مطالعه و بررسی فرآوری کانسنگ آهن چادرملو با فلوتاسیون ستونی

سید محمد جواد کلینی[i]، احمد خدادادی[ii]، کیانوش بارانی[iii]

چکیده

کارخانه فرآوری آهن چادرملو شامل سه خط تولید موازی و مشابه و ظرفیت هر خط تولید ۱/۷ میلیون تن در سال است. در هر خط تولید, دو نوع کنسانتره منیتیتی و هماتیتی تولید می‌شود. خروجی هر خط ۲۱٦ تن بر ساعت کنسانتره منیتیتی و۵۰ تن بر ساعت کنسانتره هماتیتی است. در هر خط تولید, کنسانتره هماتیتی به وسیلهٔ یک مدار فلوتاسیون, شامل مراحل باطله‌گیر، شستشو و رمق‌گیر فرآوری می‌شود. در تمامی مراحل فلوتاسیون، از سلول‌های مکانیکی نوع سالا (sala) استفاده شده است. با توجه به مزایای سلول‌های فلوتاسیون ستونی نسبت به سلول‌های مکانیکی و رویکرد جهانی صنایع فرآوری مواد معدنی به سوی جایگزین کردن سلول های ستونی به جای سلول های مکانیکی، در اولین گام برای بررسی جایگزینی سیستم فلوتاسیون ستونی به جای سلول‌های مکانیکی در مدار خط فلوتاسیون هماتیت, یک سلول ستونی در مقیاس آزمایشگاهی طراحی و ساخته شد. جنس ستون از پلکسی گلاس و قطر و ارتفاع آن به ترتیب ۷/٤ و۱۵۳ سانتی‌متر انتخاب شد. سیستم توزیع حباب هوا از نوع متخلخل با پارچه فیلتری طراحی و از مانومترهای آب برای اندازه گیری پارامترهای هیدرودینامیک سلول نیز استفاده شد. تأثیر پارامترهایی مانند: تعیین نرخ ته‌ریز، نرخ هوادهی، نرخ آب شستشو و مقدار کلکتور کف‌ساز بر عملکرد متالورژیکی و هیدرودینامیکی سلول بررسی شد. مقادیر بهینه پارامترهای فوق تعیین و در نهایت، کنسانتره‌ای با عیار متوسط آهن و فسفر حاصل شد که در یک مقایسهٔ کلی مشابه کنسانتره نهایی تولیدی در مدار فعلی کارخانه است. بنابراین، یک مرحله فلوتاسیون ستونی می تواند جایگزین ۹ مرحله فلوتاسیون مکانیکی شود.

کلمات کلیدی: فلوتاسیون ستونی،چادرملو، هماتیت

Study of Iron Ore of Chadur Malu by Column Flotation

Abstract

Chador- malu mineral processing plant includes three similar and parallel production lines. The nominal production capacity of each line has been designed to be 1,700,000 tons per year. The final products are magnetite, hematite and phosphate concentrates. The magnetite and hematite concentrate productions are 216 and 50 tones per hour for each production line respectively. The hematite concentrate is produced in a flotation circuit including rougher, scavenger and cleaner stages. Sala mechanical flotation cells were employed in all stages.To make a prediction of results of column flotation of hematite, a laboratory test was designed. The laboratory column cell diameter and height were 7.6 and 153 cm respectively. Bubbles were generaled by using a vertical Internal sparger.A wash water system was employed to clean overflow concentrate. Hydrodynamic parameters of column cell were estimated by water manometers.

Effects of parameters such as under flow rate, gas rate , wash water rate and collector-frother dosages on metallurgical and hydrodynamic cell performance were determined.

The reasonable cell performance values for under flow rate, gas rate, wash water rate and collector-frother dosage were obtained. which is very close to plant production performance.

It is predicted that by employing these results, all nine stages in mechanical flotation cell can be replaced with one column flotation stage.

Key words

Column Flotation, Chador-malu, Hematite

i استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس. Koleini@Modares.ac.ir

ii استادیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

iii دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس

۱- مقدمه

معدن سنگ آهن چادرملو در ۸۰ کیلومتری شهرستان بافق در استان یزد قرار دارد. ذخیره کلی معدن ٤۰۰ میلیون تن با عیار متوسط ۵۷٪ آهن (بیشتر به صورت هماتیت و منیتیت)، ۰/۹٪ فسفر(به صورت آپاتیت) و۰/۱۷٪ گوگرد برآورده شده است[۱]. سنگ آهن پس از استخراج از معدن و سنگ شکنی اولیه، در کارخانه فرآوری چادرملو که شامل سه خط موازی و مشابه است. برای دست‌یابی به عیار مناسب فرآوری می شود. در هر خط تولید دو نوع کنسانتره منیتیتی و هماتیتی تولید می‌شود. ظرفیت سالیانهٔ تولید هر خط ۱/۷ میلیون تن کنسانتره آهن است که از این مقدار ۸۱ درصد آن کنسانتره منیتیتی و ۲۱ درصد آن کنسانتره هماتیتی است. در هر خط تولید بعد از عملیات جدایش کنسانتره منیتیتی به وسیله جداکننده‌های مغناطیسی، کنسانتره هماتیتی با یک مدار فلوتاسیون عمل آوری می شود. در واحد فلوتاسیون هماتیت آپاتیت شناور و هماتیت بازداشت می‌شود. مشخصات عمومی یک نمونه خوراک، کنسانتره و باطله فلوتاسیون هماتیت در جدول (۱) آمده است[۲].

جدول (۱): مشخصات بار اولیه، کنسانتره و باطله کارخانه

مشخصات	خوراک	کنسانتره	باطله
تناژ جامدخشک(t/h)	۷۱	۵۰	۲۱
درصد جامد (٪)	۳۳	۳۰	٤۳
دبی آب(m^3/h)	۱٤۷	۱۱۹	۲۸
دبی با لپ(m^3/h)	۱٦۱	۱۲۹	۳۲
دانسیته پا لپ	۱/٤	۱/۳	۱/۵
عیار متوسط آهن (٪)	۵۹	٦۵	۳۳
عیار متوسط فسفر (٪)	۰/٤	۰/۰٤	۲/۵

تجهیزات فلوتاسیون هماتیت شامل سه ردیف سلول رافر، سه ردیف سلول کلینر و سه ردیف سلول رمق‌گیر است. هر یک از این ردیف‌ها شامل سه سلول است (جمعاً ۲۷ سلول). سلول‌ها از نوع Ase ساخت sala با گنجایش هر سلول ۹ متر مکعب است. زمانِ ماندِ هر سلول ۲۰ دقیقه، قطر همزن ۱۱۰۰ میلی‌متر سرعت و گردش دستگاه ۱٤۱ دور بر دقیقه (RPM) است[۲].

استفاده از سلول‌های مکانیکی در صنعت فرآوری مواد معدنی عموماً با مشکلاتی نظیر تنوع در طراحی سلول و عدم شناخت مزیت آنها، عدم کنترل دقیق هوادهی و در نتیجه آشفتگی در سلول، غیرقابل پیش بینی بودن بزرگ مقیاس کردن آنها، نیاز به اپراتوری مداوم و دقت و توجه زیاد به عملکرد، فرسوده شدن سریع (بویژه همزن‌ها)، عدم کنترل کلی مناسب و عدم سهولت کنترل خط تولید برای بهینه‌سازی بازیابی و عیار، مواجه است[۳]. با توجه به مواردی که ذکر شد فن‌آوری جدیدی در زمینه سلول‌های فلوتاسیون جنبه صنعتی پیدا کرده است. یکی از این موارد، تغییراتی است که در طراحی سلول‌های مکانیکی صورت گرفته و شامل نصب سیستم آب شستشو و تقویت کنندهٔ کف بر روی این سلول‌هاست، هم چنین سلول‌های دیگری نظیر سلول‌های جیمسون، هوایی، تماسی و ستونی جنبه صنعتی پیدا کرده است[٤و۵].

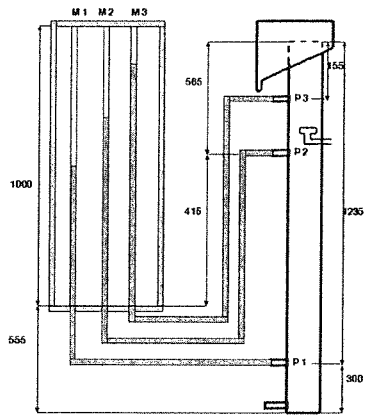
سلول‌های ستونی فلوتاسیون در معادن مختلف کانادا، آمریکا، آفریقا و اروپا آزمایش شده و نتایج رضایت بخشی را در پی داشته است[٦]. با توجه به مزایای سلول‌های ستونی نسبت به سلول‌های مکانیکی، در اولین گام برای ارزیابی جایگزینی سلول‌های ستونی به جای سلول‌های مکانیکی رایج، یک سلول ستونی در مقیاس آزمایشگاهی با قطر و ارتفاع به ترتیب ۷/٤ و ۱۵۳ سانتی‌متر از جنس پلکسی گلاس طراحی و ساخته شد. سیستم توزیع حباب شامل یک حباب ساز فلزی مشبّک با پوشش پارچهٔ فیلتری است که به منبع تغذیه کننده هوای فشرده متصل شده است و برای اندازه گیری نرخ جریان هوای دمیده شده در ستون از هواسنج به همراه شیر تنظیم کننده استفاده شده است. سیستم توزیع آب شستشو نیز شامل یک سری دوایر متحدالمرکز از جنس لولهٔ مویین مسی است که به منبع تغذیه آب شستشو متصل شده و برای اندازه گیری نرخ جریان آب شستشو از یک فلومتر آب، همراه با یک شیر تنظیم کننده استفاده شده است. با توجه به این که کنترل نرخ جریان ته ریز یکی از مهم‌ترین پارامترهای عملیاتی در فلوتاسیون ستونی است برای تنظیم نرخ ته ریز از یک پمپ با دور متغیر استفاده شده است[۷]. برای اندازه گیری پارامترهای هیدرو دینامیکی ستون نظیر ماندگیِ گاز در ناحیه جمع آوری،دانسیته ناحیه جمع آوری و ناحیه کف و ارتفاع ناحیه کف، از آرایش

سه گانهٔ مانومترها حاوی آب استفاده شد که با اندازه گیری ارتفاع آب درون آنها می توان مقادیر پارامترهای فوق را محاسبه کرد. شکل(۱) آرایش مانومترها را نشان می دهد. همچنین مقادیر نرخ بایاس(جریان رو به پایین خالص آبی که از میان کف می گذرد) و زمان ماند متوسط نیز بر اساس پارامترهای دیگر محاسبه شده است.

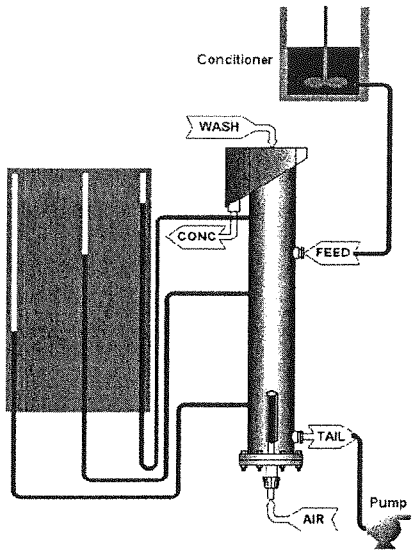
۲- آزمایش ها

۲-۱- روش انجام آزمایش‌ها

تأثیر پارامترهای عملیاتی, نرخ ته ریز(Ju cm/s), نرخ هوادهی (Jg cm/s), نرخ آب شستشو (Jw cm/s) و مقدار کلکتور- کف ساز بر عملکرد هیدرودینامیکی و متالورژیکی سلول بررسی شد. آزمایش‌ها بر اساس تغییر یک متغیر و ثابت نگه داشتن سایر متغیرها به روش پیوسته انجام شد. بار اولیه از محل بار اولیه سلول‌های رافر کارخانه تهیه شده است. در تمامی آزمایش ها بار اولیه با درصد جامد ۲۵ به مدت ۱۵ دقیقه در pH=۱۰/۵ و با مقدار ۸۰۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم بعنوان بازداشت کننده آماده سازی و با دبی ۱/۲ لیتر بردقیقه به درون سلول تزریق شده است. شکل(۲) سیستم طراحی شده برای انجام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. پس از گذشت ۱۰ دقیقه (سه برابر زمان ماند اسمی سلول) به مدت ۱۵ دقیقه در فواصل ۵ دقیقه‌ای از جریان‌های ته‌ریز و سرریز نمونه برداری و اعداد روی مانومترها خوانده شد، و در نهایت، سه نمونهٔ گرفته شده از هر جریان با هم مخلوط و میانگین اعداد به عنوان نمونهٔ نهایی و اعداد نهایی مانومترها ثبت شد.



شکل (۱): ستون به همراه مانومترهای آب (اعداد برحسب میلی‌متر)



شکل (۲): طراحی مدار برای انجام آزمایش‌ها

۲-۲- آزمایش های ته ریز

دبی ته‌ریز یکی از موثرترین پارامترهای تنظیم عملیات فلوتاسیون ستونی است که تغییر کوچکی در میزان آن، به سرعت بر عملکرد سیستم تأثیر می گذارد. کنترل نرخ جریان ته ریز بخصوص در نرخ جریان‌های کم، که در سلول آزمایشگاهی وجود دارد، مشکل است. آزمایش‌های ته ریز, در چهار دبی, ۱/٤, ۱/۵۵, ۱/۷ و ۱/۸ لیتر بر دقیقه و تحت شرایط زیر انجام گرفته است:

مقدار کلکتور- کف ساز(Berol+Asam با نسبت یک به یک): ٤۰۰ گرم بر تن

دبی هوا: ۱/٤ لیتر بر دقیقه

دبی آب شستشو: ۱ لیتر بر دقیقه

جدول(۲) نتایج آزمایش‌های ته ریز را نشان می‌دهد.

۲-۳- آزمایش‌های هوا

تغییرات نرخ هوادهی با رژیم جریان درون، سلول ارتباط مستقیم دارد. در ابتدا با افزایش نرخ گاز دهی میزان ماندگی گاز به صورت خطی افزایش می یابد. این ناحیه، مشخصه توزیع همگن حباب‌ها با ابعاد و نرخ صعود یکسان است که رژیم جریان حبابی آرام نامیده می‌شود. در مقدار مشخصی از نرخ گازدهی , ماندگی گاز درناحیه جمع آوری منحرف و

جدول (۲): مقادیر پارامترهای مختلف برای سطوح مختلف دبی ته‌ریز

پارامتر			دبی ته ریز (لیتر بر دقیقه)			
			۱/٤	۱/۵۵	۱/۷	۱/۸
ماندگی ظاهری در ناحیه جمع آوری(درصد)			۱۳/٤۳۳	۲۳/۸۸۱	۳۷/۳۱۳	٦٤/۱۷۹
دانسیته حجمی ناحیه جمع آوری(گرم بر سانتی‌متر مکعب)			۰/۸٦٦	۰/۷٦۱	۰/٦۲۷	۰/۳۵۸
دانسیته حجمی ناحیه کف(گرم بر سانتی‌متر مکعب)			۰/۱٦۱	۰/۲۲٦	۰/۲۵۸	۰/۲۹۰
ارتفاع ناحیه کف(سانتی‌متر)			۳۸/۹۱٤	٤۵/۷۷۵	۵٤/۰۰۷	٦۹/۸۰۵
نرخ بایاس(سانتی‌متر بر ثانیه)			۰/۰۷۸	۰/۱۳۷	۰/۱۹۵	۰/۲۳٤
زمان ماند میانگین دقیقه)			۲/۸۲۷	۲/۲٤٦	۱/٦۸٦	۰/۹۱۰
Fe	بار اولیه	عیار(درصد)	٦۳/۷	٦۳/۷	٦۳/۷	٦۳/۷
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	٦٦/٤۱	٦٦/۰۸	٦۳/۸٤	٦۳/۸۸
		بازیابی(درصد)	۷۹/۸۸	۸٤/٦۱	۹۸/۵۸	۹۸/۹۲
	شناور	عیار(درصد)	۵٤/۸۲	۵۳/۱۷	۵۵/۲۷	۵۰/٦۳
		بازیابی(درصد)	۲۰/۱۲	۱۵/۳۹	۱/٤۲	۱/۰۸
P	بار اولیه	عیار(درصد)	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷	۰/۱۳۷
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۷٤	۰/۰٦۵
		بازیابی(درصد)	۲۳/۳٤	۲٦/۲۸	۵۱/۰۲	٤۵/۱۰
	شناور	عیار(درصد)	۱/۲۱۵	۱/۳۱۵	۱/۲۱۲	۱/۵۲۲
		بازیابی(درصد)	۷٦/٦٦	۷۳/۷۲	٤۸/۹۸	۵٤/۹۰
			۳٦/۲۱۷	۳۳/۸٦۱	۲/٤۰۲	۳/۰۹۷

ناپایدار می‌شود و جریان به صورت حباب‌های بزرگ در می‌آید که با سرعت به بالا می‌رود و آب را به سمت پایین جابه‌جا می‌کند که رژیم جریان آشفته نامیده می‌شود[۷]. همچنین افزایش نرخ هوا باعث افزایش میزان سر ریز می‌شود و برای تنظیم شرایط پایدار بایستی نرخ آب شستشو را افزایش داد[۸]. کنترل نرخ گازدهی معمول‌ترین روش کنترل عیار و بازیابی است. تغییر نرخ گازدهی به سرعت تاثیر خود را در عملکرد سلول نشان می‌دهد. نرخ بهینه سرعت هوا, به اندازه حباب‌ها بستگی دارد. افزایش نرخ جریان هوا باعث کاهش عیار محصول کف, افزایش بازیابی جامد در بخش شناور و کاهش درصد جامد در ستون می‌شود [۸]. آزمایش‌های هوا در ۵ سطح هوادهی ,۱/٤,.۱, ۲/۷, ۳ و۳/۸ لیتر بر دقیقه و تحت شرایط زیر انجام گرفته است:

مقدار کلکتور- کف ساز(Berol+Asam با نسبت یک به یک): ٤۰۰ گرم بر تن

دبی ته ریز : ۱/۵۵ لیتر بر دقیقه

دبی آب شستشو : یک لیتر بر دقیقه

نتایج آزمایش‌های هوا در جدول (۳) درج شده است.

۲-٤- آزمایش‌های آب شستشو

استفاده از آب شستشو از مزایای منحصر به فرد ستون فلوتاسیون است. آب شستشو تاثیر مطلوبی بر عیار دارد، گرچه این تاثیر ممکن است مثبت یا منفی باشد. افزایش آب شستشو باعث انتقال ذرات غیرانتخابی به پالپ می‌شود، اما اگر نرخ آب شستشو از حد معینی بیشتر شود ممکن است باعث ایجاد اختلاط بیش از حد در کف شده و ذرات غیرانتخابی به کنسانتره راه پیدا کند [۷].

چهار آزمایش آب شستشو با دبی های, ۰/۸ ,۱ ,۱/۱ و۱/۲ لیتر بر دقیقه انجام گرفته است. در تمامی این آزمایش‌ها شرایط ثابت زیر حاکم بوده است:

مقدار کلکتور- کف ساز(Berol+Asam با نسبت یک به یک):
۴۰۰ گرم بر تن
دبی ته ریز : ۱/۵۵ لیتر بر دقیقه
دبی هوا : ۱/۴ لیتر بر دقیقه

نتایج آزمایش‌های آب شستشو در جدول(۴) آمده است.

جدول (۳): مقادیر پارامترهای مختلف برای سطوح مختلف دبی هوادهی

پارامتر			دبی ته ریز (لیتر بر دقیقه)				
			۱	۱/۴	۲/۷	۳	۳/۸
ماندگی ظاهری در ناحیه جمع آوری(درصد)			۴/۴۸۷	۲۰/۸۶۹	۴۹/۲۵۴	۴۷/۷۶۱	۴۹/۲۵۴
دانسیته حجمی ناحیه جمع آوری(گرم بر سانتی متر مکعب)			۰/۹۵۵	۰/۷۹۱	۰/۵۰۷	۰/۵۲۲	/۵۰۷
دانسیته حجمی ناحیه کف(گرم بر سانتی متر مکعب)			۰/۰۶۵	۰/۲۱۳	۰/۱۸۷	۰/۱۶۱	۰/۱۶۱
ارتفاع ناحیه کف(سانتی متر)			۳۸/۷	۵۰/۴۹۶	۴۴/۲۳۶	۴۷/۱۲	۴۹/۶۰۴
نرخ با یاس(سانتی متر بر ثانیه)			۰/۱۵۶	۰/۱۹۵	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۹۵
زمان ماند میانگین(دقیقه)			۲/۷۳	۲/۱۲۸	۱/۴۵۰	۱/۴۹۳	۱/۳۶۵
Fe	بار اولیه	عیار(درصد)	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶	۶۲/۵۶
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۶۳/۴۷	۶۴/۶۶	۶۵/۲۳	۶۳/۰۰	۶۳/۵۲
		بازیابی(درصد)	۸۳/۸۴	۷۱/۷۶	۲۹/۴۳	۹۱/۹۱	۹۰/۳۲
	شناور	عیار(درصد)	۵۸/۲۳	۵۷/۷۹	۶۱/۵۱	۵۷/۹۶	۵۴/۸۳
		بازیابی(درصد)	۱۶/۱۶	۲۸/۲۴	۷۰/۵۷	۸/۰۹	۹/۶۸
P	بار اولیه	عیار(درصد)	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵	۰/۱۸۵
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۸۵	۰/۱۵۵	۰/۱۲۵
		بازیابی(درصد)	۲۴/۶۳	۳۹/۸۹	۱۲/۱۶	۸۱/۵۲	۶۴/۸۶
	شناور	عیار(درصد)	۱/۵۷۵	۱/۴۳۵	۰/۲۲۱	۱/۲۶۵	۱/۱۶۲
		بازیابی(درصد)	۷۵/۳۷	۶۰/۱۱	۸۷/۸۴	۱۸/۴۸	۳۵/۱۴
			۱۱/۳۰۹	۲۱/۹۲۹	۱۱/۳۳۴	۶/۰۴	۱۲/۸۴۳

۲-۵- آزمایش‌های کف ساز

مقدار و نوع کف ساز نقش مهمی را در عملکرد هیدرودینامیکی و متالورژیکی فرآیند فلوتاسیون ستونی دارد. افزایش مقدار کف ساز باعث, کاهش نرخ بایاس, کاهش درصد جامد در سر ریز, افزایش ماندگی گاز در ناحیه جمع آوری, کاهش ماندگی گاز در ناحیه کف, کاهش نرخ هوای ماکزیمم و کاهش ابعاد حباب هوا می‌شود. در کارخانه، میزان مصرف کف‌ساز بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ گرم بر تن است.

برای بررسی تأثیر مقدار کف ساز در محدودهٔ یاد شده، چهار آزمایش با مقادیر ۴۰۰, ۳۵۰ و ۳۰۰ گرم(Berol+Asam با نسبت یک به یک) بر تن صورت گرفته است. سایر شرایط ثابت آزمایش در زیر آمده است:

دبی آب شستشو : ۱ لیتر بر دقیقه
دبی ته ریز : ۱/۵۵
دبی هوا : ۱/۴ لیتر بر دقیقه

نتایج آزمایش‌های در جداول(۵) آمده است.

جدول (۴) مقادیر پارامترهای مختلف برای سطوح مختلف دبی آب شستشو

پارامتر			دبی ته ریز (لیتر بر دقیقه)			
			۰/۸	۱	۱/۱	۱/۲
ماندگی ظاهری در ناحیه جمع آوری(درصد)			۱۶/۴۱۸	۲۳/۸۸۱	۳۵/۰۷۵	۳۲/۰۹۰
دانسیته حجمی ناحیه جمع آوری(گرم بر سانتی متر مکعب)			۰/۸۳۶	۰/۷۶۱	۰/۶۴۹	۰/۶۷۹
دانسیته حجمی ناحیه کف(گرم بر سانتی متر مکعب)			۰/۱۹۴	۰/۲۲۶	۰/۲۵۸۱	۰/۲۶۴۵
ارتفاع ناحیه کف(سانتی متر)			۵۴/۰۶۴	۵۳/۲۴۶	۵۰/۳۱۵	۵۳/۹۵۶
نرخ بایاس(سانتی متر بر ثانیه)			۰/۰۷۸	۰/۱۵۶	۰/۱۹۵	۰/۱۱۷
زمان ماند میانگین(دقیقه)			۲/۷۳	۲/۱۷۵	۱/۷۴۶	۲/۰۷
Fe	بار اولیه	عیار(درصد)	۶۳/۱۷	۶۳/۱۷	۶۳/۱۷	۶۳/۱۷
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۶۵/۵	۶۵/۳	۶۵	۶۵/۲۱
		بازیابی(درصد)	۹۰/۸۴	۹۱/۰۵	۹۶/۰۲	۹۰/۰۱
	شناور	عیار(درصد)	۴۶/۶۹	۴۷/۴۳	۳۷/۶۲	۴۹/۲۸
		بازیابی(درصد)	۹/۱۶	۸/۹۵	۳/۹۸	۹/۹۹
P	بار اولیه	عیار(درصد)	۰/۳۴.	۰/۳۴.	۰/۳۴.	۰/۳۴.
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۰/۰۷	۰/۰۷۸	۰/۱۲۸	۰/۰۷۵
		بازیابی(درصد)	۱۶/۰۸	۱۸/۲۷	۳۲/۵۲	۱۵/۵۷
	شناور	عیار(درصد)	۱/۳۰۲	۱/۶۳۴	۱/۶۸۵	۰/۹۷۶.
		بازیابی(درصد)	۸۲/۹۲	۸۱/۷۳	۶۷/۴۸	۸۴/۴۳
کارایی جدایش(درصد)			۳۳/۱۲	۳۰/۴۳۹	۲۷/۷۰۶	۲۸/۸۵۹

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

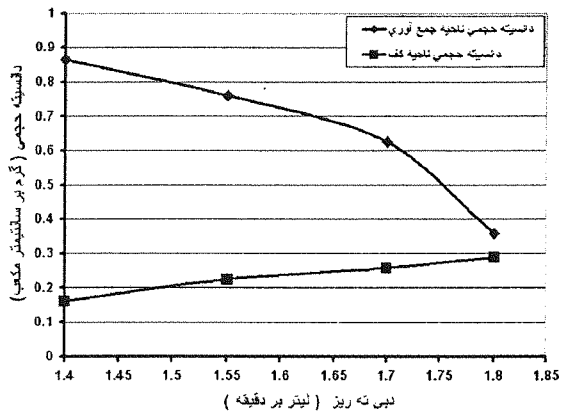
۳-۱- آزمایشهای ته ریز

همان طور که در جدول(۲) مشاهده می شود با افزایش دبی ته‌ریز نرخ آبی که از فصل مشترک کف- پالپ گذشته وطول ناحیه جمع آوری را طی می کند، افزایش می یابد و در نتیجه، سرعت حرکت حباب‌هایی که در خلاف جهت آب، رو به بالا حرکت می کنند کند شده و ماندگی گاز افزایش می یابد. زمانی که دبی ته ریز خیلی زیاد است، ماندگی گاز نیز بسیار زیاد شده و جریان محیط از سمت جریان پیستونی به سمت یک جریان با اختلاط زیاد سوق می یابد. با افزایش دبی ته‌ریز نرخ بایاس نیز افزایش می یابد و در نتیجه ماندگی گاز در ناحیه کف کاهش می یابد. افزایش ماندگی گاز در ناحیه جمع آوری و کاهش آن در ناحیه کف به ترتیب باعث کاهش و افزایش دانسیته حجمی در این دو ناحیه می شود (شکل۳). همان‌طور که در شکل(۳) مشاهده می‌شود دانسیته دو ناحیه جمع آوری و کف به سمت هم نزدیک می شود که این امر، در واقع، باعث توسعهٔ ناحیه کف (افزایش ارتفاع ناحیه کف) می‌شود. همچنین با افزایش ماندگی گاز در ناحیهٔ جمع‌آوری، حجم موثر سلول کاهش یافته و در نتیجه، زمان ماند نیز کاهش می‌یابد. افزایش نرخ ته ریز باعث افزایش نرخ بایاس شده و در نتیجهٔ برخورد این آب با حباب‌هایی که به سمت بالا می‌رود بار متصل به حباب ها از آنها جدا می‌شود. از طرف دیگر، افزایش نرخ ته ریز باعث کاهش زمان ماند نیز می‌شود که در نتیجه آن، ذرات با قابلیت شناور شدن فرصت چندانی برای شناور شدن را پیدا نمی‌کند. برآیند عوامل فوق باعث افزایش بازیابی آهن و فسفر در ته ریز می‌شود(شکل ۵). همچنین با افزایش نرخ بایاس و در نتیجهٔ افزایش ارتفاع ناحیه کف , ذرات ناخواسته کمتر وارد سر ریز می‌شود که در آن صورت، عیار فسفر در سرریز افزایش می یابد(شکل ٤).

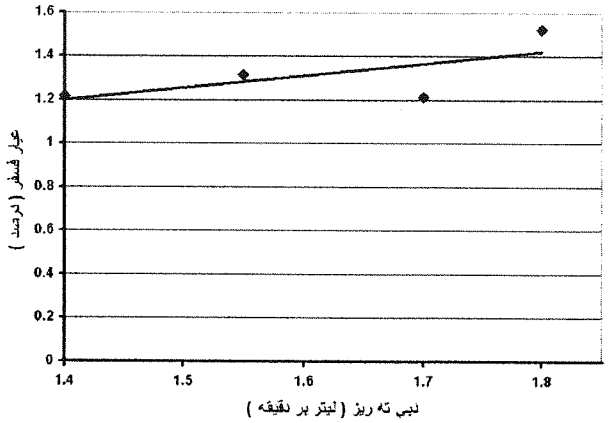
جدول (۵): مقادیر پارامترهای مختلف برای سطوح مختلف مقدار کلکتور- کف ساز(Berol+Asam با نسبت یک به یک)

پارامتر			مقدار کلکتور کف ساز (گرم بر تن جامد خشک خوراک فلوتاسیون)			
			۳۰۰		۳۵۰	۴۰۰
			تکرار۱	تکرار۲		
ماندگی ظاهری در ناحیه جمع آوری(درصد)			۱۷/۹۱۰	۱۹/۴۰۳	۱۹/۴۰۳	۲۲/۳۸۸
دانسیته حجمی ناحیه جمع آوری(گرم بر سانتی‌متر مکعب)			۰/۸۲۱	۰/۸۰۶	۰/۸۰۶	۰/۷۷۶
دانسیته حجمی ناحیه کف(گرم بر سانتی‌متر مکعب)			۰/۱۶۱	۰/۱۶۱	۰/۲۲۶	۰/۲۵۲
ارتفاع ناحیه کف(سانتی‌متر)			۴۳/۷۸۵	۴۰/۳۸۸	۵۱/۷۷۴	۴۸/۳۳۳
نرخ بایاس(سانتی‌متر بر ثانیه)			۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶
زمان ماند میانگین(دقیقه)			۲/۳۴۶	۲/۳۰۳	۲/۳۰۳	۲/۲۱۸
Fe	بار اولیه	عیار(درصد)	۶۲/۳۶	۶۴/۶۹	۶۵/۴۲	۶۵/۱۲
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۶۶/۴۹	۶۶/۵۴	۶۶/۵	۶۶/۹۲
		بازیابی(درصد)	۸۵/۸۷	۹۳/۴۵	۹۲/۹۲	۹۱/۴۸
	شناور	عیار(درصد)	۴۵/۲۷	۴۶/۳۲	۵۳/۹۳	۵۰/۵۳
		بازیابی(درصد)	۱۴/۱۳	۶/۵۵	۷/۰۸	۸/۵۲
P	بار اولیه	عیار(درصد)	۰/۲	۰/۲۷	۰/۳	۰/۳
		بازیابی(درصد)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
	ته ریز	عیار(درصد)	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱	۰/۰۵
		بازیابی(درصد)	۲۷/۵۱	۱۶/۳۱	۲۴/۰۹	۱۲/۱۳
	شناور	عیار(درصد)	۱/۴۸	۰/۹۷۰	۰/۸۲	۰/۹۸
		بازیابی(درصد)	۷۲/۴۹	۸۳/۶۹	۷۵/۹۱	۸۷/۸۷
بازیابی(درصد)			۴۸/۸۷	۳۴/۲۵	۲۳/۰۶	۳۵/۲۹

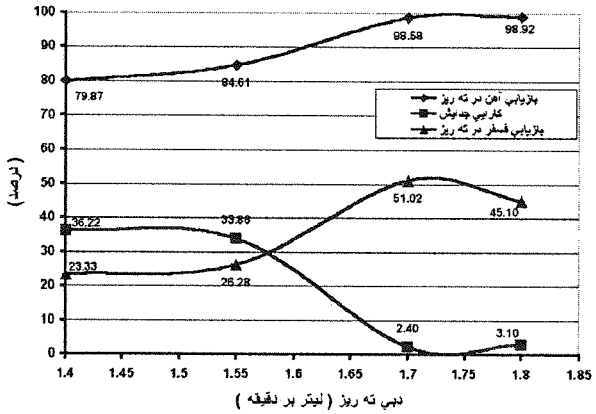
با توجه به این که عیار فسفر در محصول نهایی بایستی در حد اقل ممکن باشد، بنابراین یکی از مهم ترین فاکتورهای محدود کننده عیار فسفر است. همچنان که مشاهده می شود در دبی ۱/۴ لیتر بر دقیقه هر چند عیار فسفر کمترین مقدار را دارد(۰/۰۳۵ درصد) و حتی کمتر از میزان متوسط آن در محصول هماتیت کارخانه است و هم چنین کارایی جدایش ، (۳۶٪) مناسب به نظر می‌رسد، اما بازیابی آهن پایین است. در دبی های ۱/۷ و ۱/۸ لیتر بر دقیقه بازیابی آهن بسیار مطلوب است ولی عیار آن پایین و عیار فسفر بالاست و در واقع جدایش مطلوبی صورت نگرفته است. براین اساس و با توجه به شکل (۵) آزمایش با دبی ته ریز ۱/۵۵ به عنوان آزمایش بهینه انتخاب شد و مراحل بعدی آزمایش‌ها با این دبی ته ریز انجام گرفت.



شکل (۳): تاثیر دبی ته ریز بر دانسیته نواحی مختلف ستون



شکل (۴): تاثیر دبی ته ریز بر عیار فسفر در سرریز

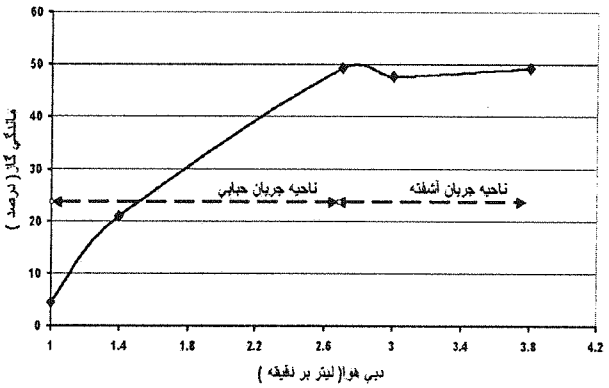


شکل (۵): شرایط بهینه در آزمایش‌های ته ریز

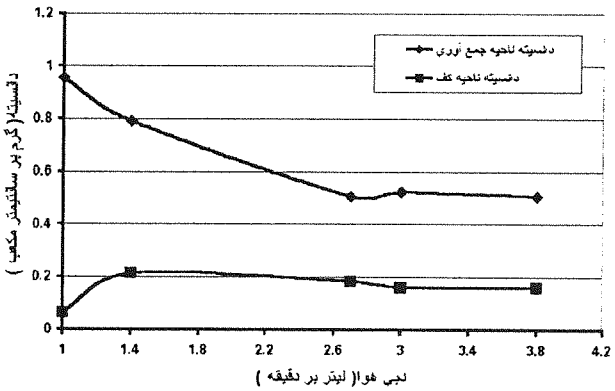
۳-۲-آزمایش‌های هوا

تأثیر افزایش دبی هوا بر ماندگی گاز درشکل (٦) نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشاهده می شود زمانی که دبی هوا از ۱ لیتر بر دقیقه تا ۲/۷ لیتر بر دقیقه افزایش می یابد ماندگی گاز به صورت خطی افزایش می یابد و سپس در مقادیر بیش از ۲/۷ لیتر بر دقیقه منحرف می شود. قسمت خطی منحنی، مشخصهٔ توزیع همگن حباب‌ها با ابعاد و نرخ صعود تقریباً یکسان است. این رژیم جریان، جریان حبابی نامیده می‌شود. زمانی که نرخ هوا به بیشتر از۲/۷ لیتر بر دقیقه می رسد دیگر ماندگی گاز افزایش نمی یابد و در واقع، پدیدهٔ ماندگی گاز در جا رخ می دهد که به انتقال از جریان حبابی به جریان آشفته مربوط است. در این حالت، جریان به صورت حباب‌های بزرگ در می آید که به سرعت به سمت بالا می رود و آب و حباب‌های ریز را به سمت پایین جابه‌جا می‌کند و در واقع، می توان گفت کران بالای دبی هوا ۲/۷ لیتر بر دقیقه(Jg=۱/۰۵۳cm/s) است. با افزایش دبی هوا , دانسیته ناحیه جمع آوری کاهش و دانسیته ناحیه کف افزایش می یابد. افزایش دانسیته ناحیه کف به خاطر افزایش میزان آبی است که از ناحیه جمع آوری در اثر حرکت به دنبال حباب‌ها, از سطح مشترک عبور کرده و به ناحیه کف راه پیدا می کند. این کاهش و افزایش دانسیته نواحی جمع آوری و کف فقط در محدوده جریان حبابی رخ می‌دهد و در محدودهٔ جریان آشفته به علت ماندگی گاز درجا تغییرات چندانی ندارد (شکل ۷). با افزایش دبی هوا در ابتدا سطح مشترک کف- پالپ به سمت بالای ستون حرکت می کند؛ یعنی ارتفاع کف از مقدار اولیه قبل از افزایش هوا کمتر می شود؛ اما بعد از پایدار شدن سیستم و سپس در اثر افزایش پالپی که در اثر حرکت به دنبال حباب‌ها وارد ناحیه کف می شود, سطح مشترک کف- پالپ پایین می‌آید و ارتفاع کف افزایش می‌یابد (جدول۳). در محدودهٔ جریان حبابی به خاطر افزایش آبی که به دنبال حباب ها وارد ناحیه کف و از آنجا وارد سر ریز می‌شود، نرخ باياس کاهش می‌یابد. در محدودهٔ جریان آشفته، حباب‌های بزرگ تشکیل شده و با حرکت به سمت بالا, آب و حباب‌های ریز را به سمت پایین جابه‌جا می‌کند که این امر باعث افزایش نرخ باياس می‌شود(جدول۳). با افزایش دبی هوا ماندگی گاز و ارتفاع ناحیهٔ کف افزایش یافته و در نتیجه، حجم موثر ناحیه جمع آوری کاهش می‌یابد که این امر باعث کاهش زمان ماند می‌شود (جدول۳).با افزایش نرخ هوا و به دنبال آن افزایش پالپی که به دنبال حباب‌ها وارد کف می‌شود، عیار فسفر و آهن در سر ریز کاهش (جدول۳) و بازیابی آنها در سر ریز افزایش یافته است. البته این مطلب فقط در ناحیه جریان حبابی صادق است. در ناحیهٔ جریان آشفته، حباب‌های بزرگ تشکیل شده و با حرکت به سمت بالا، پالپ را به سمت پایین رانده و در نتیجه، در این ناحیه، بازیابی آهن و فسفر در سر ریز کاهش (شکل ۸) و حتی عیار فسفر نیز افزایش می‌یابد؛ اما در مورد عیار آهن، تأثیر خود را نشان نداده است. همچنین با افزایش دبی هوا بازیابی آهن و فسفر در ته‌ریز در ناحیه حبابی کاهش می یابد، اما در ناحیه آشفته به دلایلی که بیان شد بازیابی افزایش می یابد

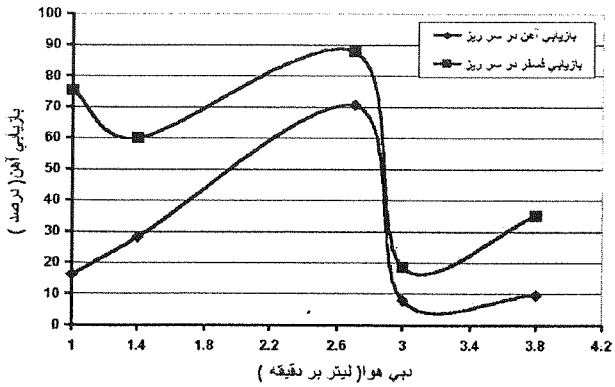
(شکل ۹). عیار آهن در ته ریز در محدودهٔ جریان حبابی با افزایش دبی هوا افزایش می‌یابد؛ اما در ناحیهٔ آشفته با افزایش بازیابی آهن ، عیار آن کاهش یافته است (جدول (۳)). همان‌طور که گفته شد یکی از عوامل محدود کننده در تعیین شرایط بهینه, عیار فسفر است. تنها در دو آزمایش با دبی هوادهی ۱ و ۱/٤ لیتر بر دقیقه؛ که عیار های فسفر در ته ریز به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۸ درصد است، شرایط تقریباً مطلوبی وجود دارد. در دبی هوادهی ۱ لیتر بر دقیقه بازیابی آهن در ته ریز بالاتر و بازیابی فسفر در ته ریزکمتر از دبی هوادهی ۱/٤ لیتر بر دقیقه است؛ لیکن عیار آهن کمتر و کارآیی جدایش پایین است (شکل ۹). بنابر این، نتایج آزمایش با دبی هوادهی ۱/٤ لیتر بر دقیقه به عنوان نتایج بهینه انتخاب و دبی ۱/٤ لیتر هوا به عنوان سطح بهینه هوا برای آزمایش‌های بعدی در نظر گرفته شده است.



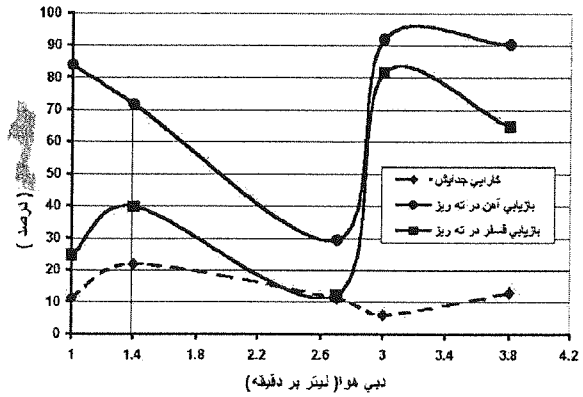
شکل (۶): تاثیر دبی هوا بر ماندگی گاز



شکل (۷): تاثیر دبی هوا بر دانسیته نواحی مختلف ستون



شکل (۸): تاثیر دبی هوا بر بازیابی آهن و فسفر در سرریز



شکل (۹): شرایط بهینه در آزمایش‌های هوا

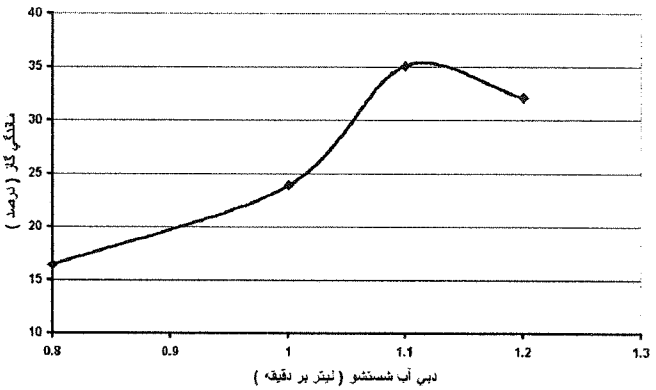
۳-۳- آزمایشهای آب شستشو

با افزایش دبی آب شستشو، نرخ بایاس افزایش می‌یابد (جدول ٤) و در نتیجه، سرعت حرکت رو به بالای حباب‌ها درناحیه جمع آوری کاهش یافته و ماندگی گاز در این ناحیه افزایش می‌یابد؛ اما همچنان که در شکل(۱۰) مشاهده می‌شود، دراین زمینه محدودیت وجود دارد به طوری که در مقادیر بالاتر از ۱/۱ لیتر بر دقیقه آب شستشو، ماندگی گاز در ناحیه جمع‌آوری کاهش می‌یابد. این پدیده شاید به علت اغتشاشی باشد که در مقادیر بالای آب شستشو در ناحیه کف ایجاد می شود و در نتیجه، آب شستشو به صورت مدار کوتاه وارد سر ریز شده و نرخ بایاس از مقدار قبلی خود کمتر می شود.احتمالاً با افزایش بیش از اندازهٔ دبی آب شستشو، آب شستشو به صورت جت تخلیه می‌شود که شاید بتوان با تغییراتی در

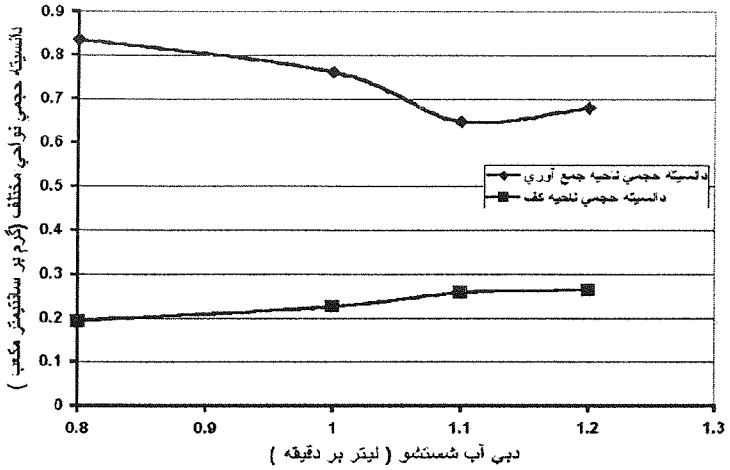
سیستم آب شستشو پدیده اغتشاش را کنترل و یا به دبی های بالاتری انتقال داد.

تأثیر دبی آب شستشو بر روی دانسیته نواحی مختلف ستون در شکل(۱۱) نمایش داده شده است. با افزایش دبی آب شستشو ودر پی آن افزایش ماندگی گاز در ناحیهٔ جمع آوری، دانسیته حجمی در این ناحیه کاهش می‌یابد؛ اما در ناحیهٔ کف با افزایش دبی آب شستشو ماندگی گاز کاهش می یابد که این مسأله به دلیل افزایش نسبت آب به هوا در این ناحیه است. با افزایش دبی آب، حباب‌های بزرگ در ناحیهٔ کف ترکیده شده و در نتیجه، ماندگی گاز در ناحیهٔ کف کاهش می یابد. با افزایش دبی آب شستشو و افزایش حجم آب در ناحیه کف، فصل مشترک کف، پالپ به سمت بالا حرکت کرده و درنتیجه، ارتفاع ناحیه کف کاهش می یابد(جدول٤) اما در دبی‌های بیشتر از ۱/۱ لیتر بر دقیقه در ناحیهٔ کف، اغتشاش ایجاد و آب شستشو مدار کوتاه می زند و ارتفاع کف نسبت به مقدار قبلی خود (دبی۱/۱ لیتر بر دقیقه) افزایش می‌یابد. با افزایش دبی آب شستشو ودر پی آن افزایش ماندگی گاز در ناحیهٔ جمع‌آوری، زمان ماند کاهش می یابد؛ اما در محدودهٔ اغتشاش ناحیه کف؛ که ماندگی گاز در ناحیهٔ جمع‌آوری دچار کاهش می‌شود، زمان ماند افزایش می‌یابد.

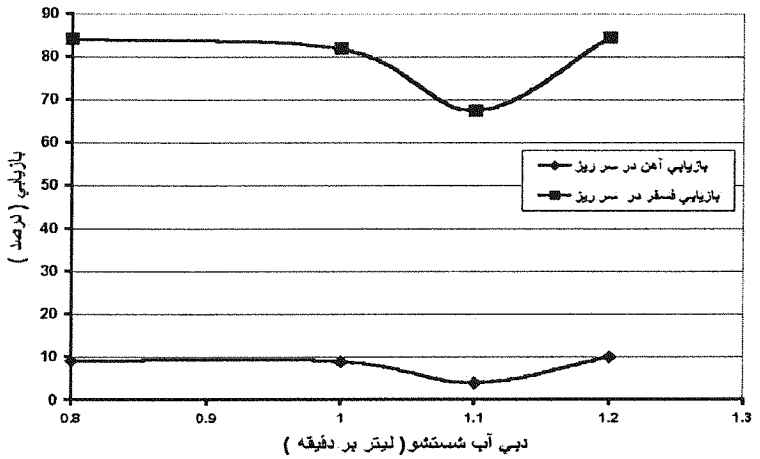
به طورکلی می‌توان گفت افزایش آب شستشو در محدودهٔ ۰/۸ تا ۱/۲ لیتر بردقیقه تأثیر تقریباً کند و نامحسوسی بر عملکرد متالوژیکی سلول داشته است. افزایش آب شست‌وشو باعث کاهش زمانِ ماند و افزایش نرخ باياس شده و در نتیجه، بازیابی در ته ریز افزایش و در سر ریز کاهش می یابد، اما همان اغتشاش و اختلاط که در ناحیه کف بدان اشاره شد در ادامه باعث افزایش نرخ انتقال کف و افزایش بازیابی در سر ریز و کاهش در ته ریز می شود(اشکال۱۲و۱۳). با افزایش دبی آب شستشو و در نتیجه شستشوی بهتر کف ، عیار فسفر در سر ریز افزایش می‌یابد؛ اما همچنان که در شکل (١٤) مشاهده می شود در دبی۱/۲ لیتر بر دقیقه؛ که در ناحیه کف اغتشاش ایجاد شده است ، عیار فسفر در سر ریز کاهش می یابد. آزمایش با نرخ آب شستشو۱/۱ لیتر بر دقیقه به خاطر عیار بالای فسفر در ته ریز(۰/۱۲۸ درصد) مطلوب نیست, هر چند بیشترین بازیابی وزنی و بازیآبی آهن را داراست(شکل۱۵). همچنین در دبی آب شستشو ۱/۱ لیتر بر دقیقه پایین ترین درصد کارایی(۲۷/۷ درصد) جدایش مشاهده می شود. در دبی آب شستشو۱/۲ لیتر بر دقیقه با وجود این که عیارها مطلوب و همچنین پایین ترین درصد بازیابی فسفر در ته ریز(۱۵/۵۷درصد) را داریم؛ اما به خاطر شرایط اغتشاشی که در ناحیه کف حاکم است، ممکن است این نتایج موقتی بوده و قابل اعتماد نباشد. دبی‌های آب شستشوی ۰/۸ و ۱ لیتر بر دقیقه شرایط بسیار نزدیکی نسبت به هم دارند، هرچند که در دبی ۰/۸ لیتر بر دقیقه شرایط بهتری بر قرار است، اما چون تنظیم آب شستشو در سطح ۰/۸مشکلات خاص خود را به همراه داشت (به خاطر نرخ پایین آب شستشو در این سطح، فلومتر بسیار حساسیت نشان می‌داد) و بازیابی وزنی در دبی ۱ بیشتر بود، سطح بهینهٔ آب شست وشو برای آزمایش‌های بعدی ۱ لیتر بر دقیقه انتخاب شد(شکل١٦).



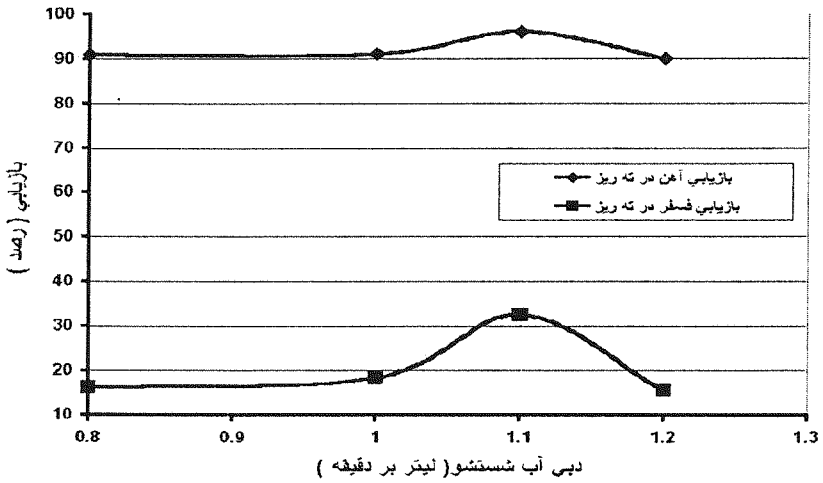
شکل (۱۰): تاثیر دبی آب شستشو بر ماندگی گاز در ناحیه جمع آوری



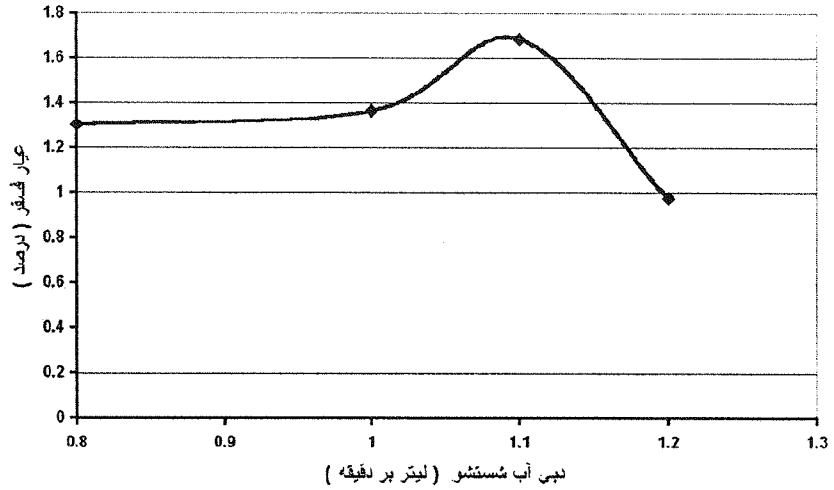
شکل (۱۱): تاثیر دبی آب شستشو بر دانسیته نواحی مختلف ستون



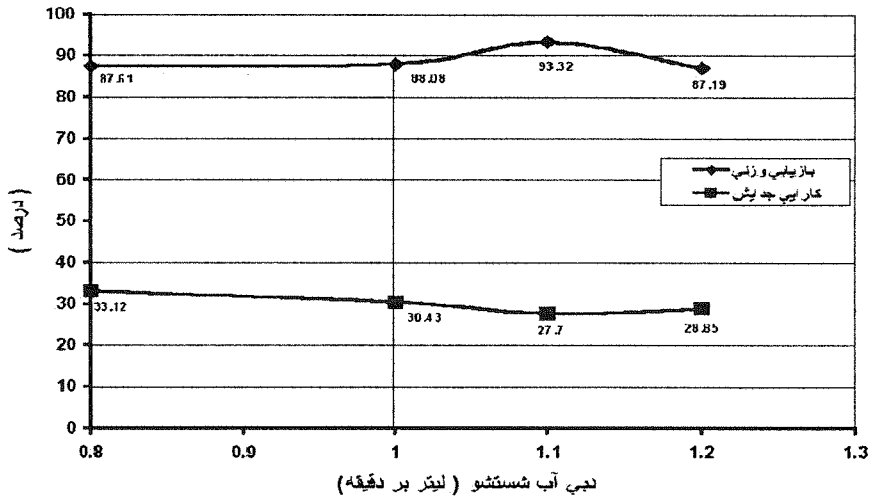
شکل (۱۲): تاثیر دبی آب شستشو بر بازیابی آهن و فسفر در سرریز



شکل (۱۳): تاثیر دبی آب شستشو بر بازیابی آهن و فسفر در ته ریز



شکل (۱۴): تاثیر دبی آب شستشو بر عیار فسفر در سرریز

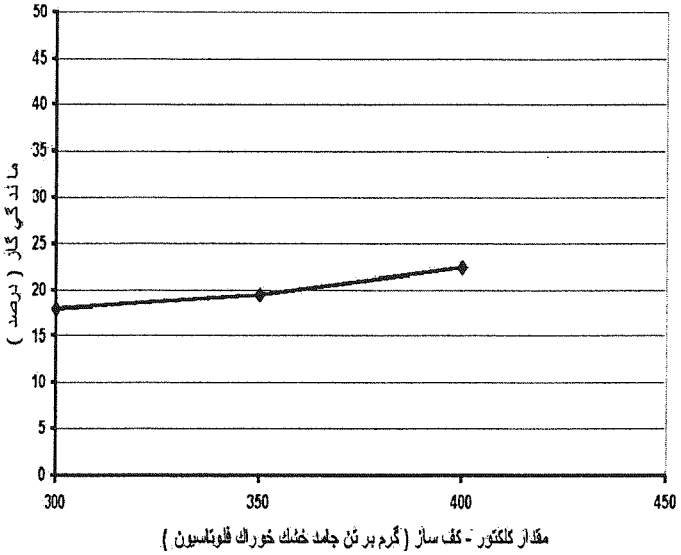


شکل (۱۵): شرایط بهینه در آزمایش‌های آب شستشو

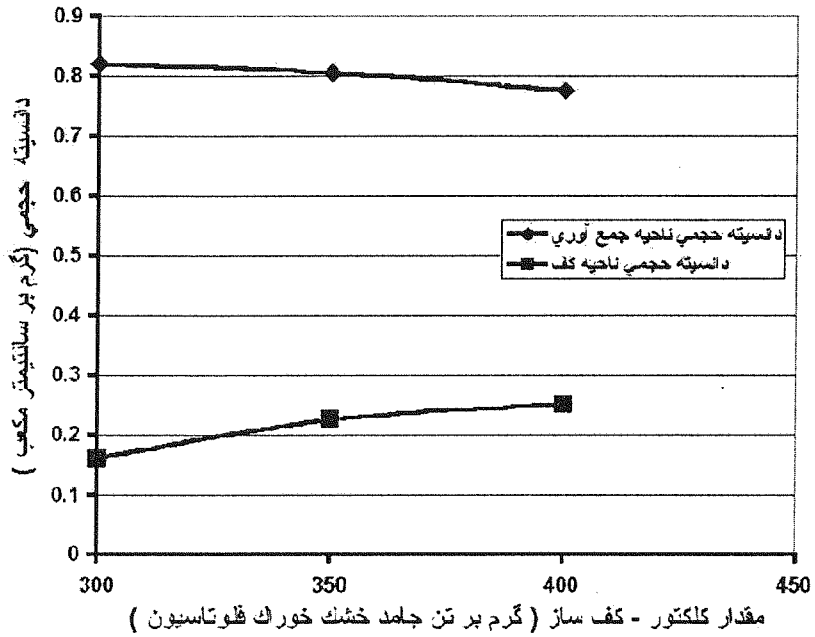
۳-٤- آزمایش‌های کف ساز

با افزایش مقدار کف ساز، ماندگی گاز به طور محسوسی افزایش می‌یابد (شکل۱٦). با افزایش غلظت کف ساز حباب‌های کوچکتر ایجاد می‌شود. این حباب‌های کوچکتر سرعت صعود کمتری دارد و بدین جهت در ناحیهٔ جمع‌آوری تجمع یافته و در نتیجه، ماندگی گاز در ناحیه جمع آوری افزایش می یابد. در یک نرخ گاز دهی معین، حباب‌های کوچکتر باعث عبورنرخ سطحی بیشتر در واحد زمان از فصل مشترک کف، پالپ شده و در نتیجه، میزان آب(پالپ) راه یافته به ناحیهٔ کف در اثر دنباله روی حباب‌ها افزایش می یابد و در نهایت، ماندگی گاز در ناحیهٔ کف کاهش و دانسیته آن افزایش (شکل۱۷) و در نهایت، بازیابی فسفر در سر ریز افزایش می یابد(شکل۱۸). در مقدار ٤۰۰ گرم بر تن، حباب‌های کوچکتری تولید می‌شود؛ و در یک میزان هوادهی معین تعداد حباب‌ها افزایش یافته و در نتیجه، نرخ عبوری حباب‌ها از فصل مشترک کف، پالپ افزایش می یابد. افزایش مقدار عبور حباب‌ها باعث افزایش بازیابی فسفر در سرریز می‌شود؛ لیکن در مقایسه با آزمایش با کف ساز ۳۰۰ گرم بر تن، کارایی جدایش پایین‌تری دارد. در آزمایشِ با مقدار کلکتور، کف ساز ۳۰۰ گرم بر تن، کارایی جدایش بسیار مطلوبی به دست آمده که بیشتر از تمامی آزمایش‌هایی بوده که تا این مرحله انجام

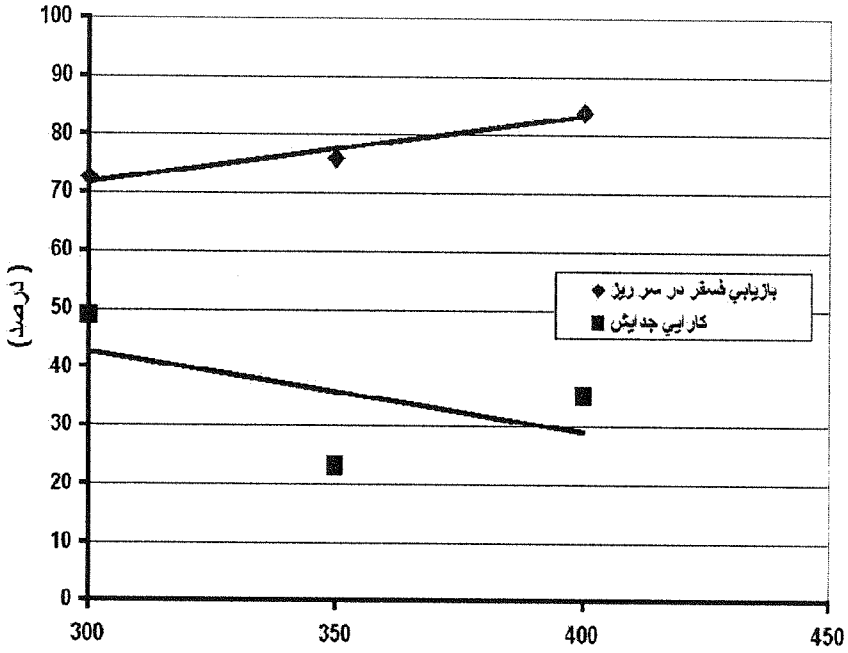
گرفته است. ماندگی گاز ظاهری حاصل شده در ناحیه جمع آوری سلول در این آزمایش برابر ۱۷/۹۱ درصد است که شرایط نسبتاً آرام‌تری را در سلول حاکم می کند. با این وصف، رژیم جریان داخل سلول به رژیم جریان حبابی نزدیک تر می شود.در این شرایط، بخوبی می توان از اختلاف دانسیته مواد قابل شناور(آپاتیت۳/۳) و مواد بازداشت شده(هماتیت۵/۳) استفاده کرد و جدایش مطلوبی را به دست آورد. در آزمایش با مقدار کلکتور، کف ساز ۳۰۰ گرم بر تن, کنسانتره‌ای با عیار مناسب ۰/۰۶. درصد و بازیابی آهن ۸۲/۸۷ در صد حاصل شد. با توجه به مصرف کمتر کف ساز، یک مزیت اساسی است که می‌تواند در مخارج عملیاتی کاهش ایجاد کند از این رو آزمایش با مقدار کلکتور، کف ساز ۳۰۰ گرم برتن به عنوان مقدار بهینه انتخاب شده است. برای حصول اطمینان بیشتر و همچنین نتیجه گیری نهایی، این آزمایش تکرار شده(تکرار شماره ۲) و نتیجه آن در جدول (۵) آمده است. نتایج آزمایش تکرار شده مطلوب بوده و موید این مطلب است که مقدار کف ساز ۳۰۰ گرم بر تن بار اولیه فلوتاسیون فرآیند فلوتاسیون ستونی مناسب تر از مقادیر ۳۵۰ و ۴۰۰ است.



شکل (۱۶): تاثیر مقدار کلکتور کف ساز بر ماندگی گاز



شکل (۱۷): تاثیر مقدار کلکتور کف ساز بر دانسیته حجمی نواحی مختلف ستون



شکل (۱۸): تاثیر مقدار کلکتور کف ساز بر کارایی جدایش و بازیابی فسفر در سرریز

٤- نتیجه‌گیری

با مصرف کلکتور- کف ساز Berol+Asam با نسبت یک به یک و مقدار ۳۰۰ گرم بر تن و شرایط عملیاتی زیر:

زمان آماده سازی بار اولیه: ۱۵ دقیقه

pH: ۱۰ /۵

درصد جامد بار اولیه: ۲۵

دبی ورودی بار اولیه: ۱/۲ لیتر بر دقیقه

مقدار باز داشت کننده(سیلیکات سدیم): ۸۰۰ گرم بر تن

مقادیر بهینه پارامترهای نرخ ته‌ریز(Ju)،نرخ هوا دهی(Jg) و نرخ آب شستشو(Jw) برای سلول به ترتیب در سطوح ۰/٦ ,۰/٥٤٦ و ۰/۳۹ سانتی‌متر بر ثانیه به دست آمده و میانگین عیار، بازیابی و کارایی جدایش در جدول(٦) گزارش شده است. بنابراین، با شرایط عملیاتی فوق الذکر کنسانتره ای با عیار آهن و فسفر به ترتیب٦٦/٥٢درصد و۰/۰٦ درصد و بازیابی آهن و فسفر به ترتیب٨٩/٦٦ و۲۱/۹۱ درصد به دست آمد. در جدول(۷) نتایج عملکرد سلول فلوتاسیون ستونی در شرایط بهینه با مدار فعلی کارخانه فرآوری چادر ملو مقایسه شده است. اطلاعات مربوط به نتایج مدار فلوتاسیون کارخانه از اطلاعات روزانه کارخانه مربوط به سال ۱۳۸۱،استخراج شده است. مشاهده می شود که فلوتاسیون ستونی در یک مرحله وبا زمان ماند تقریبی ۲/۵ دقیقه کنسانتره‌ای، معادل ۹ مرحله فلوتاسیون مکانیکی تولید کرده است.

جدول (۶): نتایج آزمایش‌های با مقدار کلکتور- کف ساز ۳۰۰ گرم

آزمایش		تکرار ۱	تکرار ۲	میانگین
عیار خوراک(٪)	Fe	٦۲/۳٦	٦٤/٦۹	٦۳/٥۳
	P	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲٤
عیار ته ریز(٪)	Fe	٦٦/٤۹	٦٦/٥٤	٦٦/٥۲
	P	۰/۰٦	۰/۰٦	۰/۰٦
عیار سر ریز(٪)	Fe	٤٥/۲۸	٤٦/۳۲	٤٥/۸
	P	۱/٤۸	۰/۹۷	۱/۲۲
بازیابی آهن(٪)	ته ریز	۸٥/۸۷	۹۳/٤٥	۸۹/٦٦
	سر ریز	۱٤/۱۳	٦/٥٥	۱۰/۳٤
بازیابی فسفر(٪)	ته ریز	۲۷/٥۱	۱٦/۳۱	۲۱/۹۱
	سر ریز	۷۲/٤۹	۸۳/٦۹	۷۸/۰۹
کارایی جدایش(٪)		٤۸/۸۷	۳٤/۲٥	٤۱/٥٦

جدول(۷): مقایسه عملکرد متالورژیکی ستون آزمایشگاهی فلوتاسیون و سلول‌های صنعتی (مکانیکی) برای تولید کنسانتره هماتیت

نوع فلوتاسیون	عیار(٪)		بازیابی(٪)	
	Fe	P	Fe	P
صنعتی(مکانیکی در ۹ مرحله)	٦٤/٩٢	۰/۰٦	۹۰/۳۳	۱۱/۵۵
آزمایشگاهی(ستون در یک مرحله)	٦٦/۵۲	۰/۰٦	۸۹/٦٦	۲۱/۹۱
افزایش	+		-	+

۵- تشکر و قدر دانی

از دانشگاه تربیت مدرس, مرکز تحقیقات مواد معدنی ایران و شرکت معدنی و صنعتی چادرملو به خاطر فراهم‌آوری امکانات لازم برای انجام این تحقیق، تشکر و قدر دانی می‌شود.

۶- مراجع

[۱] جعفرزاده، اسد الله و همکاران، " زمین‌شناسی ایران"، کانسارهای آهن، شماره ۲٦، سازمان زمین‌شناسی ایران، (۱۳۷٤).

[۲] معاونت مهندسی و بهره‌برداری چادر ملو (دفتر فنی)،" شرح تولید"، (۱۳۷٤) پروسس و تجهیزات خطوط.

[۳] Williamson,M. and Sanders,J. ,"Coal Flotation Technical Review",A report on an Australian Coal Association Research Program (ACARP), (2001).

[۴] Finch, J.A. ,"Column Flotation: A selected Review IV: Novel Flotation Devices", Minerals Engineering, Vol. 8, No, 6, pp 587-602, (1995).

[۵] Yang, D.C ,"A new packed column flotation system", Proceedings of an International Symposium on Column Flotation,pp. 257-266, (1988).

[۶] Wheeler, D.A.,"Historical Review of Column Flotation Development, Proceedings of an International Symposium on Column Flotation.pp. 3-5(1988).

[۷] Finch,J.A. and Dobby,G.S. ," Column Flotation" Pergman Press, (1990).

[۸] Coalpro,"Column Flotation Cell Operating and Maintenance Manual", (2001).