعاد ذرات، زمان، غلظت اسید مصرفی و درصد وزنی جامد پالپ صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش زمان، کاهش ابعاد ذرات و افزایش غلظت اسید مصرفی میزان حذف اکسید آهن افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهد که افزایش یا کاهش درصد وزنی جامد تاثیر چندانی بر میزان حذف اکسید آهن ندارد.
- بیشترین حذف اکسید آهن یا بعبارتی کمترین اکسیدآهن باقی مانده در محصول، در زمان، ابعاد ذرات و غلظت اسید مصرفی به ترتیب ۴۰دقیقه، ۱۵۰ میکرون و ۲۵ گرم بر لیتر اتفاق افتاد. در آزمایش نهایی که با این عوامل انجام شد مقدار اکسید آهن باقی مانده در محصول به حدود ۰/۰۶۵ درصد رسید.
- نتایج آزمایش های اسید شویی نشان می دهد که پارامترهای ابعاد ذرات، زمان، غلظت اسید مصرفی و درصد وزنی جامد دو به دو بر روی همدیگر تاثیر نیز متقابل دارند.

مراجع و منابع

[۱]- کریم پور، م.، ۱۳۸۱، کانی ها و سنگ های صنعتی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

[2]- Technical paper from www.mineralsuk.com.2019.

[3]- Teodoresou، E.،Sarachie، I.،Prida، T.، Ivan، I. & Popa، T.، 2020، "*Glass sand production by flotation and magnetic separation technology*",Innovation in mineral and coal processing،Atak،Onal&Celik(eds) Balkema، Rotterdam.

[4]-Technical paper from www.outotec.com.2020

[5]-H.L. Zhao، D.X. Wang، Y.X. Cai، F.C. Zhang، (2018)، "*Removal of iron from silica sand by surface cleaning using power ultrasound*" ، Minerals Engineering 20.

[6]- Oktay، B.،Huseyin A.، 2018،"*Evaluation of new collector for silica/glass and statistical analysis of plant trials*", Mineral Engineering (15).

۷- گزارش طرح بهره داری معدن تپیک دره و توته خانه، ۱۳۸۹، شرکت سهند جام تبریز.

[8]- A.N.BanzaJ.QuindtE.Gock، 2019، "*Improvement of the quartz sand processing at Hohenbocka*", International Journal of Mineral Processing، (79).

۹- شاهکار. غ.، ۱۳۹۰، طرح و تحلیل آزمایش ها، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.