اولین کنفرانس بین المللی اندیشه های نوین در
شیمی و مهندسی شیمی
تهران – مهر ۱۳۹۹

تأثیر پارامتر های اندازه ذرات و دانسیته پالپ در گوگردزدایی باکتریایی کنسانتره سنگ آهن

محمدجواد ایمانی باغبزم*[۱]، سید احمد عطائی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- دانشیار، دانشگاه شهید باهنر کرمان

خلاصه

مگنتیت و هماتیت دو کانی مهم آهن دار هستند که در صنایع فولاد سازی مورد استفاده قرار می گیرند. به همراه این کانی ها، کانی پیریت یافت می شود که علاوه بر آهن، گوگرد نیز در ساختار آن وجود دارد. حضور این گوگرد در فرایند فولادسازی مشکلات عمده ای ایجاد می کند و باعث کاهش کیفیت فولاد تولیدی خواهد شد. علاوه بر این مساله وجود گوگرد در کنسانتره سنگ آهن باعث آلودگی محیط زیست نیز می شود. بیولیچینگ یکی از روش های نوین صنایع معدنی می باشد که به علت سازگاری با محیط زیست امروزه مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق با استفاده از باکتری های مزوفیل معتدل پارامترهای اندازه ذرات و دانسیته پالپ (درصد جامد) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های انجام شده نشان داد می توان با کاهش هر یک از این پارامتر ها تا میزان ۷۸ درصد گوگرد نمونه کنسانتره سنگ آهن را کاهش داد.

کلمات کلیدی: بیولیچینگ، گوگردزدایی باکتریایی، کنسانتره سنگ آهن، بهینه سازی

۱.مقدمه

یکی از فراوان ترین عناصر موجود در پوسته زمین آهن می باشد که به طور عمده در بیش از ۳۰۰ کانی آهن دار وجود دارد. اما شش کانی هماتیت (Fe_2O_3)، مگنتیت (Fe_3O_4)، گوتیت (FeOOH)، سیدریت ($FeCO_3$)، لیمونیت ($FeOOH.nH_2O$) و پیریت (FeS_2) اصلی ترین این کانی ها به شمار می روند. در صنایع معدنی، به خصوص فولادسازی کانی های هماتیت و مگنتیت مهم ترین و ارزشمند ترین کانی ها از نظر اقتصادی می باشند[1]. وجود کانی های گوگرد دار در کنسانتره سنگ آهن سبب بروز مشکلاتی نظیر شکنندگی و تردی فولاد در دمای بالا می شود. همچنین وجود آن در فرایند گندله سازی آلودگی هوا را به دنبال خواهد داشت[2]. تاکنون روش های متعدد بسیاری برای حذف ناخالصی های موجود در کنسانتره سنگ آهن، به خصوص گوگرد مورد استفاده قرار گرفته است. از جمله ی این روش ها می توان به فلوتاسیون، جدایش مغناطیسی، جدایش ثقلی سایش به منظور تمیز کردن و نرمه گیری اشاره کرد که برای حذف

*دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی شیمی، گرایش محیط زیست، بخش مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی
ایمیل: mjib.74@gmail.com

ناخالصی هایی همچون ترکیبات گوگردی، فسفات، سیلیکات و رس مورد استفاده قرار می گیرند. اما این روش ها دارای مشکلاتی نظیر هزینه زیاد، دشواری فرایند و آلودگی محیط زیست می باشند. امروزه بیوتکنولوژی به دلیل مزایایی از جمله سازگاری با محیط زیست و هزینه بسیار کمتر نسبت به سایر فرایندها مورد توجه محققین قرار گرفته است. به دنبال این پژوهش های صورت گرفته، در صنایع معدنی نیز این فناوری به صورت فرایند هایی نظیر بیولیچینگ به صورت محدود به کار گرفته شده است. علت عدم استقبال زیاد از این روش، محدودیت هایی نظیر زمان زیاد عملیات است که نیازمند تحقیق و کار بیشتر می باشد[3]. در این فرایند اصلی ترین ابزار میکروارگانیسم ها، به خصوص باکتری ها هستند که باعث سرعت بخشی فرایند گوگردزدایی از مواد معدنی می شوند. این باکتری ها باعث اکسیداسیون کانی های نامحلولی نظیر پیریت و تبدیل آن ها به یون های محلول می شوند[4]. ازجمله باکتری های مورد استفاده جهت اکسایش مواد معدنی اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس می باشد که امروزه برای گوگرد زدایی و بیولیچینگ موادی نظیر زغال سنگ، پیریت و مس به کار گرفته شده است [5-7]. تاکنون تلاش های بسیار زیادی جهت ارائه مدل هایی برای مکانیسم بیولیچنگ کانی های سولفیدی انجام شده است. کامل ترین مدل ارائه شده مکانیسم مستقیم و مکانیسم غیر مستقیم اکسایش مواد معدنی می باشد. در مکانسیم مستقیم بین باکتری و سطح کانی سولفیدی تماس مستقیم صورت می گیرد که کانی سولفیدی اکسید شده و به یون های سولفات و یون فلز مورد نظر تبدیل شده که به صورت محلول می باشد. در رابطه با مکانیسم غیر مستقیم می توان فرایند بیولیچینگ را فرایندی تعریف کرد که پایه و اساس آن رابطه ی بین بیواکسیداسیون و اکسیداسیون شیمیایی می باشد. در این فرایند آهن فرو به آهن فریک تبدیل می شود. آهن فیریک نیز توانایی اکسید کنندگی فلزات سولفیدی را دارا می باشد و بعد از اکسید کردن این سولفید ها آهن فریک مجددا به آهن فرو تبدیل خواهد شد و این چرخه مرتبا تکرار خواهد شد [8]. عوامل زیادی در سرعت و اثربخشی فرایند بیولیچینگ دخیل هستند. از جمله این عوامل می توان به PH، میزان اکسیژن و کربن دی اکسید، دما، حضور فلزات سنگین، دانسیته پالپ و اندازه ذرات اشاره کرد[4]. در تحقیق حاضر سعی بر آن شده است که عوامل دانسیته پالپ و اندازه ذرات مورد بررسی قرار بگیرد.

۲. روش و مراحل تحقیق

۲-۱. مشخصات نمونه کنسانتره و باکتری

نمونه کنسانتره مورد استفاده در این آزمایش در دو مش بندی ۱۰۰ و ۳۰۰ میکرو متری، از شرکت صنعتی_معدنی گل گهر سیرجان واقع در استان کرمان تهیه شد. آنالیز شیمیایی این کنسانتره با استفاده از دستگاه ICP-MS انجام شد که در جدول شماره ۱ گزارش شده است.

جدول ۱- آنالیز شیمیایی کنسانتره سنگ آهن

SiO_2	Al_2O_3	MnO	Fe(total)	K_2O	MgO
3.69	0.8	0.02	62.98	0.05	2.31
P	**S**	**TiO_2**	**Na_2O**	**CaO**	**LOI**
0.08	1.49	0.09	0.19	0.05	1.13

باکتری اسیدی تیوباسیلوس فرواکسیدانس در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته شده است که از بانک میکروبی مرکز پژوهشی مس سرچشمه تهیه شد.

۲-۲. کشت باکتری

برای کشت و رشد باکتری از محیط کشت PTCC 132 استفاده شد که ترکیب آن در جدول شماره ۲ گزارش شده است. آماده سازی کشت اولیه باکتری ها در ارلن های ۱۰۰ میلی لیتری با حجم محلول ۵۰ میلی لیتر، ۲۰٪ تلقیح باکتریایی، ۴۰ میلی لیتر محیط کشت و اسید سولفوریک ۳۰ درصد حجمی برای تنظیم PH (۱/۸) انجام شد. این ظروف در داخل دستگاه شیکرانکوباتور در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد با سرعت دوران ۱۶۰ دور در دقیقه قرار داده شدند. روزانه PH و ORP (پتانسیل اکسایش_کاهش) اندازه گیری شد. کاهش PH، افزایش ORP، تغییر رنگ محیط کشت و کدر شدن آن نشانه رشد و فعالیت باکتری ها می باشد.

جدول ۲- ترکیب محیط کشت PTCC 132

نام نمک	$(NH_4)_2SO_4$	KH_2PO_4	$MgCl_2.6H_2O$	$CaCl_2.6H_2O$	$FeSO_4.7H_2O$
مقدار نمک (g/l)	0.132	0.027	0.053	0.147	20

۲-۳. سازگاری باکتری با کنسانتره سنگ آهن

در فرایند بیولیچینگ باکتری ها باید تحمل شرایط سختط محیط همچون غلظت بالای برخی عناصر را داشته باشند. به این منظور باکتری ها در دانسیته پالپ های مختلفی سازگار شدند. بنابراین افزایش دانسیته پالپ تدریجی افزایش یافت. باکتری ها ابتدا در محیطی با دانسیته پالپ ۱ سازگار شدند، سپس به تدریج این مقدار به ۵، ۷، ۱۰ و ۱۵ افزایش یافت. جهت تلقیح باکتریایی در هر مرحله افزایش دانسیته پالپ، از باکتری های سازگار شده در مرحله قبل استفاده شد. اماده سازی محیط های مختلف سازگاری در ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری با حجم نهایی ۱۰۰ میلی لیتر محلول انجام شد. ظروف داخل دستگاه شیکرانکوباتور در دمای ۳۲ درجه سانتی گراد و سرعت دوران ۱۶۰ دور بر دقیقه قرار گرفتند و روزانه PH با اسید سولفوریک ۳۰ درصد حجمی کنترل گردید.

۲-۴. آزمایش های بیولیچینگ در ظروف لرزان

در این مرحله، آزمایش های بیولیچینگ جهت گوگرد زدایی با استفاده از باکتری های سازگارشده در مرحله قبل انجام شد. آزمایش ها در ارلن های ۲۵۰ میلی لیتری با حجم نهایی ۱۵۰ میلی لیتر محلول به مدت سه هفته انجام شد و روزانه PH محیط اندازه گیری و در صورت نیاز تنظیم شد. در تمامی آزمایش ها درصد تلقیح باکتریایی ۲۰٪ انجام شد. هدف از انجام این آزمایش ها بررسی تاثیر پارامتر های اندازه ذرات و دانسیته پالپ در گوگردزدایی کنسانتره سنگ آهن بود. برای این کار از نرم افزار آماری minitab، مجموعه ای از آزمایش ها با روش فاکتوریل کامل جهت بررسی این پارامتر ها طراحی گردید. در جدول شماره ۳ مشخصات طراحی آزمایش ها گزارش شده است.

جدول ۳- پارمترها و سطوح مورد استفاده جهت طراحی آزمایش

شماره آزمایش	1	2	3	4	5	6
سایز ذرات(µm)	100	300	300	100	300	100
دانسیته پالپ (%)	10	7	15	15	10	7

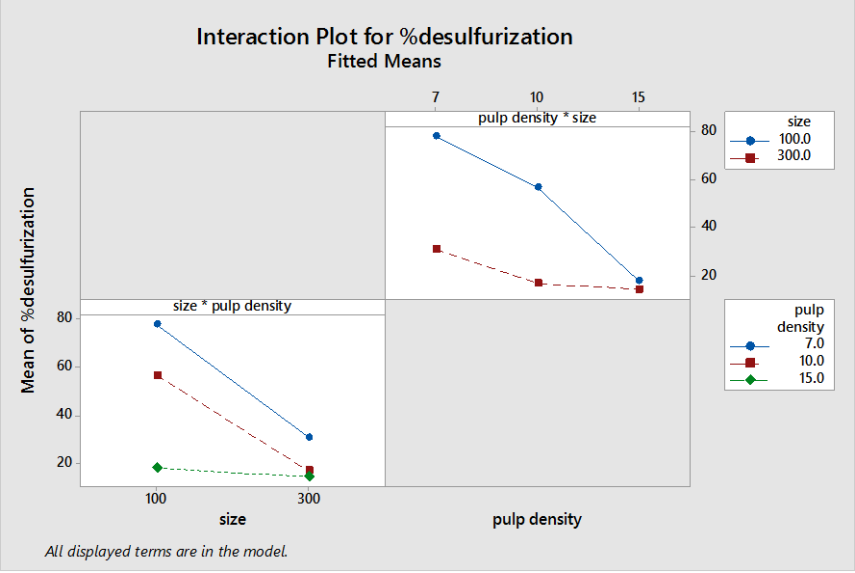
۳. یافته ها

نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می دهد که فاکتور های اندازه ذرات و دانسیته پالپ تأثیر بسزایی در گوگردزدایی باکتریایی کنسانتره سنگ آهن دارند. به طوری که با کاهش اندازه ذرات و دانسیته پالپ میزان گوگرد زدایی افزایش می یابد. در جدول شماره ۴ میزان درصد کاهش گوگرد نمونه در هر آزمایش گزارش داده شده است. بیشترین میزان گوگردزدایی در نمونه شماره ۶ اتفاق افتاد که سایز ذرات ۱۰۰ میکرومتر و دانسیته پالپ ۷ درصد بود. همچنین اندازه گیری روزانه مقادیر PH و ORP نشان داد که با گذشت زمان PH نمونه ها کاهش و ORP افزایش می یابد.

جدول ۴- میزان کاهش گوگرد نمونه ها

شماره آزمایش	1	2	3	4	5	6
کاهش گوگرد (٪)	56.8	31	14.2	18	16.9	78

در شکل شماره ۱ تأثیر هر یک از پارامترهای اندازه ذرات و دانسیته پالپ و همچنین تأثیر متقابل این دو پارامتر بر گوگردزدایی کنسانتره سنگ آهن نشان داده شده است.



شکل ۱- تأثیر پارامتر های اندازه ذرات و دانسیته پالپ و تأثیر متقابل بر گوگرد زدایی

۴. نتیجه گیری

در این تحقیق تأثیر پارامترهای اندازه ذرات و دانسیته پالپ بر گوگردزدایی کنسانتره سنگ آهن مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های صورت گرفته نشان داد که با گذشت زمان PH کاهش و ORP افزایش می یابد و در عین حال به مرور محیط کشت تغییر رنگ داده و کدر می شود که دلیل بر رشد و فعالیت مناسب باکتری ها می باشد. همچنین بر اساس نمودار شکل شماره ۱ مشاهده می شود با کاهش اندازه ذرات میزان گوگردزدایی افزایش می یابد. این مساله می تواند مربوط به افزایش سطح جذب در دسترس باکتری ها باشد که خود تابعی از ابعاد ذرات می باشد. بنابراین کاهش هرچه بیشتر اندازه ذرات می تواند میزان گوگردزدایی را افزایش دهد. همچنین با بررسی نمودار شکل شماره ۱ می توان نتیجه گرفت افزایش دانسیته پالپ سبب کاهش گوگردزدایی خواهد شد. علت این امر را می توان با دلایلی همچون افزایش تنش برشی و آسیب به دیواره سلول باکتری، کاهش سطح تماس بین فاز های مایع و گاز و کاهش انتقال جرم، افزایش سمیت یون هایی نظیر نقره و افزایش مواد زائد دفع شده از باکتری ها با کاهش فاز مایع توجیه کرد. لذا یکی دیگر از عوامل افزایش گوگردزدایی باکتریایی کاهش دانسیته پالپ می باشد.

۵. منابع

1. Alafara, A.B. Adekola, F.A. and Lawal A.J. (2007), " Investigation of Chemical and Microbial Leaching of Iron ore in Sulphuric acid ," J Appl Sci Environ Manag, 11(1), pp 39–44.

۲. شجاع، ف. عبدالهی، م. و اسکانلو، ا. (۱۳۹۶)، " بررسی امکان کاهش گوگرد کانسنگ آهن معدن سورک ،" نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره دوم، شماره ۴، ۶۷–۷۴ .

3. Rezvanipour, H. Mostafavi, A. Ahmadi, A. Karimimobarakabadi, M. and Khezri, M. (2018), " Desulfurization of Iron Ores: Processes and Challenges ," Steel Res Int, 89(7), pp 1–14.

4. Bosecker, K. (1997), " Bioleaching: metal solubilization by microorganisms ," FEMS Microbiol Rev, 20, pp 591–604.

۵. سالاری، ح. احمدی مقدم، ع. مظفری، ح. و ترک زاده، م. (۱۳۸۷)، " حذف بیولوژیکی گوگرد از زغال سنگ با استفاده از باکتری های تیوباسیلوس فرواکسیدانس و تیوباسیلوس تیواکسیدانس ،" مجله محیط شناسی، سال سی و چهارم، شماره ۴۷، ۵۹–۶۴ .

۶. کاوه، ع. و رنجبر، م. (۱۳۹۸)، " مروری بر بیولیچینگ کانی های سولفیدی ،" کنفرانس بین المللی پیشرفت های اخیر در علوم اطلاعات، مهندسی و فناوری، تفلیس.

۷. دوست محمدی، س. (۱۳۹۴)، " بیولیچینگ کنسانتره مس در راکتورهای آزمایشگاهی با استفاده از باکتری های ترموفیل مطلق و معتدل ،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان .

8. Rodríguez, Y. Ballester, A. Blázquez, ML. González, F. and Muñoz, JA. (2003), " New information on the pyrite bioleaching mechanism at low and high temperature ," Hydrometallurgy. 71, pp 37–46.