

## بررسی فرآیندهای آهن زدائی از سیلیس مورد مصرف در صنایع شیشه

حامد حقی<sup>۱</sup>؛ محمد نوع پرست<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران، شماره همراه: ۰۹۳۲۹۰۵۶۴۹۷

;Email: hamed\_h81@yahoo.com

۲- دانشیار فرآوری مواد معدنی، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران؛

### چکیده

در این مقاله، امکان کاهش محتوی آهن ( $Fe_2O_3$ ) در سیلیس معدن شنین بررسی شد. این سیلیس دارای ۹۳/۷۵ درصد  $SiO_2$ ، ۰/۴۴ درصد  $Fe_2O_3$ ، ۲/۷۸ درصد  $Al_2O_3$ ، ۰/۰۸ درصد  $TiO_2$  بوده و عیار  $Fe_2O_3$  باید کمتر از ۰/۰۸ درصد (محصول کلاس ب) و یا کمتر از ۰/۰۲ درصد (محصول کلاس آ) باشد. بعد از آسیا کردن، پارامترهای مؤثر در فرآیند اسکرابینگ بهینه سازی شدند. به منظور نشان دادن نقش فرآیند اسکرابینگ محصول آسیا و محصول اسکرابر وارد جداکننده مغناطیسی خشک شدت بالا شدند. فرآیند تلفیقی اسکرابینگ و جدایش مغناطیسی جدایش مغناطیسی خشک شدت بالا محصولی با محتوی آهن کمتر و راندمان وزنی بیشتر، نسبت به فرآیند مشابه با محصول آسیا، تولید نمود. سپس امکان حذف آهن از سیلیس با استفاده از روش های مختلف کانه آرائی مانند جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی و فلوتاسیون بررسی شد. در نهایت به منظور حذف محتوی آهن از سیلیس ۲ فلوشیت ارائه شد.

کلمات کلیدی: سیلیس، هماتیت، اسکرابینگ، جدایش ثقلی، جدایش مغناطیسی، فلوتاسیون

## The Study of Iron Removal Processes from Silica Sand used in Glass Industry

Hamed Haghi, Mohammad Noaparast

### Abstract

In this research work, it was attempted to reduce the iron contents ( $Fe_2O_3$ ) in silica from Shenin silica mine. This silica sand contains 93.75%  $SiO_2$ , 0.44%  $Fe_2O_3$ , 2.78%  $Al_2O_3$ , and 0.08%  $TiO_2$  and the  $Fe_2O_3$  has to be reduced to less than 0.08% (Product class B) or 0.02% (Product class A). After milling, main factors in scrubbing process were optimized. To indicate the significant role of scrubbing process, the product of rod mill and scrubber were led to dry high intensity magnetic separator (DHIMS). The compound process of scrubbing and magnetic separation can produce a product with lower iron content and higher weight recovery than same process with rod mill product. Then the possibility of iron removal from silica with various mineral processing methods such as gravity separation, magnetic separation and flotation were investigated. Finally 2 flowsheet for removal of iron content from silica sand were presented.

**Keywords:** silica sand, hematite, scrubbing, gravity separation, magnetic separation, flotation.

۱- مقدمه

{ ( ) }  
{SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>,...  
(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> )  
( ) / ( ) /  
(Scrubbing)  
( )  
(  
/ SiO<sub>2</sub> /  
TiO<sub>2</sub> / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

مشخصات نمونه

( )

( )

(X-Ray Diffraction (XRD))

XRD

+

( + )

( )

$d_{80}$

جدول ۱- مشخصات محصول فرآیند سنگ شکنی (نمونه اولیه)

درجه آزادی (درصد)	آنالیز شیمی (درصد)				درصد وزنی	محدوده ابعادی (میکرون)
	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>		
۲۶	۰/۱۱۹	۳/۰	۰/۲۹	۹۴/۳۰	۲۶/۸۲	-۲۳۶۰ +۱۷۰۰
۴۶	۰/۱۴	۲/۹۴	۰/۱۸	۹۴/۱۵	۲۲/۲۵	-۱۷۰۰ +۱۰۰۰
۵۹	۰/۱۰۵	۳/۱۰	۰/۲۸	۹۴/۱۰	۱۰/۹۰	-۱۰۰۰ +۶۰۰
۷۲	۰/۱۱۰	۲/۳۳	۰/۲۴	۹۵/۳۰	۱۴/۰۶	-۶۰۰ +۳۰۰
۸۱	۰/۰۹۴	۲/۴۱	۰/۲۹	۹۴/۹۳	۴/۶۲	-۳۰۰ +۲۱۲
۸۶	۰/۱۰۶	۲/۹۶	۰/۳۵۲	۹۴/۴۲	۷/۶۳	-۲۱۲ +۱۵۰
۹۰	۰/۱۴۲	۳/۴۵	۰/۴	۹۴/۹۲	۷/۴۸	-۱۵۰ +۷۵
بیش از ۹۰	۰/۰۴	۵/۳۳	۰/۸	۸۶/۵۰	۶/۳۳	-۷۵
-	۰/۰۸	۲/۷۸	۰/۴۴	۹۳/۷۵	۱۰۰	نمونه کلی

### آزمایشهای کانه آرائی

( )  
{ ( ) }  
( ) ( )  
( ) ( ) ( )

$$R = \frac{c_{Si} \times C}{c_{Si} \times C + t_{Si} \times T} \times 100 \quad (1)$$

$$R = \frac{c_{Si} \times C}{f_{Si} \times F} \times 100 \quad (2)$$

$$R = \left(1 - \frac{c_{Fe} \times C}{c_{Fe} \times C + t_{Fe} \times T}\right) \times 100 \quad (3)$$

$$R = \left(1 - \frac{c_{Fe} \times C}{f_{Fe} \times F}\right) \times 100 \quad (4)$$

که در آن:

$C$ : وزن کنسانتره (محصول، بر حسب درصد وزنی)،

$T$ : وزن باطله (بر حسب درصد وزنی)،

$F$ : وزن خوراک ورودی (بر حسب درصد وزنی)،

$c_{Si}$ : عیار سیلیس در کنسانتره (محصول، بر حسب درصد)،

$c_{Fe}$ : عیار هماتیت در کنسانتره (محصول، بر حسب درصد)،

$t_{Si}$ : عیار سیلیس در باطله (بر حسب درصد)،

$t_{Fe}$ : عیار هماتیت در باطله (بر حسب درصد)،

$f_{Si}$ : عیار سیلیس در خوراک ورودی (بر حسب درصد)،

$f_{Fe}$ : عیار هماتیت در خوراک ورودی (بر حسب درصد)

اسکراپینگ و بهینه‌سازی پارامترهای اصلی

( )

[ ]

[ ]

[ ]

[ ]

( )

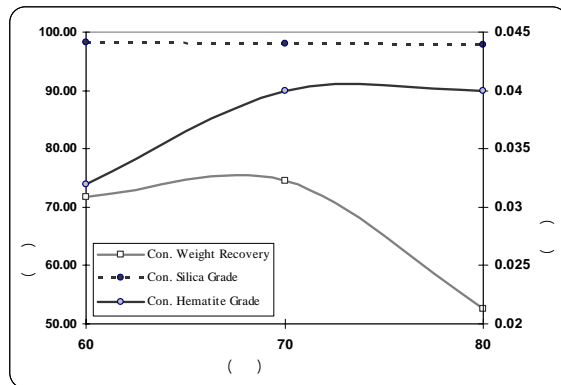
( \* \* )

[ ] ( ... )

( )

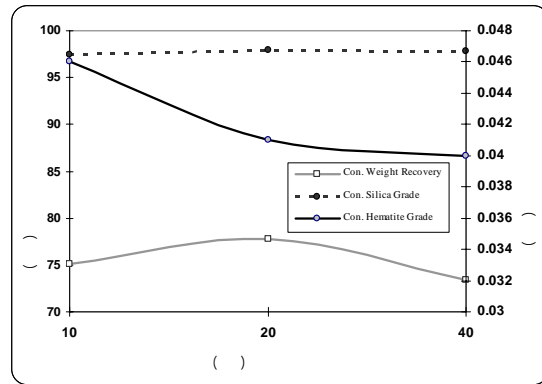
( / )

( )

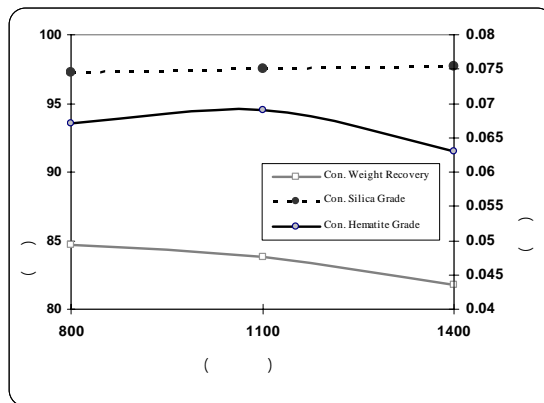


شکل ۱- اثر درصد جامد پالپ بر درصد وزنی، عیار سیلیس و هماتیت کنسانتره محصول نهائی فرآیند ترکیبی

Exolon

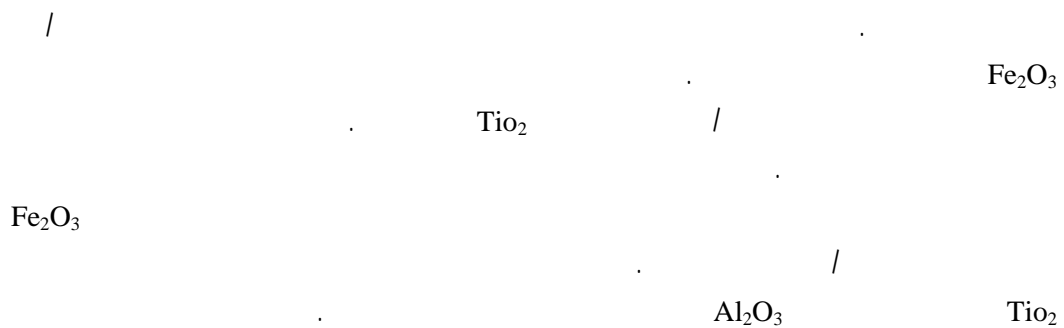


شکل ۲- اثر زمان اسکرابینگ بر درصد وزنی، عیار سیلیس و هماتیت کنسانتره محصول نهائی فرآیند ترکیبی



شکل ۳- اثر سرعت روتور (دور روتور) اسکرابر بر درصد وزنی، عیار سیلیس و هماتیت کنسانتره محصول نهائی فرآیند ترکیبی

آزمایشهای ثقلی



( - )

	/		/		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
( )		( )			
TiO <sub>2</sub>		( )			

### آزمایشهای جدایش مغناطیسی

( )

( )

( )

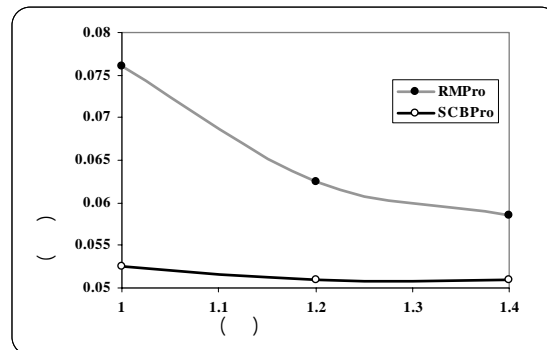
(Eriez) (BoxMag)

/	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	/
	( )	
	/ /	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	( )	
		( )

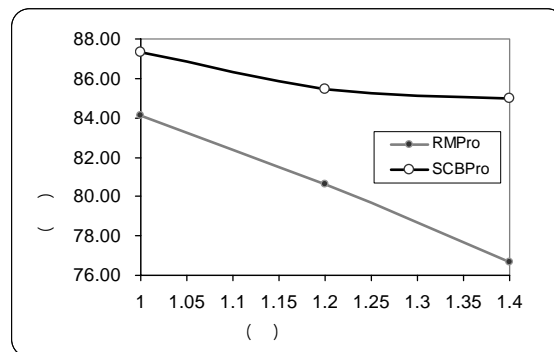
### آزمایشهای فلوتاسیون

به منظور آهن زدائی از سیلیس از هر دو روش فلوتاسیون مستقیم و معکوس می توان استفاده نمود. با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد خوراک ورودی به بخش فلوتاسیون حاوی سیلیس می باشد، به نظر نمی رسد که استفاده از فلوتاسیون مستقیم مفید باشد. کارهای قبلی انجام شده نیز نشان دهنده این مطلب است؛ استفاده از فلوتاسیون مستقیم با توجه به مصرف بسیار زیاد مواد شیمیائی (کلکتور ۱۰۰۰ گرم بر تن) درصد بازیابی سیلیس بسیار پائینی (حداکثر ۲۰ درصد) داشت [۵]. در استفاده از فلوتاسیون معکوس می توان دو گزینه استفاده از کلکتورهای اسیدهای چرب در pH خنثی تا بازی و یا استفاده از سولفونات ها در pH اسیدی را مد نظر قرار داد. در این تحقیق از کلکتورهای آنیونی سولفونات سری ۸۰۰ (۸۰۱، ۸۲۵ و ۸۲۷) استفاده شد. پارامترهای مختلف تأثیرگذار، نوع کلکتور (استفاده تکی یا ترکیبی از کلکتورها)، مصرف کلکتور (۱۵۰۰-۵۰۰ گرم بر تن)، کف ساز MIBC (۲۰۰-۶۰ گرم بر تن)، زمان آماده سازی (۱۲-۶ دقیقه)، درصد جامد پالپ (۴۵-۲۵ درصد) و pH آماده سازی (۳/۵-۲/۵) بود. بیش از ۲۵ آزمایش بر روی محصول آسیا (زمان خردایش ۵ و ۱۰ دقیقه، با و بدون نرمه گیری و حذف آهن های آزاد) و همچنین محصول اسکرابر در حالات مختلف انجام شد و در هیچ یک از حالات مختلف عیار Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> کنسانتره نهائی حتی کمتر از ۰/۰۸ درصد نشد؛ هر چند که عیار سیلیس از مرز ۹۸ درصد هم گذشت. بهترین جواب بر روی محصول

آسیا با زمان خردایش ۵ دقیقه (به همراه نرمه‌گیری و حذف آهن‌های آزاد) با کلکتور ۸۰۱ به میزان ۱۰۰۰ گرم بر تن، کف‌ساز ۶۰ گرم بر تن به همراه نفت (۱۰۰ گرم بر تن) با زمان آماده‌سازی ۹ دقیقه در pH ۳-۲/۵ در درصد جامد ۳۵ درصد و دو مرحله کف‌گیری بدست آمد. در این حالت عیار سیلیس و  $Fe_2O_3$  کنسانتره نهائی به ترتیب ۹۷/۷۹ و ۰/۰۹ درصد بود. در نهایت با توجه به آزمایش‌های مختلف انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از فلوتاسیون به تنهایی قادر به تولید محصولی با کیفیت لازم نمی‌باشد. اگرچه که فلوتاسیون در افزایش عیار سیلیس و حذف سایر ناخالصی‌ها مانند اکسید آلومینیوم و غیره موفق عمل کرد و توانست عیار سیلیس را به مرز ۹۸ درصد برساند، ولی در زمینه کاهش عیار  $Fe_2O_3$  کارائی مورد نظر را نداشت. پس فلوتاسیون به تنهایی قادر به تولید محصولی با عیار مورد نظر نمی‌باشد و باید با فرآیندهای دیگر تلفیق گردد.



شکل ۴- تغییرات عیار هماتیت محصول جداکننده استوانه‌ای القائی نسبت به تغییرات شدت میدان مغناطیسی و نوع خوراک ورودی.



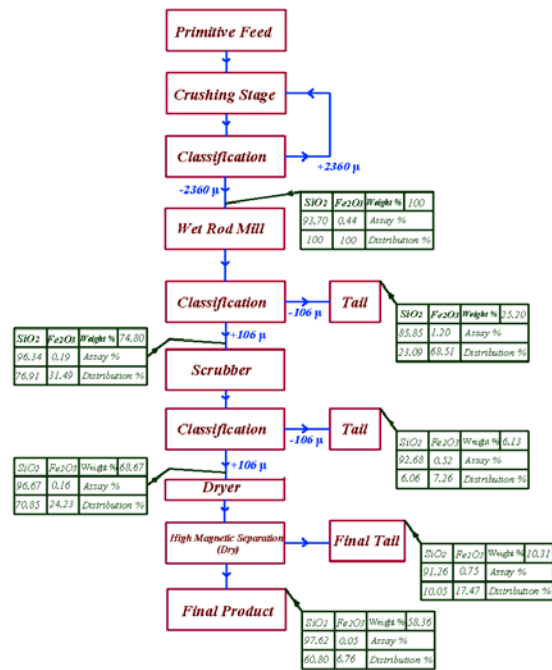
شکل ۵- تغییرات درصد وزنی کنسانتره جداکننده استوانه‌ای القائی نسبت به تغییرات شدت میدان مغناطیسی و نوع خوراک ورودی.

ارائه فلو شیت

[ ]

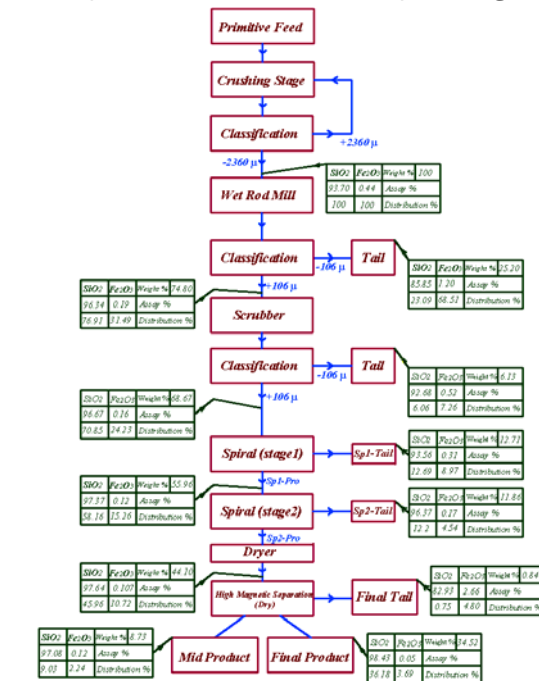
نتیجه گیری

( )





شکل ۶- فلوشیت آهن‌زدائی از سیلیس با فرآیندهای اسکرابینگ، جدایش مغناطیسی خشک شدت بالا.



شکل ۷- فلوشیت آهن‌زدائی از سیلیس با فرآیندهای اسکرابینگ، ماریچ دو مرحله‌ای و جدایش مغناطیسی خشک شدت بالا.

## مراجع

- [1] Metso Minerals Co.; 2006; *Metso Minerals Handbook, "Basics in Mineral Processing"*.
- [2] Outokumpu Co.; 2007; *Processing of silica sand*; <http://www.outotec.com/14581.epibrw>; pp. 1-19.
- [3] نوع‌پرست، محمد؛ کلاه‌دوزان، محمد؛ اصغری، رجب؛ ۱۳۸۲؛ "بررسی کاهش آهن در سیلیس به روش اسیدشوئی و مغناطیسی"، نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۷، شماره ۴، از صفحه ۴۲۹-۴۲۱.
- [4] AL-MAGHRABI, M. N. N. H.; 2004; "Improvement of Low-Grade Silica Sand Deposits In Jeddah Area", JKAU, Eng. Sci., Vol. 15, No. 2, pp. 113-128.
- [5] اصغری دستجردکی، رجب؛ ۱۳۷۹؛ کاهش اکسید آهن در محصول سیلیس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [6] مولا، داریوش؛ ۱۳۸۴؛ طرح آهن‌زدائی و تخلیص سیلیس معدن کولی‌کش، دانشگاه شیراز.