

  شرکت مهندسی و توسعه صنایع ملی ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 1 of 200

گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون

00	2-July-2024	Issue for Information	H. Naderi	E. Niknejad	M.Ahmadi
Rev.	Date	Purpose of Issue	Prepared by	Checked by	Approved by

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلو تاسیون	Page 2 of 200

کارشناسان و صاحب نظران بررسی کننده گزارش:

نام و نام خانوادگی	مدرک / سازمان	امضا
مهدی احمدی	دکتری تخصصی مهندسی مکانیک/نیپک	
حجت نادری	دکتری تخصصی مهندسی معدن - فراوری/ نیپک	
عماد نیک‌نژاد	کارشناسی ارشد مهندسی مواد / نیپک	
علیرضا عابدی	دکتری تخصصی مهندسی معدن - فراوری/ نیپک	
میر مهدی کریمی آذر	کارشناسی ارشد مهندسی مواد / نیپک	
مجید ماستری فراهانی	کارشناسی ارشد مهندسی مواد / نیپک	

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 3 of 200

جدول ویرایش مدارک

Sheet	Revisions							Sheet	Revisions						
	00	01	02	03	04	05			00	01	02	03	04	05	
1	X							36	X						
2	X							37	X						
3	X							38	X						
4	X							39	X						
5	X							40	X						
6	X							41	X						
7	X							42	X						
8	X							43	X						
9	X							44	X						
10	X							45	X						
11	X							46	X						
12	X							47	X						
13	X							48	X						
14	X							49	X						
15	X							50	X						
16	X							51	X						
17	X							52	X						
18	X							53	X						
19	X							54	X						
20	X							55	X						
21	X							56	X						
22	X							57	X						
23	X							58	X						
24	X							59	X						
25	X							60	X						
26	X							61	X						
27	X							62	X						
28	X							63	X						
29	X							64	X						
30	X							65	X						
31	X							66	X						
32	X							67	X						
33	X							68	X						
34	X							69	X						
35	X							70	X						

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 5 of 200

جدول ویرایش مدارک

Sheet	Revisions							Sheet	Revisions						
	00	01	02	03	04	05			00	01	02	03	04	05	
71	X							106	X						
72	X							107	X						
73	X							108	X						
74	X							109	X						
75	X							110	X						
76	X							111	X						
77	X							112	X						
78	X							113	X						
79	X							114	X						
80	X							115	X						
81	X							116	X						
82	X							117	X						
83	X							118	X						
84	X							119	X						
85	X							120	X						
86	X							121	X						
87	X							122	X						
88	X							123	X						
89	X							124	X						
90	X							125	X						
91	X							126	X						
92	X							127	X						
93	X							128	X						
94	X							129	X						
95	X							130	X						
96	X							131	X						
97	X							132	X						
98	X							133	X						
99	X							134	X						
100	X							135	X						
101	X							136	X						
102	X							137	X						
103	X							138	X						
104	X							139	X						
105	X							140	X						

Document No.

Reprocessing of Flotation Tailings

Page

28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071

گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری
باطله فلوتاسیون

Page 6 of 200

Sheet	Revisions							Sheet	Revisions						
	00	01	02	03	04	05			00	01	02	03	04	05	
141	X							176	X						
142	X							177	X						
143	X							178	X						
144	X							179	X						
145	X							180	X						
146	X							181	X						
147	X							182	X						
148	X							183	X						
149	X							184	X						
150	X							185	X						
151	X							186	X						
152	X							187	X						
153	X							188							
154	X							189							
155	X							190							
156	X							191							
157	X							192							
158	X							193							
159	X							194							
160	X							195							
161	X							196							
162	X							197							
163	X							198							
164	X							199							
165	X							200							
166	X							201							
167	X							202							
168	X							203							
169	X							204							
170	X							205							
171	X							206							
172	X							207							
173	X							208							
174	X							209							
175	X							210							

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 7 of 200

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱۹	فصل اول: کلیات
۲۰	۱-۱- مقدمه
۲۰	۲-۱- ضایعات فرایند تولید مس
۲۲	۳-۱- پیشینه تحقیق در زمینه بازیابی مجدد باطله‌های مس
۲۲	۱-۳-۱- فلوتاسیون
۳۸	۲-۳-۱- روشهای نوین فلوتاسیون
۳۸	۱-۲-۳-۱- بهبود فلوتاسیون باطله با کاهش ابعاد حباب هوا
۴۰	۲-۲-۳-۱- بهبود فلوتاسیون باطله با افزایش ابعاد ذرات
۴۵	۳-۳-۱- فرایندهای هیدرو متالورژیکی بازیابی مجدد باطله مس
۴۵	۱-۳-۳-۱- لیچینگ شیمیایی باطله مس
۵۳	۲-۳-۳-۱- فرایند ۲ مرحله‌ای فلوتاسیون - لیچینگ باطله مس
۵۵	۳-۳-۳-۱- بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مس
۶۲	۴-۱- استفاده از باطله‌ها در صنایع ساختمانی
۶۳	۱-۴-۱- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در ساخت ملات و بتن
۶۴	۲-۴-۱- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در ساخت سیمان
۶۶	۳-۴-۱- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در تولید کاشی و سرامیک
۷۰	۴-۴-۱- استفاده از باطله مس در ژئوپلیمرها
۷۱	۵-۱- جمع‌بندی
۷۵	فصل دوم: بررسی تکنولوژیهای مدیریت باطله و فراوری مجدد
۷۶	۱-۲- مقدمه
۷۸	۲-۲- سوابق صنعتی باز فراوری باطله مس
۷۸	۱-۲-۲- سوابق پروژه فراوری مجدد باطله در کشور شیلی
۷۸	۱-۲-۲-۱- پروژه بی جی آر آلمان-شیلی
۷۹	۲-۲-۲-۱- مطالعه موردی مطالعات مهندسی مفهومی برای فراوری مجدد باطله

۳-۱-۲-۲	مطالعه موردی امکانپذیری فراوری مجدد سد باطله برای جبران هزینه جابه‌جایی	۸۱
۴-۱-۲-۲	مطالعه موردی فراوری مجدد نمونه سد باطله با جدایش مغناطیسی	۸۱
۵-۱-۲-۲	طرح فراوری مجدد سدهای باطله معدن التینته شیلی	۸۲
۳-۲	فلوشیتهای محتمل برای فراوری مجدد باطله‌های مس	۸۷
۴-۲	بررسی رویکردهای مدیریت و فراوری مجدد باطله	۹۰
۵-۲	جمع‌بندی	۹۳
۹۵	فصل سوم: نمونه‌برداری از سد باطله فلوتاسیون و تعیین عناصر هدف	
۱-۳	مقدمه	۹۶
۲-۳	مشخصات سد باطله در مجتمع‌های مورد مطالعه	۹۶
۱-۲-۳	مجتمع مس سرچشمه (رفسنجان، کرمان)	۹۶
۲-۲-۳	مجتمع مس میدوک (شهر بابک، کرمان)	۹۹
۳-۲-۳	مجتمع مس سونگون (ورزقان، آذربایجان شرقی)	۱۰۱
۳-۳	آنالیز شیمیایی نمونه‌های باطله فلوتاسیون	۱۰۳
۱-۳-۳	آنالیز شیمیایی تر	۱۰۳
۲-۳-۳	آنالیز شیمیایی با روش XRF	۱۰۵
۳-۳-۳	آنالیز شیمیایی با روش MS-ICP	۱۱۰
۴-۳-۳	آنالیز کانی‌شناسی با روش XRD	۱۱۹
۴-۳	بررسی داده‌های دریافتی از واحد آزمایشگاه مجتمع‌های میدوک و سونگون	۱۲۱
۵-۳	آنالیز عناصر باارزش در نمونه‌های باطله فلوتاسیون	۱۲۶
۶-۳	جدول عیار حد اقتصادی عناصر	۱۲۷
۷-۳	جمع‌بندی	۱۲۸
۱۳۰	فصل چهارم: انتخاب فرایند فراوری مجدد باطله فلوتاسیون	
۱-۴	مقدمه	۱۳۱
۲-۴	ملاکهای انتخاب فرایند فراوری مجدد باطله فلوتاسیون	۱۳۱
۱-۲-۴	مشخصات فیزیکی باطله فلوتاسیون	۱۳۱
۲-۲-۴	مشخصات شیمیایی و عیاری باطله فلوتاسیون	۱۳۲
۳-۲-۴	مشخصات کانی‌شناسی باطله فلوتاسیون	۱۳۳
۴-۲-۴	تأثیر تولید باطله فلوتاسیون	۱۳۵

۳-۴	فلوجارت کلی فراوری مجدد باطله فلوتاسیون	۱۳۵
۱-۳-۴	مسیر عمومی	۱۳۵
۲-۳-۴	ملاحظات فنی در استفاده از روش فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله- استفاده از فناوری‌های جدید	۱۳۷
۱-۲-۳-۴	سلول فلوتاسیون HydroFloat ساخت شرکت اریتز	۱۳۸
۲-۲-۳-۴	سلول فلوتاسیون TT'S HIGH ENERGY ساخت شرکت ماینسر	۱۴۳
۳-۲-۳-۴	سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت اف-ال-اشمیت	۱۴۴
۴-۲-۳-۴	سلول فلوتاسیون NovaCell ساخت شرکت جرد در استرالیا	۱۴۶
۵-۲-۳-۴	شاخص انتخاب فناوری فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله‌ها	۱۴۹
۴-۴	مسیر تولید باطله در کارخانه فلوتاسیون مس (انواع جریان باطله، انواع باطله)	۱۵۱
۱-۴-۴	جریان‌های باطله‌مدار کارخانه (برای مثال جریان باطله خروجی از مدار رافر یا جریان باطله خروجی از مدار کلینر)	۱۵۱
۲-۴-۴	جریان باطله نهایی خروجی کارخانه (به‌عنوان باطله جاری کارخانه)	۱۵۱
۳-۴-۴	باطله موجود در سد باطله	۱۵۱
۵-۴	سناریوهای ممکن برای فراوری مجدد باطله فلوتاسیون	۱۵۴
۱-۵-۴	جریان‌های باطله کارخانه: بهینه‌سازی و یا تغییر مدار کارخانه موجود	۱۵۴
۲-۵-۴	احداث کارخانه جدید برای فراوری مجدد باطله جاری	۱۵۵
۳-۵-۴	احداث کارخانه باز فراوری برای سد باطله	۱۵۹
۶-۴	بررسی زیست‌محیطی فرایند پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله	۱۶۱
۱-۶-۴	ارزیابی مدار فلوتاسیون	۱۶۳
۲-۶-۴	ارزیابی فرایند تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی	۱۶۵
۳-۶-۴	ارزیابی فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات (CAS) از کنسانتره پیریتی	۱۶۷
۴-۶-۴	ارزیابی فرایند تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی	۱۶۹
۵-۶-۴	ارزیابی فرایند تولید سیمان پلیمری از باطله سیلیکاتی	۱۷۱
۷-۴	جمع‌بندی	۱۷۲
۸-۴	انتخاب مسیر برای محاسبات فنی و اقتصادی	۱۷۳
۱۷۵	فصل پنجم: ارائه مسیر به‌منظور راه‌اندازی فرایند پیشنهادی	
۱-۵	مقدمه	۱۷۶
۲-۵	مسیر کلی بازیافت باطله کارخانه فلوتاسیون	۱۷۶
۳-۵	باز فراوری باطله جاری کارخانه فلوتاسیون	۱۷۷

- ۱۷۸.....۱-۳-۵- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد جریان باطله رافر
- ۱۸۱.....۲-۳-۵- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد جریان جاری کلینر
- ۱۸۴.....۳-۳-۵- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد باطله رافر و کلینر (احداث هر دو مدار به صورت همزمان)
- ۱۸۶.....۴-۵- فلوتاسیون مجدد باطله سد
- ۱۸۹.....۵-۵- باز فراوری و استفاده مجدد از خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله ها
- ۱۹۰.....۱-۵-۵- مدار فلوتاسیون پیریت
- ۱۹۲.....۲-۵-۵- تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریت
- ۱۹۳.....۳-۵-۵- تولید بتن پلیمری از باطله سیلیکاتی
- ۱۹۶.....۶-۵- جمع بندی
- ۱۹۸.....۷-۵- اولویت بندی ادامه مطالعات بر روی باز فراوری باطله
- ۱۹۸.....۸-۵- مسیر بهینه برای انجام مطالعات باز فراوری باطله

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 11 of 200

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
جدول ۱-۱-۲۲	بررسی بر تحقیقات انجام شده در مورد بازیابی مجدد باطله‌های مس با روش فلوتاسیون معمولی
جدول ۱-۲-۴۰	انواع روش‌های آگلومراسیون ذرات نرمه و مواد شیمیایی مورد استفاده
جدول ۱-۳-۴۲	مطالعات انجام شده در مورد فلوتاسیون نرمه‌ها با روش فلوتاسیون حامل
جدول ۱-۴-۴۵	مطالعات انجام شده در مورد لیچینگ شیمیایی باطله فلوتاسیون مس
جدول ۱-۵-۵۳	مطالعات انجام شده در مورد فرایند دو مرحله ای فلوتاسیون-لیچینگ باطله فلوتاسیون مس
جدول ۱-۶-۵۶	مطالعات انجام شده در مورد فرایند بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مس
جدول ۱-۷-۶۸	ترکیب شیمیایی معمول مواد خام اولیه در تولید سرامیک
جدول ۱-۸-۶۹	ترکیب شیمیایی چند نمونه از سد باطله فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه
جدول ۱-۹-۶۹	ترکیب مواد اولیه برای تهیه سه نوع سرامیک با استفاده از نمونه باطله فلوتاسیون
جدول ۱-۱۰-۶۹	خصوصیات سه نوع سرامیک تهیه شده با استفاده از نمونه باطله فلوتاسیون
جدول ۱-۱-۷۷	مهم‌ترین فرایندهای مورد استفاده در اجرای استراتژی‌های استفاده مجدد و بازیافت برای مدیریت انواع باطله‌های معدنی
جدول ۲-۲-۸۵	کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی
جدول ۱-۳-۱۰۳	مشخصات فنی و مهندسی سد باطله معدن سونگون
جدول ۲-۳-۱۱۹	آنالیز ICP دو نمونه سطحی تهیه شده از سد باطله سرچشمه
جدول ۳-۳-۱۲۰	آنالیز کانی‌شناسی فاز ۱ سونگون در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD
جدول ۴-۳-۱۲۰	آنالیز کانی‌شناسی فاز ۲ سونگون در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD
جدول ۵-۳-۱۲۰	آنالیز کانی‌شناسی نمونه سطحی میدوک در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD
جدول ۶-۳-۱۲۰	آنالیز کانی‌شناسی مجتمع میدوک در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD
جدول ۷-۳-۱۲۱	آنالیز کانی‌شناسی نمونه سطحی سرچشمه بر مبنای آنالیز XRD
جدول ۸-۳-۱۲۷	نتایج آنالیز طلا، پالادیم و پلاتین در نمونه‌های سونگون، سرچشمه و میدوک
جدول ۹-۳-۱۲۸	مقایسه عیار باطله فلوتاسیون و عیار حد برای عناصر مهم
جدول ۱-۴-۱۳۵	نرخ تولید باطله فلوتاسیون و میزان مواد موجود در سد باطله در سه مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون
جدول ۲-۴-۱۴۳	انواع مدل‌های سلول فلوتاسیون HydroFloat و ظرفیت آن‌ها
جدول ۳-۴-۱۴۹	فهرست شرکت‌های پیشنهادی برای ارسال نمونه باطله و انجام آزمایش‌های فراوری مجدد
جدول ۴-۴-۱۵۰	معیارهای انتخاب تکنولوژی‌های ارائه شده توسط شرکت‌های مختلف

جدول ۴-۵- مقایسه سناریوهای باز فراوری باطله‌های جاری.....	۱۵۹
جدول ۴-۶- پارامترهای فرایند فلوتاسیون مجدد باطله.....	۱۶۳
جدول ۴-۷- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند فلوتاسیون مجدد باطله.....	۱۶۴
جدول ۴-۸- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند تولید ۱ تن کلکتور گزنتات.....	۱۶۴
جدول ۴-۹- پارامترهای فرایند تولید اسیدسولفوریک.....	۱۶۶
جدول ۴-۱۰- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند تولید اسیدسولفوریک.....	۱۶۷
جدول ۴-۱۱- پارامترهای فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات از باطله سیلیکاتی.....	۱۶۸
جدول ۴-۱۲- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات از باطله سرامیکی.....	۱۶۹
جدول ۴-۱۳- پارامترهای فرایند تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی.....	۱۷۰
جدول ۴-۱۴- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند تولید سرامیک از باطله سرامیکی.....	۱۷۰
جدول ۴-۱۵- پارامترهای فرایند تولید ژئوپلیمر از باطله سیلیکاتی.....	۱۷۱
جدول ۴-۱۶- متغیرهای زیست‌محیطی فرایند تولید ژئوپلیمر از باطله سرامیکی.....	۱۷۲
جدول ۵-۱- مشخصات جریان‌های باطله جاری در نظر گرفته شده برای بررسی فنی و اقتصادی.....	۱۷۹
جدول ۵-۲- مشخصات جریان‌های خروجی از فلوتاسیون مجدد باطله رافر.....	۱۸۰
جدول ۵-۳- مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر.....	۱۸۰
جدول ۵-۴- هزینه عملیاتی سالیانه برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر.....	۱۸۰
جدول ۵-۵- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر.....	۱۸۱
جدول ۵-۶- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر.....	۱۸۱
جدول ۵-۷- مشخصات جریان‌های خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر.....	۱۸۲
جدول ۵-۸- مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر.....	۱۸۳
جدول ۵-۹- هزینه عملیاتی سالیانه مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌های کلینر.....	۱۸۳
جدول ۵-۱۰- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر.....	۱۸۳
جدول ۵-۱۱- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر.....	۱۸۴
جدول ۵-۱۲- مشخصات جریان‌های خروجی از فلوتاسیون مجدد جریان‌های باطله جاری.....	۱۸۴
جدول ۵-۱۳- مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت برای مدارهای فلوتاسیون باطله‌های جاری رافر و کلینر.....	۱۸۵
جدول ۵-۱۴- هزینه عملیاتی سالیانه برای مدارهای فلوتاسیون باطله‌های جاری رافر و کلینر.....	۱۸۵
جدول ۵-۱۵- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌های جاری رافر و کلینر.....	۱۸۶
جدول ۵-۱۶- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌های جاری رافر و کلینر.....	۱۸۶
جدول ۵-۱۷- موازنه جرم مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد.....	۱۸۷
جدول ۵-۱۸- لیست تجهیزات اصلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد و مشخصات آن‌ها.....	۱۸۷
جدول ۵-۱۹- هزینه عملیاتی سالیانه برای کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله.....	۱۸۸
جدول ۵-۲۰- هزینه سرمایه‌گذاری ثابت کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله.....	۱۸۹
جدول ۵-۲۱- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد.....	۱۸۹
جدول ۵-۲۲- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد.....	۱۸۹

- جدول ۵-۲۳- مشخصات جریان‌های واحد فلو تاسیون پیریت..... ۱۹۱
- جدول ۵-۲۴- مشخصات تجهیزات مورد نیاز برای مدار فلو تاسیون پیریت..... ۱۹۱
- جدول ۵-۲۵- هزینه عملیاتی سالیانه برای مدار فلو تاسیون پیریت..... ۱۹۱
- جدول ۵-۲۶- شرایط عملیاتی فرایند تولید اسید سولفوریک از پیریت..... ۱۹۲
- جدول ۵-۲۷- برآورد هزینه عملیاتی کارخانه تولید اسید سولفوریک از پیریت..... ۱۹۲
- جدول ۵-۲۸- برآورد هزینه سرمایه‌گذاری کارخانه تولید اسید سولفوریک از پیریت..... ۱۹۳
- جدول ۵-۲۹- مواد مصرفی در فرایند تولید بتن ژئوپلیمری..... ۱۹۴
- جدول ۵-۳۰- برآورد هزینه عملیاتی کارخانه تولید بتن ژئوپلیمری..... ۱۹۵
- جدول ۵-۳۱- برآورد هزینه سرمایه‌گذاری کارخانه تولید بتن ژئوپلیمری..... ۱۹۵
- جدول ۵-۳۲- برآورد هزینه سرمایه‌گذاری ثابت کلی طرح استفاده مجدد باطله‌ها..... ۱۹۵
- جدول ۵-۳۳- برآورد هزینه عملیاتی سالیانه طرح استفاده مجدد باطله‌ها..... ۱۹۵
- جدول ۵-۳۴- برآورد درآمد کلی طرح استفاده مجدد باطله‌ها..... ۱۹۶
- جدول ۵-۳۵- محاسبات اقتصادی طرح استفاده مجدد باطله‌ها..... ۱۹۶

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 14 of 200

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۲۱	شکل ۱-۱- دسته‌بندی عمومی ضایعات فرایند تولید مس
۲۶	شکل ۱-۲- فلوشیت فلوتاسیون باطله‌های بازیابی شده از پساب‌های تغلیظ کننده کامبوو
۲۸	شکل ۱-۳- تأثیر NaHS بر فلوتاسیون
۳۰	شکل ۱-۴- تأثیر پارامترهای مختلف فلوتاسیون بر عیار و بازیابی مس حاصل از باطله
۳۲	شکل ۱-۵- فلوشیت روش‌های مختلف استحصال مس و کبالت از باطله‌ها
۳۳	شکل ۱-۶- فلوشیت لیچینگ باطله‌ها با اسیدسولفوریک
۳۴	شکل ۱-۷- فلوشیت نهایی فلوتاسیون باطله‌ها با گزنتات‌ها
۳۵	شکل ۱-۸- سلول فلوتاسیون جدید توسعه یافته در مرکز تحقیقاتی BGRIMM چین
۳۵	شکل ۱-۹- فلوشیت آزمایش‌های صنعتی بر روی باطله مس کارخانه جیانگژی
۳۷	شکل ۱-۱۰- مدار فلوتاسیون مورد استفاده در تست‌های فلوتاسیون سیکل بسته
۳۸	شکل ۱-۱۱- مقایسه فلوشیت کارخانه فلوتاسیون قبلی با بعد از نوآوری تغلیظ باطله
۳۹	شکل ۱-۱۲- مدار ساده‌ای از کاربرد فلوتاسیون ستونی برای بازیابی مجدد باطله
۴۰	شکل ۱-۱۳- مکانیسم تشکیل نانوحباب و بهبود فلوتاسیون نرمه‌ها
۴۱	شکل ۱-۱۴- مکانیسم اتصال ذرات و تولید آگلومره در تکنیک‌های مختلف آگلومراسیون
۴۱	شکل ۱-۱۵- نحوه کاربرد روش آگلومراسیون برای بهبود بازیافت ذرات نرمه بارزش در مدار فلوتاسیون مس
۴۲	شکل ۱-۱۶- شماتیک مکانیسم فلوتاسیون حامل
۴۴	شکل ۱-۱۷- نمودارهای سینتیکی، عیار و بازیابی کنسانتره‌های مس STD, CRF, HIC و HIC-CRF
۵۱	شکل ۱-۱۸- شماتیک مکانیسم لیچینگ اسیدی با اسیدسولفوریک باطله مس
۵۳	شکل ۱-۱۹- فلوشیت بازیابی مس از باطله‌ها
۵۵	شکل ۱-۲۰- فلوشیت شماتیک برای فلوتاسیون ترکیبی و لیچینگ فشار بالا برای بازیابی مس و نیکل
۵۹	شکل ۱-۲۱- تأثیر سطوح عوامل بر بازیابی؛ الف: سد، ب: تغلیظ
۶۰	شکل ۱-۲۲- بیولیچینگ مس و کبالت
۶۲	شکل ۱-۲۳- هیپ بیولیچینگ: (الف) راکتور هیپ بیولیچینگ، (ب) ترتیب خط لوله هوادهی، (ج) ناودان زهکشی؛ (د) استخر ته نشینی و مخزن جمع آوری
۶۳	شکل ۱-۲۴- تأثیر میزان استفاده از باطله مصرفی در بتن بر روی قابلیت جذب آب آن
۶۴	شکل ۱-۲۵- تأثیر درصد باطله مس بر مقاومت فشاری بتن
۶۵	شکل ۱-۲۶- تأثیر درصد باطله مصرفی در سیمان بر قابلیت انقباضی آن

- شکل ۱-۲۷- فرایند تصمیم‌گیری برای استفاده از باطله‌های فرایند تولید مس در صنایع بتن و سیمان..... ۶۶
- شکل ۱-۲۸- تغییرات ترکیب مواد اولیه برای تولید انواع سرامیک‌ها..... ۶۷
- شکل ۱-۲۹- ترکیب شیمیایی سرامیک‌های بر مبنای آهک..... ۶۸
- شکل ۱-۳۰- مواد اولیه ساخت بتن ژئوپلیمری..... ۷۰
- شکل ۱-۳۱- مکانیسم تشکیل ژئوپلیمر..... ۷۱
- شکل ۲-۱- استراتژی‌های ارائه‌شده برای مدیریت باطله‌های معدنی و اولویت آن‌ها..... ۷۶
- شکل ۲-۲- سد باطله معدن مس آفریکانا در نزدیک شهر سانتیاگو، شیلی..... ۷۹
- شکل ۲-۳- موقعیت سدهای باطله معدن التینینته شیلی..... ۸۳
- شکل ۲-۴- موقعیت کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی..... ۸۳
- شکل ۲-۵- مراحل فعالیت طرح فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی..... ۸۴
- شکل ۲-۶- نمایی از کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی..... ۸۵
- شکل ۲-۷- فلوشیت فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی..... ۸۷
- شکل ۲-۸- فلوشیت طرح توسعه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی..... ۸۷
- شکل ۲-۹- فلوشیت فراوری مجدد باطله با اولویت انحلال عناصر بارزش و سپس فلوتاسیون مس..... ۸۹
- شکل ۲-۱۰- فلوشیت فراوری مجدد باطله برای نمونه دارای مس به‌عنوان فلز بار ارزش اقتصادی..... ۹۰
- شکل ۲-۱۱- رویکردهای ممکن برای استفاده مجدد از باطله فلوتاسیون مس؛ رویکرد اول: تولید محصولات ساختمانی، رویکرد دوم: بازیابی فلزات بارزش و اسیدسولفوریک و سپس تولید محصولات ساختمانی از پسماند، رویکرد مرجع: استفاده از پسماند برای پر کردن حفرات..... ۹۱
- شکل ۲-۱۲- میزان اثرات زیست‌محیطی (Environmental Impacts) مسیرهای مختلف باز فراوری باطله و سهم هر زیر فرایند از کل اثر. تولید دی اکسید کربن (CC)، مصرف سوخت فسیلی (FDP)، انتشار عناصر فلزی (MDP)، امکان تولید ترکیبات جانبی (PMFD)، انرژی مورد نیاز (CED)..... ۹۲
- شکل ۲-۱۳- میزان آثار زیست‌محیطی (Environmental Impacts) مسیرهای مختلف تولید از مواد باطله در مقایسه با فرایند اصلی تولید از مواد اولیه؛ تولید دی اکسید کربن (CC)، مصرف سوخت فسیلی (FDP)، انتشار عناصر فلزی (MDP)، امکان تولید ترکیبات جانبی (PMFD)، انرژی مورد نیاز (CED)..... ۹۳
- شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی مجتمع مس سرچشمه..... ۹۷
- شکل ۳-۲- نقشه ماهواره‌ای و توپوگرافی مجتمع مس سرچشمه و سد باطله..... ۹۸
- شکل ۳-۳- موقعیت کارخانه تغلیظ و سدهای باطله رسوب‌گیر و آبگیر مجتمع مس میدوک..... ۱۰۰
- شکل ۳-۴- موقعیت سد باطله نسبت به پیت معدن در معدن مس سونگون..... ۱۰۲
- شکل ۳-۵- تغییرات عیار مس توتال و مس اکسیدی در ترکیب باطله فلوتاسیون مجتمع مس سونگون..... ۱۰۴
- شکل ۳-۶- تغییرات عیار مس توتال و مس اکسیدی در ترکیب باطله فلوتاسیون مجتمع مس میدوک؛ الف) دوره‌های زمانی مختلف و ب) نمونه‌های سطحی سد باطله که توسط مشاور برداشت شده است..... ۱۰۴
- شکل ۳-۷- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ فاز ۱ سونگون در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRF..... ۱۰۶
- شکل ۳-۸- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ فاز ۲ سونگون در بازه‌های زمانی

- مختلف بر مبنای آنالیز XRF..... ۱۰۷
- شکل ۳-۹- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ شهربابک (میدوک) در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRF..... ۱۰۸
- شکل ۳-۱۰- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های سطحی سد باطله کارخانه تغلیظ شهربابک (میدوک) در مردادماه ۱۴۰۲ بر مبنای آنالیز XRF..... ۱۰۹
- شکل ۳-۱۱- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب نمونه‌های سطحی سد باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ سرچشمه بر مبنای آنالیز XRF..... ۱۱۰
- شکل ۳-۱۲- تغییرات عیار مس در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۲
- شکل ۳-۱۳- تغییرات عیار آهن در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۴- تغییرات عیار گوگرد در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۳
- شکل ۳-۱۵- تغییرات عیار مولیبدن در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۶- تغییرات عیار تیتانیوم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۴
- شکل ۳-۱۷- تغییرات عیار وانادیم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۵
- شکل ۳-۱۸- تغییرات عیار کبالت در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۶
- شکل ۳-۱۹- تغییرات عیار کروم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۶
- شکل ۳-۲۰- تغییرات عیار روی در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۷
- شکل ۳-۲۱- تغییرات عیار آلومینیوم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۷
- شکل ۳-۲۲- تغییرات عیار آرسنیک در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۸
- شکل ۳-۲۳- تغییرات عیار سرب و لانتانیم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP..... ۱۱۹
- شکل ۳-۲۴- تغییرات عیار مس در باطله خروجی کارخانه تغلیظ مجتمع میدوک در سال ۱۴۰۲..... ۱۲۲
- شکل ۳-۲۵- تغییرات درصد وزنی کانی‌های مس در باطله خروجی کارخانه تغلیظ مجتمع میدوک در سال ۱۴۰۲..... ۱۲۲
- شکل ۳-۲۶- میانگین درصد مس و اکسید مس نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در ماه‌های مختلف هر سال..... ۱۲۳
- شکل ۳-۲۷- میانگین درصد مس و اکسید مس نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف..... ۱۲۴
- شکل ۳-۲۸- سهم مس سولفیدی و اکسیدی نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف..... ۱۲۴
- شکل ۳-۲۹- عیار مولیبدن در نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف..... ۱۲۵
- شکل ۳-۳۰- درجه آزادی کالکوپیریت نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه برحسب سال..... ۱۲۵
- شکل ۳-۳۱- درجه آزادی کالکوپیریت نمونه باطله فاز ۲ سرچشمه برحسب سال..... ۱۲۶
- شکل ۴-۱- نمودار توزیع ابعادی باطله فلوتاسیون در مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون..... ۱۳۲
- شکل ۴-۲- مطالعات کانی‌شناسی بر روی باطله مدار اسکونجر مجتمع مس سونگون..... ۱۳۴
- شکل ۴-۳- مسیر عمومی پیشنهادی برای استفاده مجدد از باطله‌های فلوتاسیون..... ۱۳۷
- شکل ۴-۴- رابطه بین بازیابی فلوتاسیون با ابعاد ذرات در مدارهای مختلف فلوتاسیون..... ۱۳۸
- شکل ۴-۵- نمای کلی سلول فلوتاسیون HydroFloat ساخت شرکت اریتر..... ۱۳۹
- شکل ۴-۶- استفاده از سلول فلوتاسیون HydroFloat در مدار فلوتاسیون برای بازیابی ذرات درشت باطله..... ۱۴۰
- شکل ۴-۷- مدار پایلوت با استفاده از سلول HydroFloat برای فلوتاسیون مجدد باطله مس..... ۱۴۲

- شکل ۴-۸- نتایج آزمایش پایلوت با استفاده از سلول HydroFloat برای فلوتاسیون مجدد باطله مس ۱۴۲
- شکل ۴-۹- فلوتاسیون TT'S High Energy ساخت شرکت ماینسر آلمان ۱۴۴
- شکل ۴-۱۰- تصویر سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت FLSmidth ۱۴۵
- شکل ۴-۱۱- نحوه عملکرد سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت FLSmidth ۱۴۶
- شکل ۴-۱۲- نحوه عملکرد سلول فلوتاسیون NovaCell ساخت شرکت Jord استرالیا ۱۴۷
- شکل ۴-۱۳- استفاده از سلول فلوتاسیون NovaCell در فلوتاسیون ذرات درشت و یا ریزگی باطله [۱۰] ۱۴۸
- شکل ۴-۱۴- درصد بازیابی مس از ذرات با ابعاد مختلف در سلول فلوتاسیون NovaCell ۱۴۹
- شکل ۴-۱۵- مقایسه بازیابی کالکوپریت از ذرات با ابعاد مختلف با سلول فلوتاسیون NovaCell و سلول مکانیکی ۱۴۹
- شکل ۴-۱۶- مدار کارخانه فلوتاسیون مجتمع مس سونگون ۱۵۲
- شکل ۴-۱۷- موازنه جرم مدار کارخانه فلوتاسیون مجتمع مس سونگون ۱۵۳
- شکل ۴-۱۸- موازنه جرم مدار کارخانه فلوتاسیون مجتمع مس سونگون ۱۵۴
- شکل ۴-۱۹- مدار فراوری پیشنهادی توسط دانشگاه کرمان برای تولید کنسانتره مس- مولیبدن از باطله مجتمع مس سرچشمه ۱۵۶
- شکل ۴-۲۰- محاسبات متالورژیکی برای تولید کنسانتره مس، مولیبدن و پیریت از باطله مجتمع مس سرچشمه براساس تحقیقات دانشگاه کرمان ۱۵۷
- شکل ۴-۲۱- رابطه بین رطوبت اولیه باطله سد با میزان آب مورد نیاز کارخانه باز فراوری سد باطله با ظرفیت ۳۰ میلیون تن خوراک ورودی ۱۶۱
- شکل ۴-۲۲- موازنه جرم در مسیر پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله‌های فلوتاسیون ۱۶۲
- شکل ۴-۲۳- فلوچارت شماتیک فرایند فلوتاسیون ۱۶۳
- شکل ۴-۲۴- فلوچارت تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی ۱۶۵
- شکل ۴-۲۵- فلوچارت تولید سیمان سولفوآلومینات (CAS) از باطله سیلیکاتی ۱۶۸
- شکل ۴-۲۶- فلوچارت تولید سیمان ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی ۱۷۰
- شکل ۴-۲۷- فلوچارت تولید سیمان ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی ۱۷۱
- شکل ۵-۱- مسیر پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله فلوتاسیون و موازنه جرم محصولات قابل انتظار ۱۷۷
- شکل ۵-۲- مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله رافر با استفاده از سلول‌های مدرن ۱۷۹
- شکل ۵-۳- مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله کلینر ۱۸۲
- شکل ۵-۴- دیاگرام بلوکی مدار فلوتاسیون باطله برای تولید کنسانتره مس-مولیبدن و کنسانتره پیریت ۱۸۷
- شکل ۵-۵- فلوچارت تولید اسیدسولفوریک از پیریت (تکنولوژی SFB) ۱۹۲
- شکل ۵-۶- دیاگرام بلوکی فرایند تولید بتن ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی حاصل از باز فراوری باطله فلوتاسیون ۱۹۴

Document No.

Reprocessing of Flotation Tailings

Page

28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071

گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری
باطله فلوتاسیون

Page 18 of 200

امیرحسین

استاد

Document No.

Reprocessing of Flotation Tailings

Page

28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071

گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری
باطله فلوتاسیون

Page 19 of 200

فصل اول: کلیات

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 20 of 200

۱-۱- مقدمه

صنایع معدنی نقش بسیار مهمی در اقتصاد جهانی ایفا می‌کند، به‌طوری که ۶/۹ درصد تولید ناخالص داخلی جهان را تشکیل می‌دهد. با این حال، توسعه جهانی و افزایش تقاضا برای منابع معدنی، سبب تجمع مقادیر زیادی از مواد باطله خطرناک در خاک، آب‌وهوا شده است. میزان تولید باطله معدنی در جهان سالیانه ۵ تا ۷ میلیارد تن است که در سال ۲۰۲۵ به ۱۹ میلیارد تن خواهد رسید. دلیل این افزایش، کاهش عیار سنگ معدن و پیچیدگی ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی ذخایر است. براساس گزارش UNEP در سال ۲۰۱۹، صنایع تولید مس سالانه حدود ۴ میلیارد تن باطله تولید می‌کند.

در فرایندهای معدنی، حدود ۹۰ درصد خوراک ورودی به مدار به سد باطله منتقل می‌شود. تجمع حجم بسیار زیاد باطله سبب ایجاد مشکلات اساسی می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها عبارت است از:

- تولید پساب اسیدی در اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی مانند پیریت (FeS₂) و پیرهوتیت (FeS)

- از بین رفتن عوارض طبیعی و اشغال زمین و منابع طبیعی

- خطرات مربوط به شکستن سد باطله و خسارت به منابع طبیعی و انسانی

ضایعات صنعت معدن کاری به ۳ دسته مهم تقسیم‌بندی می‌شود:

الف) باطله جامد شامل سنگ‌های باطله معدن کاری، باطله فراوری، سرباره‌ها و گردوغبار

ب) باطله محلول شامل پساب‌های معدنی و صنعتی

ج) گازهای خروجی

۱-۲- ضایعات فرایند تولید مس

در هر مرحله از فرایند تولید مس از اکتشاف گرفته تا تولید کنسانتره و کاتد مس، مواد زائدی تولید و در طبیعت ذخیره می‌شود که خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها با یکدیگر متفاوت است. شکل (۱-۱) دسته‌بندی عمومی ضایعات فرایند تولید مس را نشان می‌دهد. ضایعات فرایند تولید مس را می‌توان به ۴ گروه اصلی دسته‌بندی کرد:

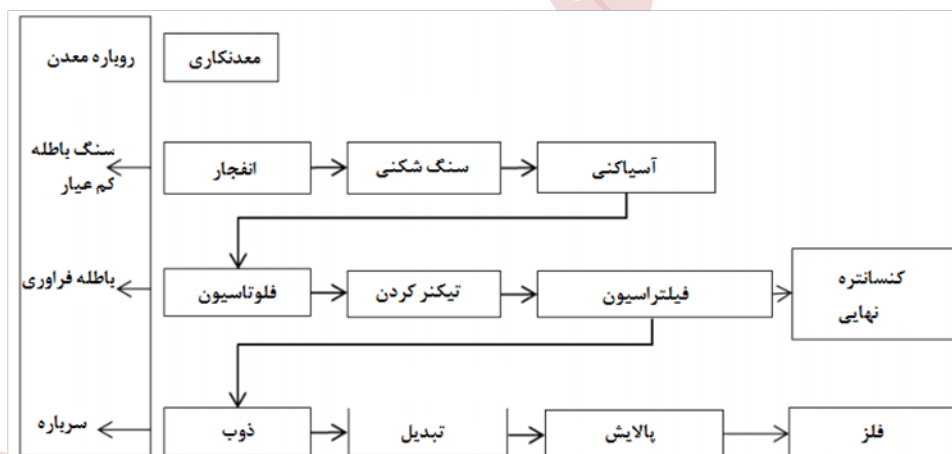
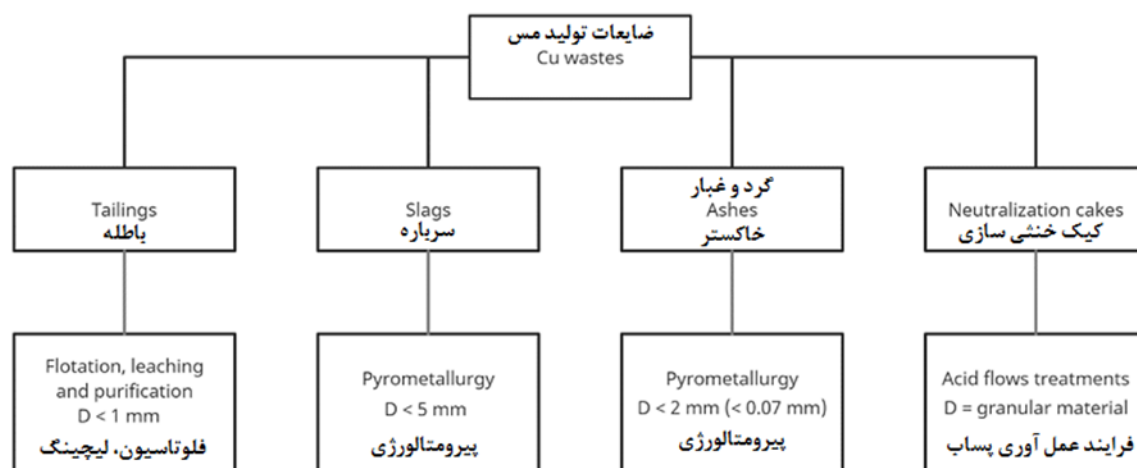
- باطله‌های فرایند کانه‌آرایی و لیچینگ با ابعاد کوچک‌تر از ۱ mm و مقدار زیادی آلودگی‌های فلزات

و عناصر

- سرباره‌های ذوب با ابعاد ذرات کوچک‌تر از ۵ mm و آلودگی عناصر کمتر از مورد قبل

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 21 of 200

- گردوغبار، خاکستر و پودرهای حاصل از ذوب و تشویه با ابعاد کوچکتر از ۷۰ میکرون
- کیک‌های حاصل از فرایندهای خنثی‌سازی محلول که اغلب از ژپیس و هیدروکسیدهای فلزی تشکیل شده است.



شکل (۱-۱)- دسته‌بندی عمومی ضایعات فرایند تولید مس

باطله^۱ طی عملیات فلوتاسیون، لیچینگ و خالص‌سازی ایجاد می‌شود. باطله فرایند فلوتاسیون عمدتاً از سیلیس و آهن و به مقدار کمتر از عناصری مانند آلومینیوم، کلسیم، سدیم، پتاسیم، مس، سرب، روی، منیزیم و البته عناصر سمی مانند آرسنیک تشکیل شده است. دانه‌بندی باطله نیز بسته به فرایند فلوتاسیون و یا لیچینگ،

¹ Tailing

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 22 of 200

متغیر است. کنسانتره حاصل از فرایند فلوتاسیون معمولاً به روش پیرو متالورژی عمل آوری می شود که منجر به تشکیل سرباره ، گردوغبار و یا کیک می شود.

۳-۱- پیشینه تحقیق در زمینه بازیابی مجدد باطله های مس

۱-۳-۱- فلوتاسیون

استفاده از تکنیک فلوتاسیون معمولی (عملیات رایج فلوتاسیون) برای فراوری مجدد باطله های مس در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی مورد بررسی قرار گرفته است. جدول (۱-۱) مروری بر این فعالیت ها و نتایج آن ها را نشان می دهد.

جدول (۱-۱)- مروری بر تحقیقات انجام شده در مورد بازیابی مجدد باطله های مس با روش فلوتاسیون معمولی

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
۱	۱۳۷۹	بهرام رضایی و همکاران	بازیابی مس از باطله های کارخانه فراوری مس سرچشمه ایران	۳۳ درصد وزنی باطله ذرات درشت تر از ۷۵ میکرون و ۳۰ درصد ذرات ریزتر از ۱۱ میکرون است. تولید کنسانتره ای با عیار ۲/۳۵ درصد مس و بازیابی ۵۵/۸ درصد مس
			بازیافت باطله های واحد اسکونجر مجتمع مس میدوک ایران	کاهش اتلاف مس به باطله با بهبود خردایش و بهبود توزیع مواد شیمیایی
۳	۲۰۱۰	مارکوویچ و همکاران	فلوتاسیون مجدد باطله فلوتاسیون مس در صربستان	تأثیر نحوه خردایش مجدد و آماده سازی پالپ بر عیار و بازیابی تولید کنسانتره مس با عیار ۱/۳ درصد و بازیابی ۹۸ درصد
			استحصال کبالت و مس از باطله فلوتاسیون در کنگو	تأثیر نحوه افزایش مواد شیمیایی و غلظت آن ها بر عیار و بازیابی تولید کنسانتره مس با عیار ۳/۳ درصد و بازیابی ۴۴/۸ درصد
۵	۲۰۱۴	هان و همکاران	استحصال مس از باطله های معدن در صربستان	بررسی تأثیر عوامل مختلف عملیاتی بر فرایند تولید کنسانتره مس با عیار ۰/۸۱ و بازیابی ۶۰ درصد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 23 of 200

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
				اتلاف ذرات درشت به باطله
				انجام مطالعه در مقیاس صنعتی
۶	۲۰۱۴	چن و همکاران	فلوتاسیون مجدد باطله فلوتاسیون مس در چین	بهینه‌سازی شرایط عملیاتی در مقیاس صنعتی نسبت به مقیاس آزمایشگاهی بازیابی ۲۰ درصد مس از باطله و تولید کنسانتره‌ای با عیار ۰/۳ درصد
				تأثیر قابل توجه ذرات نرمه موجود در باطله بر کارایی فلوتاسیون
۷	۲۰۱۷	موسوی‌زاده و همکاران	فلوتاسیون مجدد باطله‌های مدار فلوتاسیون مجتمع مس مزرعه ایران	بررسی تأثیر غلظت و نوع مواد شیمیایی بر کارایی فرایند بازیابی ۸۶ درصد مس و تولید کنسانتره‌ای با عیار ۰/۱۸ مس
				انجام مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت
۸	۲۰۱۷	یین و همکاران	استحصال مس از باطله‌های مدار فلوتاسیون مولیبدن	بررسی تأثیر عوامل مختلف عملیاتی و اجرایی انجام مطالعات مقدماتی فنی و اقتصادی بازیابی ۸۶ درصد مس و تولید کنسانتره با عیار ۱۹ درصد
				مطالعه تأثیر عوامل مختلف مانند ابعاد ذرات و غلظت عوامل شیمیایی در مقیاس آزمایشگاهی
۹	۲۰۲۱	اوزدمیر و همکاران	بازیابی مس و آهن از باطله‌های مدار فلوتاسیون مس صربستان	مدل سازی فلوشیت فراوری و بررسی عملکرد و راندمان مدار تولید کنسانتره پیریت با عیار ۱/۶۵ مس و ۹ ppm طلا و بازیابی ۴۸ درصد مس و ۸۰ درصد طلا
				تأثیر عوامل مختلف بررسی شد که غلظت کلکتور بالاترین تأثیر را داشت.
۱۰	۲۰۲۱	برست و همکاران	مطالعه تأثیر پارامترهای مختلف عملیاتی بر بازیابی مس از باطله‌ها در کنگو	۶۰ درصد مس بازیابی شد و کنسانتره‌ای با عیار ۸ درصد تولید شد.
۱۱	۲۰۲۱	شنگو و همکاران	امکان‌سنجی فراوری مجدد باطله فلوتاسیون	عیار مس و کبالت در نمونه به ترتیب ۰/۷۳ و ۰/۳۷ درصد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازرآوری باطله فلوتاسیون	Page 24 of 200

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
			مس با روش فلوتاسیون	تولید کنسانتره رافر با عیار ۱/۴۳ و ۰/۷۵ و بازیابی ۵۶ و ۵۹ درصد برای مس و کبالت
			و مقایسه با لیچینگ	تولید کنسانتره نهایی کلینر با عیار ۳/۹۷ و ۲/۴ و بازیابی ۳۵ و ۴۳ درصد برای مس و کبالت

بهرام رضایی در سال ۱۳۷۹ [۱]، به مطالعه و بررسی بازیابی مس از باطله‌های کارخانه فراوری مس سرچشمه به‌منظور کاهش تلفات مس در باطله (عیار ۰/۱۶ درصد) و افزایش بازیابی کلی کارخانه پرداخت. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده نمونه پیریت، مولیبدنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، کوولیت، کانی‌های اکسیدی مس و مس طبیعی بوده و نیز کانی‌های گانگ سیلیکاته و رسی بود. مطالعات فلوتاسیون نیز نشان داد حدود ۳۳ درصد وزنی باطله را ذرات درشت‌تر از ۷۵ میکرون و ۳۰ درصد را ذرات ریزتر از ۱۱ میکرون با توزیع قابل‌توجهی مس تشکیل داده است. بنابراین می‌توان با خردایش ذرات ۷۵+ میکرون و جلوگیری از نرم‌شدن بیش از ۱۱ میکرون مقدار هدررفت را کاهش داد. برای بازیابی مس از باطله و بازگشت آن به خط اصلی کارخانه آزمایش‌های مختلف فلوتاسیون طراحی و اجرا شد. شرایط بهینه با $pH=10.3$ ، ۲۲ درصد جامد، ۶ گرم بر تن سولفید سدیم به‌عنوان متفرق‌کننده، ۱۰ گرم بر تن کلکتور Z6 (کلکتورهای مورد استفاده شامل؛ Z11، 407-R، 5415 و Z6 بود) و ۶ دقیقه زمان کف‌گیری به دست آمد. [۱ و ۲]

مارکوویک و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۳]، به فراوری مجدد باطله‌های فلوتاسیون مس دپو شده قدیمی در معدن بور صربستان به روش فلوتاسیون پرداختند. محتوای استخر باطله فلوتاسیون قدیمی شامل مواد زائد و ترکیبات ارزشمندی مانند مس، نقره، طلا بوده و میانگین محتوای مس ۰/۳ درصد، طلا ۰/۸ گرم در تن، نقره ۲/۴ گرم در تن و گوگرد ۱۲/۷ درصد بود. این حوضچه تأثیرات زیست‌محیطی زیادی داشته و باز فراوری مواد باطله فرصتی اقتصادی برای به دست‌آوردن ترکیبات ارزشمند و به دنبال آن توسعه پایدار فراهم می‌کرد. خصوصیات اصلی نمونه باطله عبارت است از: رطوبت ۷/۳۳ درصد، چگالی ۲/۹۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب و $pH=3.85$ ، اما مقادیر pH کمتر (کمتر از $pH=2$) را نیز می‌توان در برخی نواحی باطله یافت. کانی‌های اصلی مس عبارت بود از: کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، کالکوپیریت و انارژیت و کانی اصلی سولفید پیریت بود. در میان کانی‌های گانگ، کوارتز و آلوموسیلیکات‌ها با مقادیر کم کانی‌های کربناته غالب است. برای آماده‌سازی نمونه‌ها قبل از فلوتاسیون از ۲ روش مختلف خردایش استفاده شد. اولین روش، روش کلاسیک به‌وسیله آسیا

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 25 of 200

با ایده آزادسازی کانی‌های سولفیدی از کانی‌های باطله و روش دوم سایش با ایده پاک‌سازی سطوح کانی‌های سولفیدی از لایه‌های اکسیدشده و آلوموسیلیکات‌های چسبیده به وسیله اصطکاک، سایش بین ذرات در شرایط هیدرودینامیک بالا بود. بهترین نتایج با سایش ذرات باطله قبل از فلوتاسیون و شناورسازی با شرایط $pH=10$ و کلکتور PIBX (ایزوبوتیل گزنتات پتاسیم) به دست آمد. تحت این شرایط بازیابی فلوتاسیون مس بیش از ۹۷ درصد و بازیابی پیریت بیش از ۸۷ درصد و عیار مس و پیریت در کنسانتره به ترتیب ۱/۳۴ درصد و ۴۲/۷۴ درصد بود. بازیابی فلزات گران بها مانند طلا و نقره نیز بالای ۶۰ درصد بوده و طلا و نقره به نسبت مساوی با کانی‌های مس، پیریت و کوارتز توزیع شد.

میشل شنگو و همکاران در سال ۲۰۱۳ [۴]، به بررسی بازیابی کبالت و مس از طریق باز فرآوری باطله حاصل از فلوتاسیون کانسنگ‌های اکسید شده معدنی در کنگو (واحد تغلیظ Kambove) پرداختند. باطله‌ها حاوی منگنز (۱۲/۳۲ درصد)، سرب (۵/۷۱ درصد) و آهن (۳/۴۴ درصد) و همچنین حاوی فلزات باارزش مس (۱/۶۹ درصد) و کبالت (۰/۶۱ درصد) بود. این واحد از فرایند فلوتاسیون هیبریدی استفاده می‌کرد که براساس ترتیب افزودن معرف‌های خاص است و در آن عامل سولفیدی NaSH درصد ۳۶ (۳-۳/۵ گرم در تن) تا حدی با مخلوطی از گازوئیل ۹۰ درصد (۰/۱۵ کیلوگرم در تن) و اسیدهای چرب مصنوعی (۱۰ درصد) به نام Rinkalore 10 جایگزین می‌شد. این مخلوط نقش کلکتور ثانویه را ایفا می‌کند و امکان به دست آوردن یک کنسانتره با عیار حدود ۱۱ درصد مس را فراهم می‌کند. کانی‌های اکسید شده موجود در کامبوو آب‌دوست است و با استفاده از کلکتورهای تیول مانند گزنتات‌ها که به‌طور معمول برای کانی‌های سولفیدی استفاده می‌شود، به خوبی فلوته نمی‌شود. به همین دلیل براساس رابطه (۱-۱) با استفاده از NaSH سولفید می‌شود:

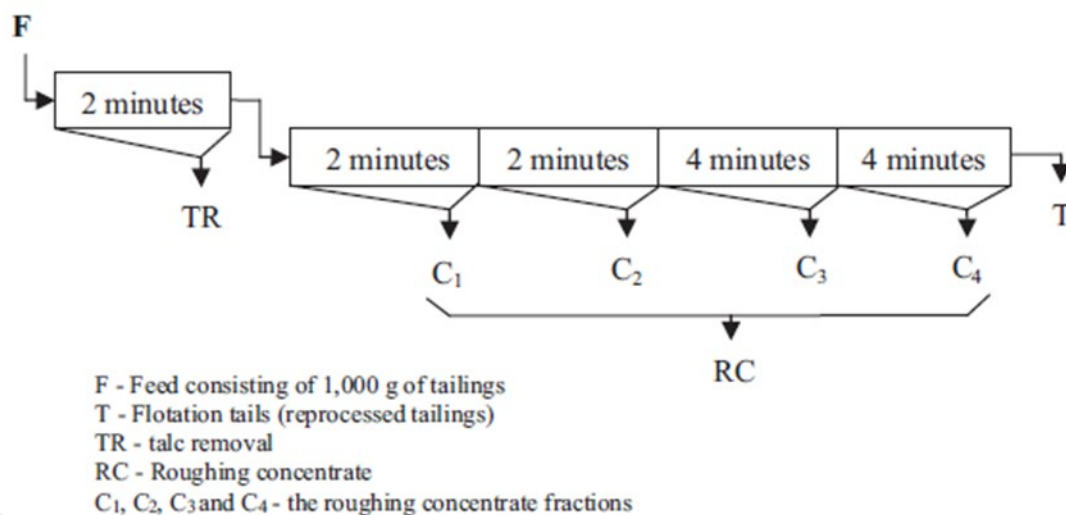


در این کارخانه آمیل گزنتات پتاسیم (KAX) درصد ۱۰ که یک تیول است، به‌عنوان کلکتور اولیه (۰/۳۰-۰/۳۵ کیلوگرم در تن) برای فلوته کردن مالاکیت و هتروژنیت به‌عنوان کانی‌های اصلی مس و کبالت استفاده می‌شود. مدار فلوتاسیون امکان تولید کنسانتره با عیار ۱۰ تا ۱۴ درصد مس را فراهم می‌کند. سنگ معدن اولیه تحت خردایش اولیه و ثانویه قرار می‌گیرد و به دنبال آن با سیلیکات سدیم داخل یک آسیای میله‌ای قرار می‌گیرد که در مدار بسته با هیدروسیکلون‌ها کار می‌کند و سرریز خود را به بخش حذف تالک و پس از آن به مدار فلوتاسیون اولیه رافر می‌رساند. کانی‌های باارزش باقی‌مانده در باطله‌ها، به‌عنوان یک کنسانتره مس با عیار پایین، از طریق فراوری مجدد باطله‌ها از بخش رافر با استفاده از یک مدار فلوتاسیون شامل رافر ثانویه

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 26 of 200

و اسکونجر، کلینر و کلینر مجدد بازیابی می‌شوند و کنسانتره به‌دست‌آمده به قسمت رافر اولیه برگردانده می‌شود. (شکل ۲-۱)

در این کارخانه آمیل گزنتات پتاسیم (KAX) درصد ۱۰ که یک تیول است، به‌عنوان کلکتور اولیه (۰/۳۰-۰/۳۵ کیلوگرم در تن) برای فلوته کردن مالاکیت و هتروژنیت به‌عنوان کانی‌های اصلی مس و کبالت استفاده می‌شود. مدار فلوتاسیون امکان تولید کنسانتره با عیار ۱۰ تا ۱۴ درصد مس را فراهم می‌کند. سنگ معدن اولیه تحت خردایش اولیه و ثانویه قرار می‌گیرد و به دنبال آن با سیلیکات سدیم داخل یک آسیای میله‌ای قرار می‌گیرد که در مدار بسته با هیدروسیکلون‌ها کار می‌کند و سرریز خود را به بخش حذف تالک و پس از آن به مدار فلوتاسیون اولیه رافر می‌رساند. کانی‌های بارزش باقی‌مانده در باطله‌ها، به‌عنوان یک کنسانتره مس با عیار پایین، از طریق فراوری مجدد باطله‌ها از بخش رافر با استفاده از یک مدار فلوتاسیون شامل رافر ثانویه و اسکونجر، کلینر و کلینر مجدد بازیابی می‌شود و کنسانتره به‌دست‌آمده به قسمت رافر اولیه برگردانده می‌شود.



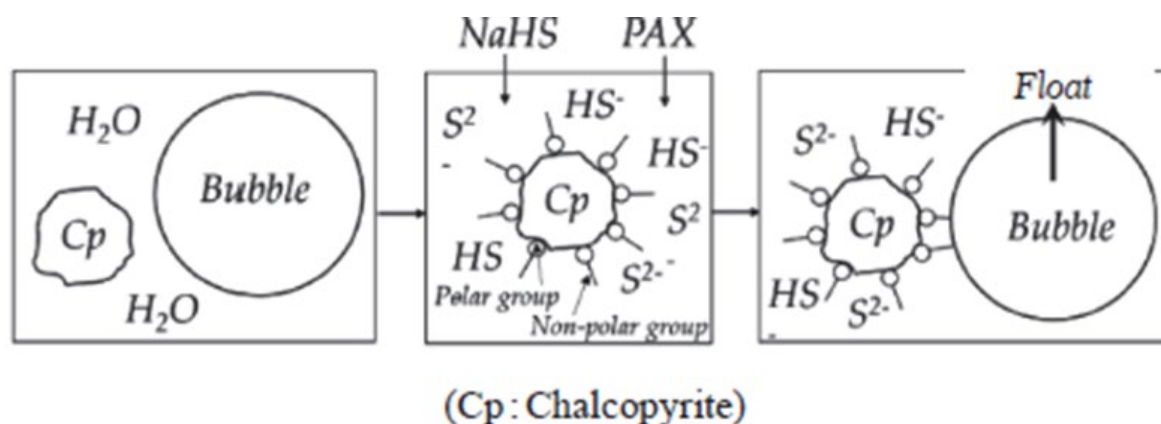
شکل (۲-۱)- فلوشیت فلوتاسیون باطله‌های بازیابی شده از پساب‌های تغلیظ‌کننده کامبوو

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که بازیابی مس و کبالت به مقدار معرف‌ها بستگی دارد. درواقع، افزایش ۱۷ درصدی مقدار معرف‌ها منجر به افت قابل‌توجهی در بازیابی مس (۱۸ درصد) و کبالت (۳۱ درصد) در طی فلوتاسیون رافر باطله‌ها می‌شود. در نتیجه، عیار مس در کنسانتره ۵/۵۰ درصد و کبالت ۴/۱۵ درصد به دست می‌آید و نزدیک به ۱۹ درصد کبالت و ۶۱ درصد مس در باطله‌ها باقی می‌ماند. افت در بازیابی فلزات ارزشمند مربوط به توزیع اندازه ذرات آن‌ها است زیرا در نمونه باطله، بیشتر مس در لجن‌هایی قرار دارد که شامل ذرات

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 27 of 200

فوق ریز آب دوست است که باعث پوشش کانی های ارزشمند و مصرف بیش از حد معرف ها می شود. بیشترین بازایافت فلزات مورد نظر (۴۵ درصد مس و ۸۳ درصد کبالت) با ۰/۶ کیلوگرم بر تن کلکتور KAX و ۶ کیلوگرم در تن عامل سولفیدی NaSH به دست آمد. از نظر سینتیکی، بالاترین بازایی مس و کبالت با استفاده از کمترین مقدار معرف ها به دست می آید. زیرا مس (بیشتر از ۴۰ درصد) و کبالت (بیش از ۸۰ درصد) در ۸ دقیقه اول فلوتاسیون بازایی می شود. در نهایت حدود ۱۰۰ درصد مس و ۸۸ درصد کبالت در طی فلوتاسیون رافر بازایی شد.

هان و همکاران در سال ۲۰۱۴ [۵]، به فرایند ارتقا و بازایی مس از باطله معدن منطقه بور، صربستان با استفاده از فلوتاسیون پرداختند. عیار مس، آهن و آلومینیوم موجود در باطله به ترتیب ۰/۲۴، ۳/۵۱ و ۳/۴۵ درصد وزنی بود. مطالعات فلوتاسیون تحت شرایط مختلف pH (۳/۵ تا ۱۲)، زمان (۰ تا ۲۰ دقیقه) و عامل سولفیدی (۰ تا ۱۰۰۰ گرم در تن) با استفاده از دو تنظیم کننده مختلف pH (NaOH و Ca(OH)_2) انجام شد. در بررسی استفاده از NaOH به عنوان تنظیم کننده pH، عیار و بازایی مس با افزایش pH افزایش یافت و با افزایش pH تا ۱۲، عیار و بازایی هر دو کاهش یافت. با توجه به نتایج به دست آمده، می توان از $\text{pH} = 10$ به عنوان نقطه بهینه برای تغلیظ استفاده کرد. در بررسی اثر استفاده از Ca(OH)_2 نیز عیار با افزایش pH تا ۶ افزایش یافته و پس از آن با افزایش pH تا ۱۲ پایدار شد و بازایی مس نیز با افزایش pH به ۱۲ تا ۴ درصد کاهش یافت. در بررسی اثر عامل سولفیدی مشخص شد که این معرف اثر بسیار مهمی بر فرایند بازایی مس دارد. سولفیدی کردن، کانی های اکسیدی مس را فعال می کند یا موجب تشکیل یک سولفید فلزی یا گوگرد اولیه روی سطوح آن ها می شود تا با استفاده از خواص کلکتور تیول، آن ها را در معرض فلوته شدن قرار دهد. (شکل ۱-۳) نتایج نشان داد که عیار مس در کنسانتره فلوتاسیون از ۰/۲۴ درصد وزنی به ۰/۸۱ درصد وزنی با نسبت غنی شدگی ۴ افزایش یافته است. بازایی مس در شرایط $\text{pH} = 10$ ، ۱۰۰۰ گرم در تن عامل سولفیدی NaHS، ۱۰۰ گرم در تن کلکتور PAX، ۲۰۰ گرم در تن کف ساز MIBC و زمان ۵ دقیقه ۶۰ درصد و عیار آلومینیوم و آهن به ترتیب از ۳/۴۵ و ۳/۵۱ درصد وزنی به ۰/۶ و ۶/۶ درصد وزنی رسید.



شکل (۳-۱) - تأثیر NaHS بر فلوتاسیون [۵]

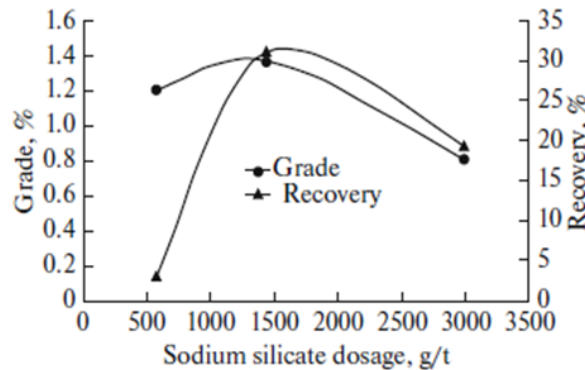
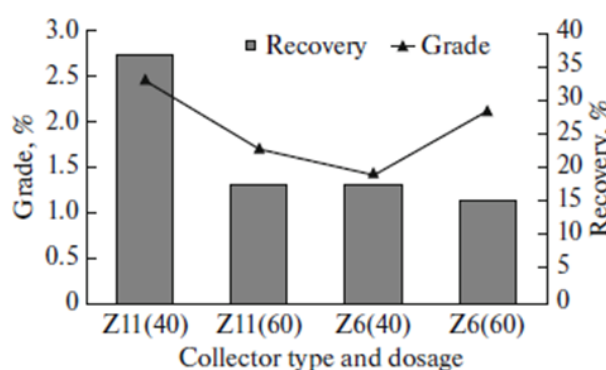
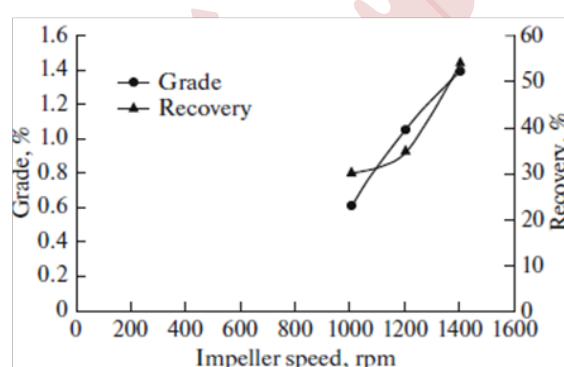
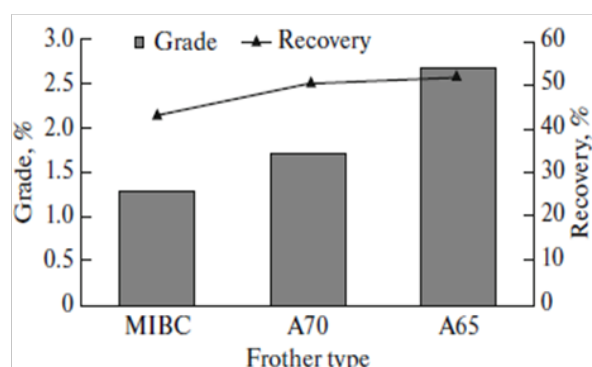
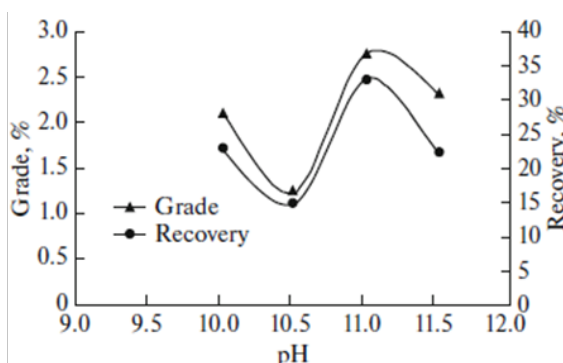
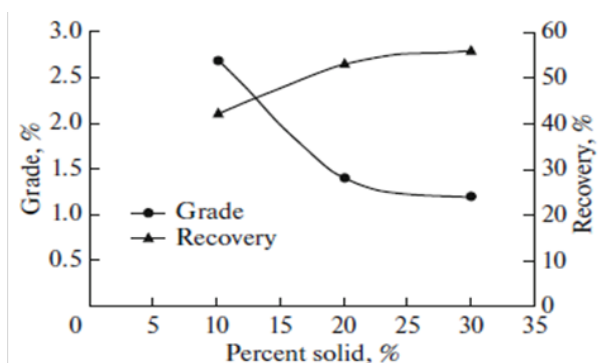
موسوی زاده و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۷]، به یک بررسی تجربی در مورد بازیابی مس از سدهای باطله فلوتاسیون معدن مس مزرعه، که شامل مخلوطی از پیریت، کالکوپیریت، سیلیکات و کانی‌های مغناطیسی است، به وسیله فلوتاسیون مجدد پرداختند. عیار نمونه شامل ۰/۱۳ درصد مس و ۴۵/۷۹ درصد اکسید آهن است. جداسازی مغناطیسی برای تغلیظ کانی‌های غیر مغناطیسی به‌ویژه کانی‌های مسی از کانی‌های آهن استفاده شد. در نتیجه عیار مس تا ۰/۱۸ درصد افزایش و بازیابی آن به ۸۶ درصد رسید. فلوتاسیون مس به دلیل سطح اکسید شده کانی‌ها و مقادیر زیادی ذرات ریز (حدود ۸۰ درصد و ۵۷ درصد به ترتیب ریزتر از ۳۷ و ۱۵ میکرون) بسیار مشکل بود. در این راستا اثر عوامل مهمی از جمله pH محلول، نوع و مقدار کلکتور، بازداشت کننده، سرعت چرخش، نوع کف ساز، درصد جامد و گوگرد سطحی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱- ۴ تأثیر پارامترهای مختلف فلوتاسیون بر عیار و بازیابی مس در نمونه را نشان می‌دهد.

بازیابی مس ۵۲ درصد و عیار مس ۲/۷ درصد با شرایط: pH = ۱۱، ۴۰ گرم در تن کلکتور Z11، کف ساز A65، ۱۰۰۰ گرم در تن Na₂S به عنوان عامل سولفیدی (سولفیدی کردن توسط Na₂S هم عیار مس و هم بازیابی را افزایش می‌دهد) با درصد جامد ۱۰ درصد (درصد جامدات کم به دلیل حباب کمتر و سطح فعال بیشتر روی سطوح حباب و ذره نتایج بهتری در ذرات ریز دارد) و سرعت چرخش ۱۴۰۰ دور در دقیقه به عنوان شرایط بهینه به دست آمده آمد. از سوی دیگر، افزودن سیلیکات سدیم به عنوان متفرق کننده اثر منفی بر عملکرد فلوتاسیون نشان داد.

اوزدمیر و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۹]، به بررسی امکان استحصال مس و طلا از باطله‌های فلوتاسیون معدن

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 29 of 200

بور با استفاده از فلوتاسیون مجدد پرداختند. نمونه حاوی ۰/۲۴ درصد مس، ۷/۷ درصد آهن، ۷ درصد گوگرد و ۰/۴۱ پی پی ام طلا و ۲/۲ پی پی ام نقره است. براساس آنالیز کانی شناسی نمونه، کانی سولفیدی اصلی در باطله پیریت به همراه کانی های کالکوپیریت، انارژیت، کوولیت و کالکانتیت است و نیمی از کل محتوای مس محلول در آب و اسید است. برای بازیابی هر دو کانی مس و پیریت به کنسانتره، آزمایش های فلوتاسیون در شرایط $pH = 9.75$ ، درصد جامد ۳۵، اندازه ذرات ۲۶ میکرون، دبی هوای ۳ لیتر در دقیقه و سرعت چرخش پروانه ۱۳۰۰ دور در دقیقه و ۱۵۰۰ دور در دقیقه به ترتیب در سلول های ۲ لیتر و ۴ لیتر با ۱۴۰ گرم در تن سدیم ایزوبوتیل گزنات (SiBX) به عنوان کلکتور و ۸۰ گرم در تن پلی پروپیلن گلیکول متیل اتر (Dow froth) 250 به عنوان کف ساز انجام شد. افزون بر این، مس محلول را می توان با تنظیم pH و Eh رسوب داده و در حضور کلکتور SiBX به کنسانتره فلوته کرد. در نهایت براساس نتایج می توان گفت، هم مس و هم طلا را می توان به طور مؤثر به کنسانتره پیریت بازیابی کرد. (۸۵ درصد گوگرد و ۸۰ درصد مس) بازیابی طلا و نقره به ترتیب ۴۹ درصد و ۸۴ درصد بود. کنسانتره نهایی حاوی ۵۰/۷ درصد گوگرد، ۱/۶۵ درصد مس و ۹ پی پی ام طلا بود.



شکل (۴-۱)- تأثیر پارامترهای مختلف فلوتاسیون بر عیار و بازیابی مس حاصل از باطله [۷]

برست و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۰]، به بررسی آماری پارامترهای فلوتاسیون برای بازیابی مس از باطله فلوتاسیون سولفیدی سد باطله واقع در جنوب کنگو پرداختند. اثرات پارامترهای فلوتاسیون شامل چگالی پالپ، مقادیر کلکتور، کف‌ساز و بازداشت‌کننده به‌وسیله روش طراحی آزمایش فاکتوریل ۲ سطحی برای به‌دست‌آوردن یک رویکرد مؤثر برای تغلیظ کانی‌های مس مورد بررسی قرار گرفت. کالکوپریت کانی اصلی

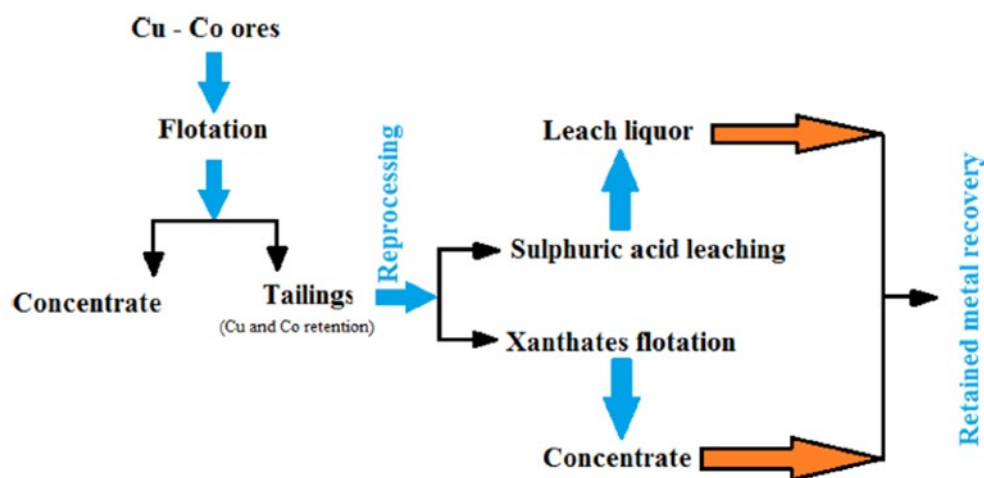
	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 31 of 200

مس بوده و هتروژنیت و هماتیت به ترتیب کانی‌های اصلی کبالت و آهن بودند. توزیع اندازه ذرات آن نیز d_{90} برابر ۷۵ میکرون بود. آزمایش‌های فلوتاسیون در یک سلول ۲.۵ لیتری دنور در pH خنثی (۷)، سرعت همزنی ۳۲۵ دور در دقیقه و جریان هوا ۷ لیتر در دقیقه انجام شد. از سدیم ایزوبوتیل گزنات (SIBX) به عنوان کلکتور (خلوص بیش از ۹۸ درصد)، سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) به عنوان بازداشت کننده و Hydrofroth به عنوان کف ساز (عیار آزمایشگاهی) استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد فلوتاسیون یک گزینه انتخابی در بازیابی مس از باطله فلوتاسیون بدون توجه به ماهیت آن است و با به کارگیری شرایط بهینه عیار مس ۸/۳۹ با بازیابی ۶۱/۲۳ درصد به دست آمد. مقدار کلکتور تأثیرگذارترین پارامتری است که بر عیار مس تأثیر می‌گذارد. بازیابی مس عمدتاً تحت تأثیر مقدار کلکتور و به دنبال آن برهم کنش تمام ۴ پارامتر (چگالی پالپ، مقادیر کلکتور، کف ساز و بازداشت کننده) است.

میشل شنگو در سال ۲۰۲۱ [۱۱]، به بررسی مسیرهای فراوری مجدد بالقوه قابل بهره‌برداری برای بازیابی مس و کبالت باقی مانده در باطله‌های فلوتاسیون کانی‌های اکسید شده مس و کبالت ذخایر لوئیسویشی (DR کنگو) در مرکز کیپوشی (NCK) پرداخت. باطله‌های مورد بررسی حاوی مس (۰/۷۴ درصد) و کبالت (۰/۳۷ درصد) و کانی‌های اکسید شده (مالاکیت و هتروژنیت) و همچنین حاوی مواد سیلیسی (~ ۶۴ درصد SiO_2) یعنی کوارتز همراه با کانی‌های سولفید مس و کبالت بودند. آهن و کلسیم به ترتیب به صورت هماتیت و دولومیت در باطله‌ها وجود داشت. آزمایش‌های انجام شده در مقیاس آزمایشگاهی، شناسایی ۲ مسیر قابل بهره‌برداری برای بازیابی فلزات باقی مانده در باطله‌ها را امکان پذیر کرد: اول، لیچینگ باطله‌ها با اسیدسولفوریک در شرایط احیا که می‌تواند با استخراج با حلال قبل از استخراج الکتریکی مس و رسوب کبالت به صورت هیدروکسید یا کربنات خالص شود. دوم، سولفیداسیون با سولفید کننده سولفید سدیم (NaHS) و فلوتاسیون کانی‌های با ارزش با استفاده از گزنات‌ها (پتاسیم آمیل گزنات - KAX) و به دست آوردن کنسانتره برای استحصال مس و کبالت با استفاده از اسیدسولفوریک لیچ شده و مس به صورت کاتد و کبالت به صورت نمک.

(شکل ۱-۵)

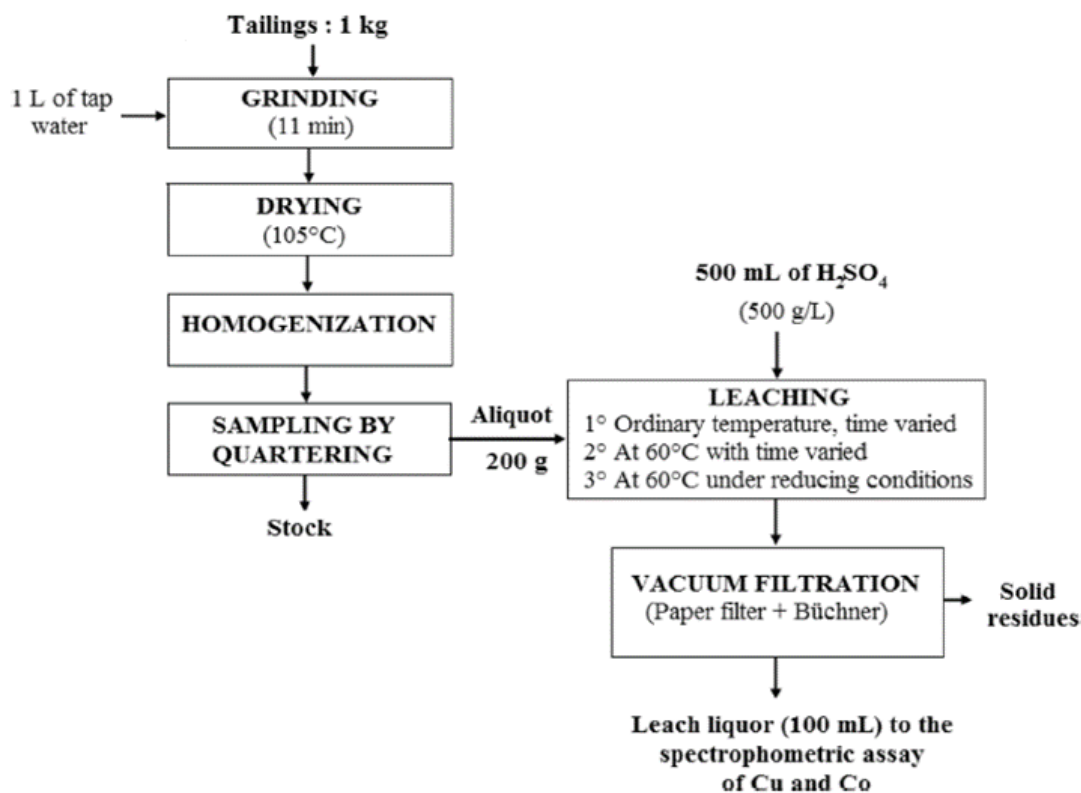
	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 32 of 200



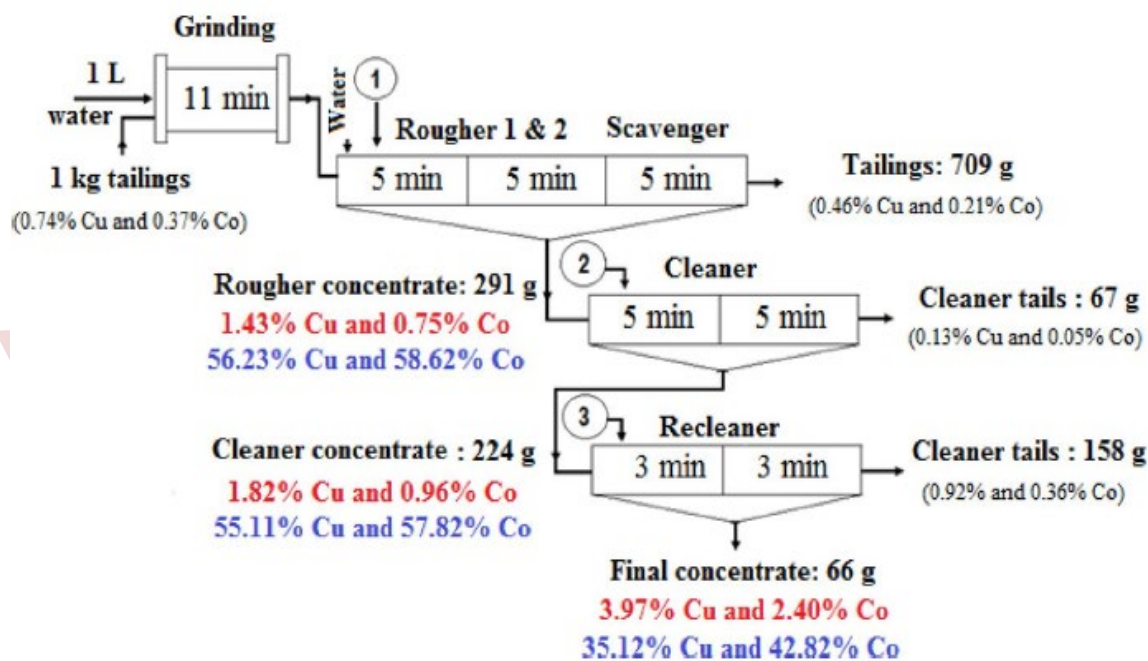
شکل (۵-۱) - فلوشیت روش‌های مختلف استحصال مس و کبالت از باطله‌ها [۱۱]

برای انجام آزمایش‌های لیچینگ مقدار ۲۰۰ گرم نمونه، با ابعاد ذرات ۲۵ درصد بزرگ‌تر از ۷۵ میکرون، با ۵۰۰ میلی‌لیتر محلول اسیدسولفوریک (۵۰۰ گرم در لیتر) در دمای ۶۰ درجه و زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه و سرعت همزنی ۶۰۰ دور در دقیقه مخلوط شد. (شکل ۱-۶) در نهایت، لیچینگ باطله‌ها طی ۱۲۰ دقیقه با مقدار ۵، ۱۰ و ۱۵ گرم متابی سولفید سدیم ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) به عنوان عامل احیاکننده کبالتیک هتروژنیت، کانی حامل کبالت، انجام شد. آزمایش‌های فلوتاسیون نیز با شرایط؛ سیلیکات سدیم ۳۰ درصد (بازداشت‌کننده)، Dowfroth 250 درصد ۱۰۰ (کف‌ساز)، سدیم هیدروژن سولفید ۳۶ درصد (عامل سولفیدی)، پتاسیم آمیل گزنتات ۱۰ درصد (کلکتور اولیه)، مخلوط حاوی گازوئیل ۸۵ درصد و Rinkalore درصد ۱۵ (کلکتور ثانویه)، اسیدسیتریک ۲۰ درصد (تنظیم‌کننده pH)، سولفات آمونیوم درصد ۳۰ (Promoter) انجام شد. (شکل ۱-۷)

نتایج نشان داد که انجام فرایند لیچینگ مستقیم باطله‌ها از نظر فنی آسان به نظر می‌رسد و باعث صرفه‌جویی در هزینه به دلیل استفاده از معرف‌های کمتر (اسیدسولفوریک و عامل احیاکننده) در مقایسه با فلوتاسیون آن‌ها می‌شود. در فرایند دوم فلوتاسیون باطله‌ها، منجر به یک کنسانتره عاری از کانی‌های باطله می‌شود. با این حال، استخراج هیدرو متالورژیکی فلزات مورد نظر نیاز به تصفیه محلول لیچینگ دارد، فرایندی که می‌تواند از نظر مصرف معرف‌ها، صرف نظر از ماده اولیه (باطله یا کنسانتره) پرزحمت و پرهزینه باشد. به همین دلیل است که با توجه به انتخاب مقرون به صرفه‌ترین و مناسب‌ترین مسیر برای فراوری مجدد باطله‌های مورد نظر، مقایسه هزینه‌های عملیاتی مورد نیاز است.



شکل (۱-۶) - فلوشیت لیچینگ باطله‌ها با اسیدسولفوریک [۱۱]



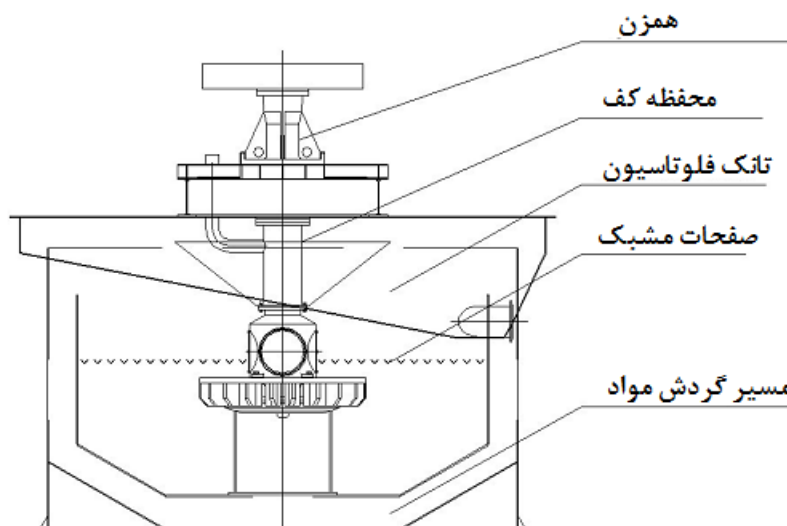
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 34 of 200

شکل (۷-۱) - فلوشیت نهایی فلوتاسیون باطله‌ها با گزنتات‌ها [۱۱]

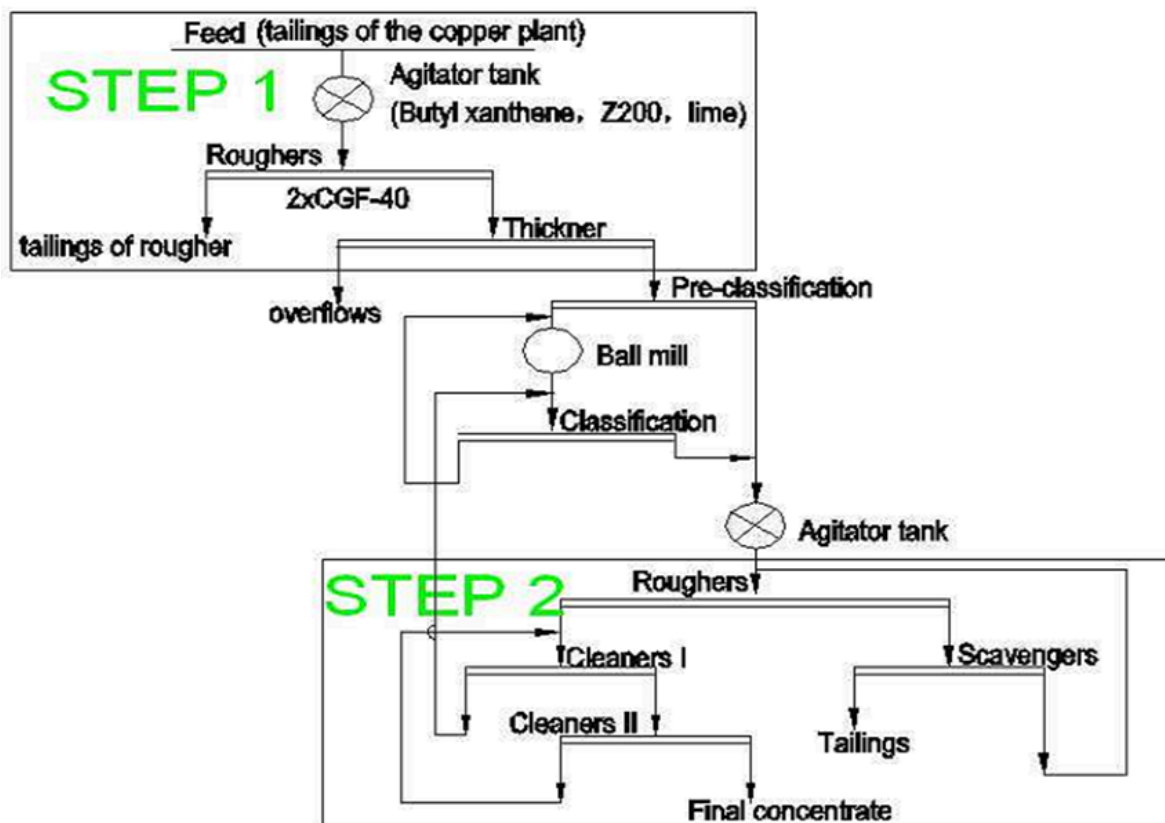
در جدول (۱-۱) دو مورد از تحقیقات انجام شده در مقیاس پایلوت و صنعتی بوده است که به دلیل اهمیت آن‌ها با جزییات بیشتر ارائه می‌شود.

کارخانه فلوتاسیون جیانگژی در چین با ظرفیت سالانه ۱۸۵۰۰۰ تن فعالیت می‌کند. میزان بازیابی مس در این کارخانه ۸۶/۵ درصد است و ۱۳/۵ درصد مس به سد باطله منتقل می‌شود به طوری که محتوی مس سد باطله در حدود ۱۰۰۰۰ تن برآورد شده است. براساس مطالعات، علت اصلی اتلاف مس ورود ذرات درشت‌تر به جریان باطله است. ۵۰ درصد ذرات درشت‌تر از ۴۳ میکرون است و عیار مس در این بخش ابعادی ۰/۱ درصد است. در مقیاس آزمایشگاهی، آزمایش‌های فلوتاسیون به ۳ روش مدارباز، مدار بسته و نرمه‌گیری - مدار بسته انجام شد. بهترین نتیجه برای گزینه سوم حاصل شد که کنسانتره‌ای با عیار ۶/۱۴ درصد و بازیابی ۶۰/۱۳ تولید شد. برای تست‌های صنعتی، به دلایلی عدم دسترسی به هیدروسیکلون، گزینه نرمه‌گیری حذف شده و مورد اجرا قرار نگرفت. با توجه به اهمیت ذرات درشت در باطله، از سلول فلوتاسیون جدیدی استفاده شد که توسط مرکز تحقیقاتی BGRIMM در چین توسعه داده شده است. ساختار جدید این سلول باعث بهبود فرایند فلوتاسیون ذرات درشت می‌شود. (شکل ۸-۱) در شکل (۹-۱) فلوشیت انجام آزمایش‌ها را نشان داده شده است. چگالی پالپ ۳۲ درصد، دبی خوراک $8 \text{ m}^3/\text{min}$ و زمان ماند ۸/۵ دقیقه بود.

از مقدار ۲۰ g/t سدیم بوتیل گزنتات (Z200) به عنوان کلکتور در pH بین ۷ تا ۸/۵ استفاده شد. پس از انجام آزمایش‌های مختلف، کنسانتره‌ای با عیار ۱۳/۶۷ درصد مس تولید شد و ۲۲ درصد مس بازیابی شد. بدین ترتیب امکان بازیابی ۳۰۰۰ تن مس از سد باطله فراهم شد. [۶]



شکل (۸-۱) - سلول فلوتاسیون جدید توسعه یافته در مرکز تحقیقاتی BGRIMM چین [۶]



شکل (۹-۱) - فلوشیت آزمایش های صنعتی روی باطله مس کارخانه جیانگژی [۶]

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 36 of 200

شرکت مولیبدن چین^۱ بزرگترین تولیدکننده مولیبدن در چین، مالک کارخانه لوآنچوآن در استان هنان چین است. در این شرکت روزانه ۳۵ میلیون تن کانسنگ در ۴ کارخانه جداگانه فراوری می‌شود. کانه مولیبدن طی ۲ مرحله استحصال می‌شود. در مرحله اول با استفاده از کروژین به‌عنوان کلکتور و روغن کاج به‌عنوان کف‌ساز، کنسانتره تجمعی مولیبدن تولید می‌شود. کنسانتره تولیدی مجدد وارد مدار فلوتاسیون شده و در نهایت کنسانتره اصلی مولیبدن تولید می‌شود و مس به سد باطله وارد می‌شود. عیار مس در باطله بین ۰/۴۸ – ۰/۱۵ درصد است. علاوه بر این، باطله حاوی گالن و اسفالریت است. [۸]

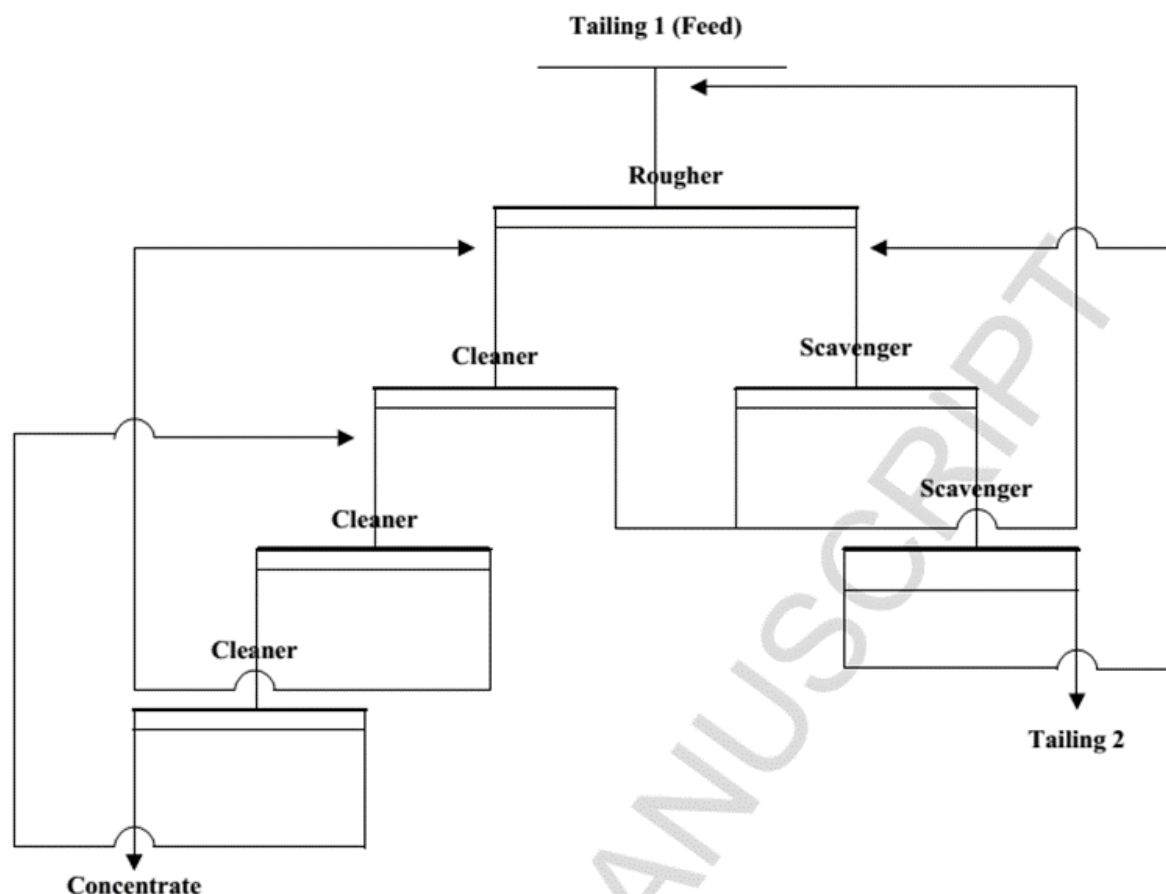
براساس آنالیز دانه‌بندی باطله، D80 و D50 به‌ترتیب برابر ۲۲ و ۹ میکرون است که نشان می‌دهد یکی از چالش‌های اصلی در باز فرآوری این باطله وجود نرمه‌ها است.

در مقیاس آزمایشگاهی، تأثیر پارامترهایی مانند غلظت و نوع متفرق‌کننده (آهک و NADA)، کلکتور COES (گزنتات)، فعال‌کننده سولفات مس بررسی شد. شرایط بهینه به‌صورت ۲۰۰ گرم بر تن از NADA، ۳۰ گرم بر تن COES و ۴۰۰ گرم بر تن سولفات مس تعیین شد.

در مرحله بعدی مداری شامل یک مرحله رافر، ۲ مرحله رمق‌گیر و ۳ مرحله کلینر طراحی شده که در شکل (۱۰-۱) مشاهده می‌شود و تست‌های فلوتاسیون سیکل بسته روی آن انجام شد. در نهایت کنسانتره مس با عیار ۱۹/۴۲ درصد و بازیابی ۸۴/۵۸ درصد از فلوتاسیون باطله تولید شد. [۸]

¹ CMOC

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 37 of 200

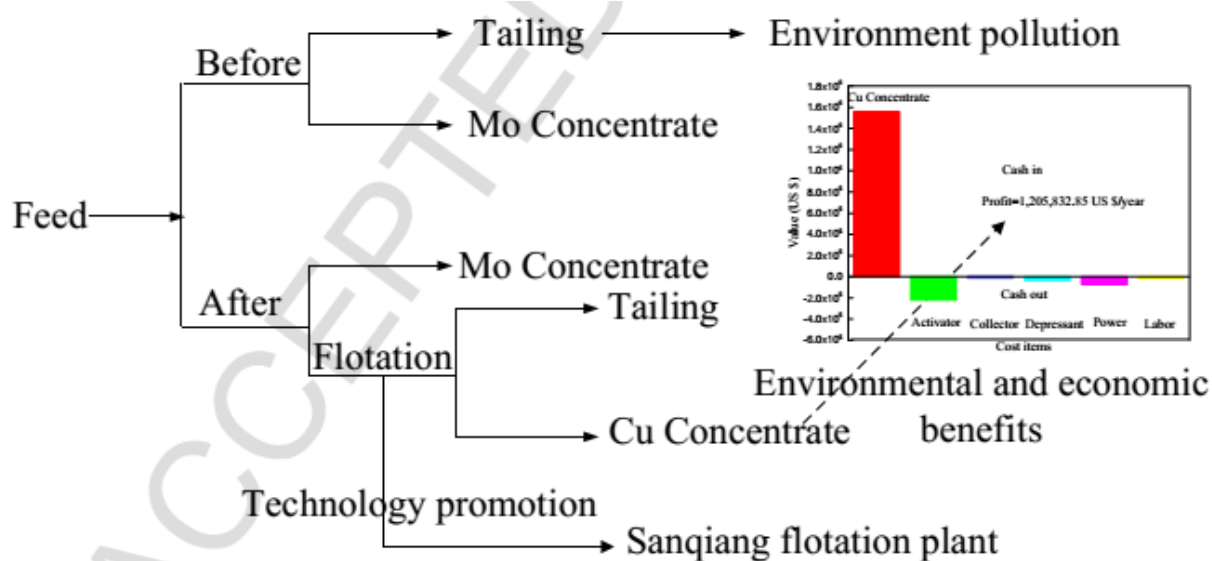


شکل (۱۰-۱)- مدار فلوتاسیون مورد استفاده در تست‌های فلوتاسیون سیکل بسته [۸]

در مرحله بعد فراوری مجدد باطله در مقیاس صنعتی انجام شد. عیار مس و مولیبدن در خوراک ورودی به‌ترتیب در محدوده ۰/۰۲۹ - ۰/۰۰۸ درصد و ۰/۱۴۵ - ۰/۱ درصد بود. در نهایت پس از ۵۰ هفته اجرا و بهینه‌سازی، کنسانتره‌ای با عیار ۱۹/۴۸ درصد و بازیابی ۸۰/۹۷ درصد حاصل شد. (شکل ۱-۱۱)

در مرحله پایانی بررسی فنی و اقتصادی فرایند بازیابی مجدد باطله انجام شد. بر این اساس، بازیابی مجدد باطله سالانه سودی معادل ۱۲۰۵۸۳۲ دلار را ایجاد خواهد کرد.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 38 of 200



شکل (۱-۱۱)- مقایسه فلوشیت کارخانه فلوتاسیون قبلی با بعد از نوآوری تغلیظ باطله [۸]

۱-۳-۲- روش‌های نوین فلوتاسیون

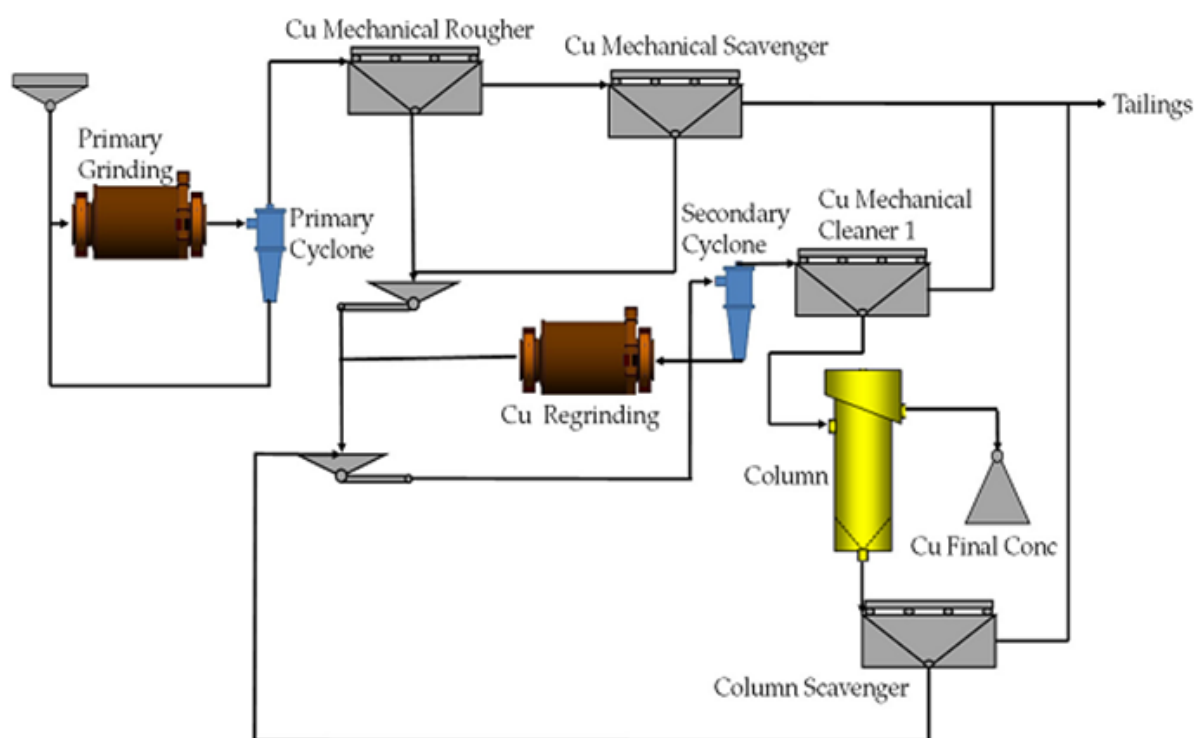
باطله‌ها بیشتر حاوی ریزترین و درشت‌ترین بخش‌های ابعادی است. (کوچک‌تر از ۲۰ میکرومتر و بزرگ‌تر از ۱۰۵ میکرومتر) به همین دلیل، استفاده از تکنیک فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله‌های مس با چالش‌هایی مانند اتصال ذره و حباب به یکدیگر روبه‌رو است. همین امر منجر به تلاش برای توسعه تکنیک‌های جدید فلوتاسیون شده است. در ادامه به روش‌های نوین ارائه‌شده پرداخته می‌شود.

۱-۳-۲-۱- بهبود فلوتاسیون باطله با کاهش ابعاد حباب هوا

فلوتاسیون ستونی:

فلوتاسیون ستونی در سال ۱۹۶۰ اختراع شد و استفاده صنعتی از آن از سال ۱۹۸۰ شروع شد. مبنای این روش بر تزریق هوا از درون اسپارجرهای خاص و تحت فشار و در نتیجه تولید حباب‌هایی با ابعاد ریز است. این روش یکی از تکنیک‌های مؤثر برای بازیابی باطله‌های ریزدانه است. شکل (۱-۱۲) مدار ساده‌ای از کاربرد فلوتاسیون ستونی برای بازیابی مجدد باطله را نشان می‌دهد. از مزایای این روش هزینه نصب و راه‌اندازی پایین، هزینه عملیاتی پایین و امکان دستیابی به کنسانتره‌ای با عیار بالاتر نسبت به فلوتاسیون رایج است. [۱۲]

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 39 of 200



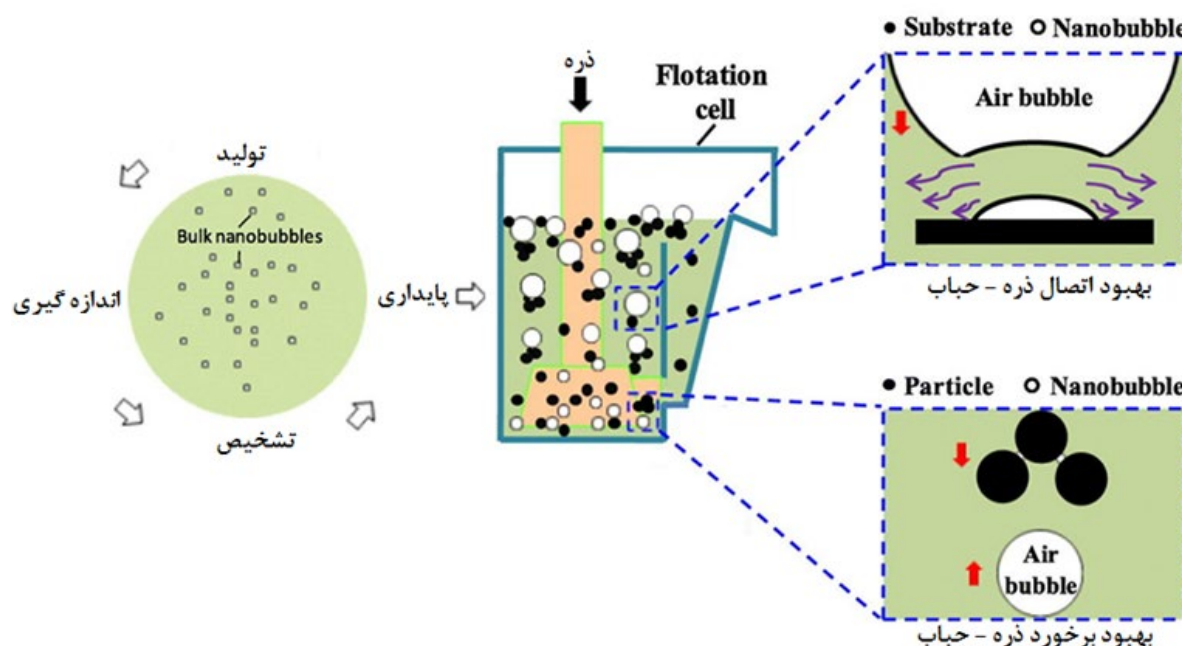
شکل (۱-۱۲) - مدار ساده‌ای از کاربرد فلوتاسیون ستونی برای بازیابی مجدد باطله [۱۲]

فلوتاسیون میکرو حباب:

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، کاهش اندازه حباب یکی از راهکارهای بهبود فلوتاسیون ذرات نرمه و در نتیجه بهبود بازیابی مجدد باطله‌ها است. تاکنون سیستم‌های مختلفی مانند الکتروفلوتاسیون، فلوتاسیون هوای محلول (بر مبنای تغییرات حلالیت گاز در محلول با تغییرات فشار و تولید حباب)، کاویتاسیون هیدرودینامیکی و فلوتاسیون هوای متفرق شده برای تولید حباب‌هایی با ابعاد $100-1 \mu m$ به کار گرفته شده است. فلوتاسیون میکرو حباب برای بازیابی کانی‌های مانند کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال، استفاده از میکرو حباب‌ها برای فلوتاسیون با چالش‌هایی نیز روبه‌رو است. برای مثال، درحالی‌که کاهش ابعاد حباب‌ها سبب بهبود برخورد ذره-حباب می‌شود، صعود میکرو حباب‌ها به سمت بالای سلول فلوتاسیون بسیار کند است که به علت نیروی مقاومت سیال است. [۱۲]

فلوتاسیون نانوحباب:

یکی دیگر از تکنیک‌های مورد بررسی برای بهبود فلوتاسیون نرمه‌ها استفاده از نانوحباب است. نانوحباب‌ها ابعادی کمتر از $1 \mu m$ دارد. شکل (۱-۱۳) مکانیسم تشکیل نانوحباب را نشان می‌دهد. [۱۲]



شکل (۱-۱۳) - مکانیسم تشکیل نانوحباب و بهبود فلوتاسیون نرمه‌ها [۱۲]

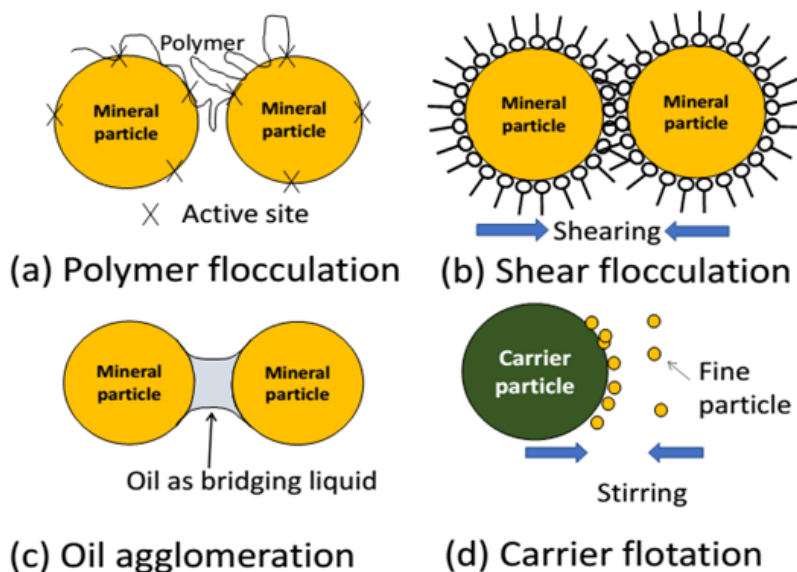
۱-۳-۲-۲- بهبود فلوتاسیون باطله با افزایش ابعاد ذرات

یکی از روش‌های بهبود فلوتاسیون ذرات نرمه و بازیابی مجدد باطله‌ها، افزایش ابعاد ذرات با فرایند آگلومراسیون ذرات و تولید لخته‌های بزرگ‌تر و فلوتاسیون آن‌ها است. در جدول (۱-۲) انواع روش‌های آگلومراسیون ذرات و مواد شیمیایی مورد استفاده شرح داده شده است. همچنین در شکل (۱-۱۴) مکانیسم عمل در هر روش به‌صورت شماتیک نشان داده شده است. شکل (۱-۱۵) نیز، نحوه کاربرد روش آگلومراسیون برای بهبود بازیافت ذرات نرمه با ارزش در مدار فلوتاسیون مس ارائه شده است. [۱۲]

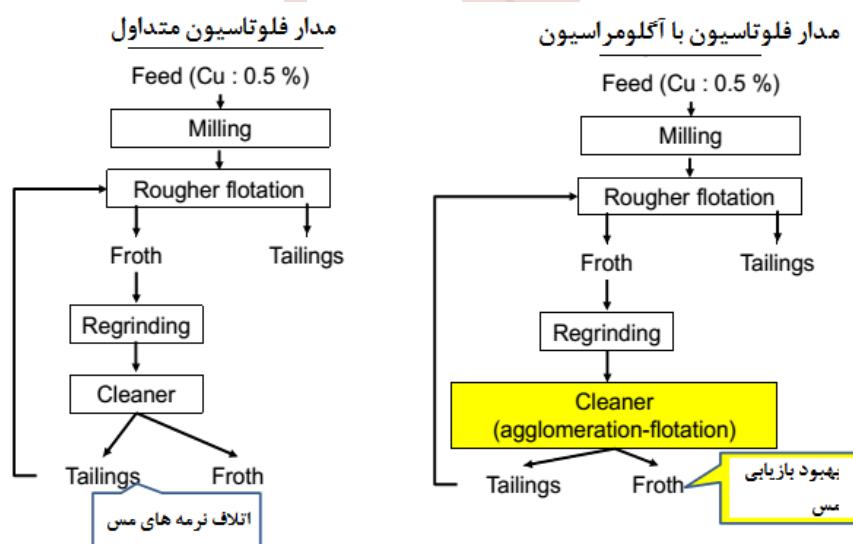
جدول (۱-۲) - انواع روش‌های آگلومراسیون ذرات نرمه و مواد شیمیایی مورد استفاده [۱۲]

روش	روش	مواد شیمیایی مورد استفاده
Polymer Flocculation	فلوکولاسیون پلیمری	پلیمر، سطح‌ساز
Shear Flocculation	فلوکولاسیون برشی	سطح‌ساز
Oil Agglomeration	آگلومراسیون روغنی	روغن، سطح‌ساز
Carrier Flocculation	فلوتاسیون حامل	سطح‌ساز، مواد حامل

 NIPEC نیپک شرکت مهندسی و توسعه صنایع مس ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 41 of 200



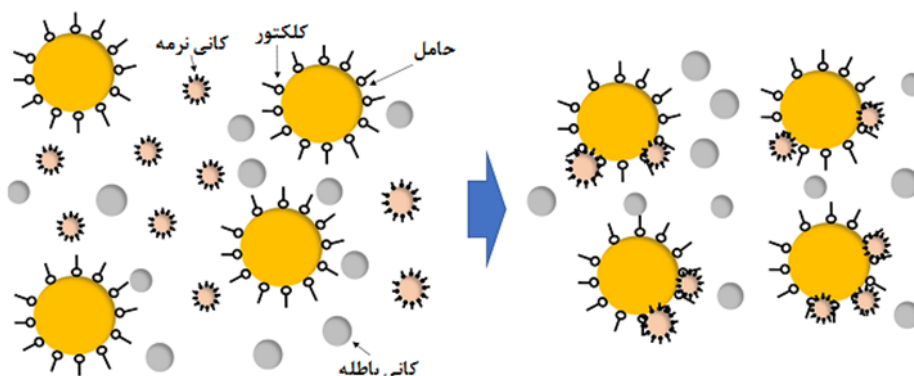
شکل (۱-۱۴) - مکانیسم اتصال ذرات و تولید آگلومره در تکنیک‌های مختلف آگلومراسیون [۱۲]



شکل (۱-۱۵) - نحوه کاربرد روش آگلومراسیون برای بهبود بازیافت ذرات نرمه باارزش در مدار فلوتاسیون مس [۱۲]

یکی از چالش‌های اصلی در استفاده از روش‌های آگلومراسیون برای بازیابی مس از باطله‌ها، پایین بودن درصد وزنی کانی‌های مس در باطله است که سبب کوچک بودن فلوک‌های تشکیل شده و کاهش شدید انتخاب‌پذیری فرایند تولید لخته می‌شود. به علاوه این روش‌ها با مشکلاتی مانند مصرف بالای مواد شیمیایی، پیچیدگی

مکانیسم و شیمی عملیات و مصرف بالای انرژی مواجه است. باین حال، فلوکولاسیون حامل از پتانسیل بالاتری برای استفاده در بازیابی مجدد باطله مس برخوردار است؛ زیرا در این روش، ابعاد فلوکها به ابعاد خود ذره حامل بستگی دارد و حتی اگر مقدار ذرات نرمه محدود باشد هم قابل اجرا است. در این روش، ذرات درشت تر به عنوان حاملی برای ذرات ریزتر عمل می کنند و شناورسازی ذرات نرمه کانی با ارزش را بهبود می دهند. (شکل ۱۶-۱) [۱۲]



شکل (۱۶-۱) - شماتیک مکانیسم فلوتاسیون حامل [۱۲]

در جدول (۳-۱) برخی از مطالعات انجام شده درباره فلوتاسیون نرمه ها با روش فلوتاسیون حامل برای کانی های مس ارائه شده است.

جدول (۳-۱) - مطالعات انجام شده درباره فلوتاسیون نرمه ها با روش فلوتاسیون حامل

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
۱۳	۲۰۱۰	تابوسا و همکاران	فلوتاسیون کانی ای مس با آماده سازی شدت بالا و بار در گردش کنسانتره	استفاده همزمان از شدت بالای همزنی (ایجاد نیروی برشی) و افزایش درصد جامد سلول با برگشت کنسانتره افزایش عیار مس به مقدار ۳/۶ و بازیابی مس به میزان ۱۷ درصد
۱۴	۲۰۲۱	بیلال و همکاران	تأثیر ذرات درشت کالکوپیریت بر فلوتاسیون ذرات نرمه آن	مقایسه فلوتاسیون نرمه کالکوپیریت در حضور و عدم حضور ذرات درشت افزایش بازیابی ذرات نرمه از ۲۰ به ۸۰ درصد در حضور ذرات درشت
۱۵	۲۰۲۲	بیلال و همکاران	فلوتاسیون حامل نرمه های	مقایسه فلوتاسیون نرمه کالکوپیریت در حضور و عدم حضور ذرات درشت پیریت

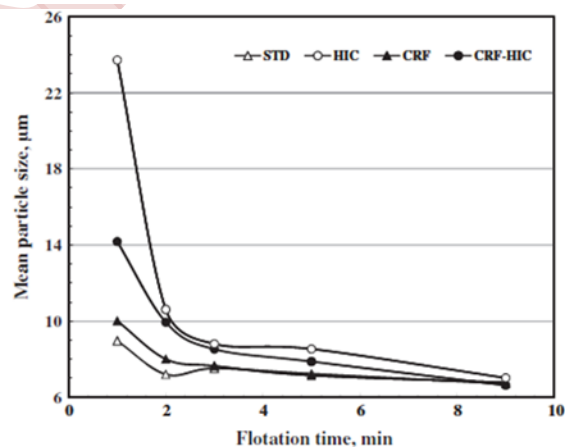
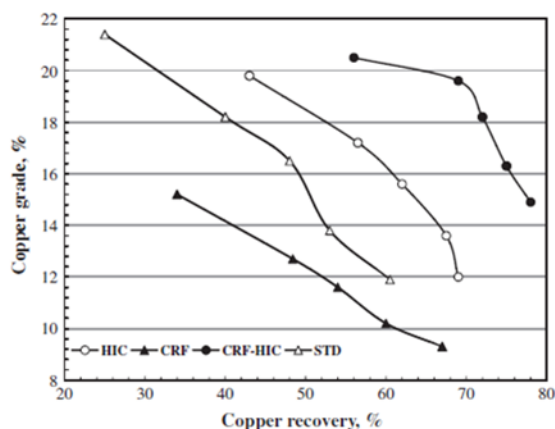
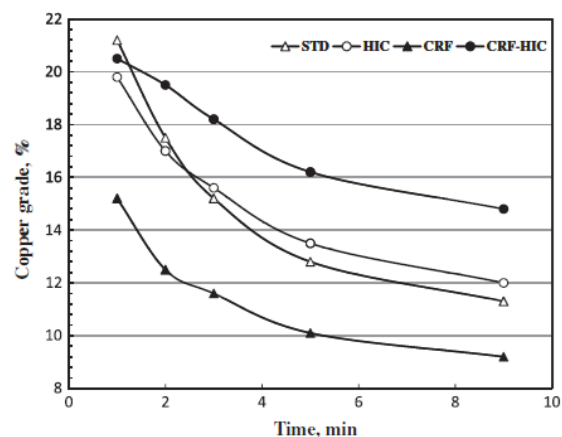
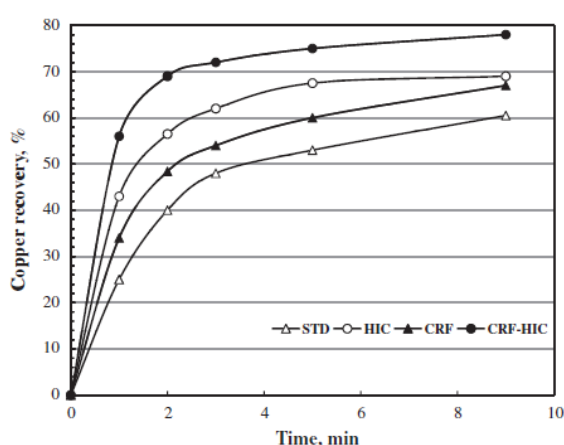
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 43 of 200

تأثیر مثبت فعال سازی اولیه ذرات پیریت بر راندمان	کالکوپیریت با ذرات
فلوتاسیون حامل	درشت پیریت
بازیابی ۹۰ درصدی ذرات نرمه کالکوپیریت به کف در حضور	
پیریت فعال شده	

تابوسا و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۱۳]، تأثیر بازگردانی مجدد کنسانتره میانی (محصول فلوتاسیون رافر) به خوراک فلوتاسیون رافر را که فلوتاسیون چرخش مجدد کنسانتره (CRF) نامیده می شود، در مقیاس آزمایشگاهی بررسی کردند. پارامترهای اصلی مورد استفاده برای ارزیابی این رویکرد، نرخ فلوتاسیون و بازیابی ذرات ریز (۱۳-۴۰ میکرون) و فوق ریز (۱۳ میکرون) < سولفید مس بود. هدف از این کار مقایسه کنسانتره آزمایش های فلوتاسیون رافر استاندارد (STD) با فلوتاسیون چرخش مجدد کنسانتره به رافر (CRF) است. همچنین، اثر مقایسه ای آماده سازی با دور همزنی بالا (HIC)، به عنوان مرحله قبل از شناور سازی برای فلوتاسیون رافر، به تنهایی یا همراه با CRF مورد مطالعه قرار گرفت. آزمایش های فلوتاسیون با شرایط: ۳۰ گرم بر تن کلکتور SF-113 (سدیم ایزوپروپیل گزنات)، ۸ گرم بر تن کمک کلکتور SF-506، ۲۵ گرم بر تن کف ساز DF250، $pH = 10.5$ و درصد جامد ۳۸ درصد، با دور همزنی ۱۰۰۰ دور در دقیقه انجام شد. شکل (۱-۱۷) نمودارهای مقایسه ای سینتیکی و عیار و بازیابی نمونه ها را نشان می دهد. نتایج نشان داد که گردش مجدد کنسانتره فلوتاسیون باعث افزایش بازیابی متالورژیکی، عیار و سرعت شناور سازی سولفیدهای مس می شود. بهترین نتایج با گردش مجدد کنسانتره همراه با آماده سازی با دور همزنی بالا (HIC-CRF) به دست آمد. مقادیر نرخ سینتیک دو برابر شد، بازیابی مس ۱۷ درصد و عیار مس ۳/۶ درصد افزایش یافت.

فلوتاسیون ذرات بسیار ریز به دلیل راندمان کم برخورد بین ذرات و حباب ها، بازیابی پایینی دارد. فلوتاسیون حامل روشی برای افزایش بازیابی با اتصال ذرات ریز به ذرات حامل بزرگ تر است. بیلال و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۱۴]، اثرات ذرات درشت کالکوپیریت به عنوان یک حامل بر رفتار فلوتاسیون کالکوپیریت ریزدانه با استفاده از ۲۰ گرم کالکوپیریت ریز (اندازه ذرات $D_{50} = 2/3$ میکرون) با مقدار متنوعی از ذرات حامل در اندازه های مختلف (۷۵-، ۳۵+ و ۱۰۶-، ۷۵+ میکرون) را مورد بررسی قرار دادند. نمونه قبل از افزودن کلکتور و کف ساز اولتراسونیک شد سپس با کلکتور (KAX) به مدت ۳ دقیقه و با کف ساز (MIBC) به مدت ۳ دقیقه آماده سازی شده و سپس کنسانتره فلوتاسیون در فواصل ۱، ۴، ۷ و ۱۰ دقیقه جمع آوری شد. نتایج نشان داد که افزودن ذرات حامل، بازیابی ذرات بسیار ریز را از حدود ۲۵ درصد (بدون حامل) به حدود ۸۰ درصد (با ۲۰ گرم حامل، اندازه ۷۵-، ۳۸+ میکرون) بهبود بخشید. بازیابی ذرات ریز با اندازه حامل کوچک تر (۷۵-، ۳۵+

میکرون) در مقایسه با اندازه حامل بزرگتر (۱۰۶-، ۷۵+ میکرون) بیشتر بود، اگرچه این تفاوت زیاد نبود. محاسبات نظری نشان داد که برهم کنش آبگریزی در مقایسه با نیروی واندروالسی در چسبیدن ذرات ریز کالکوپیریت به حامل (ذرات کالکوپیریت بزرگتر) نقش غالبتری ایفا می کند.



شکل (۱۷-۱) - نمودارهای سینتیکی، عیار و بازیابی کنسانتره های مس STD، CRF، HIC، و CRF-HIC [۱۳]

بیلال و همکاران در سال ۲۰۲۲ [۱۵]، به دنبال مطالعه قبلی در مورد فلوتاسیون حامل این بار از ذرات درشت پیریت به عنوان حامل برای بازیابی ذرات ریز کالکوپیریت استفاده کردند. آزمایش های فلوتاسیون برای کالکوپیریت ریز آسیا شده ($D_{50} \sim 3$ میکرون) با و بدون پیریت درشت (۱۲۵-، ۱۰۶+ میکرون) با استفاده از آمیل گزنات پتاسیم به عنوان کلکتور انجام شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که پیریت خام به عنوان یک حامل مؤثر عمل نمی کند. همچنین میزان کالکوپیریت ریز متصل به پیریت زیاد نبوده و بازیابی مس با و بدون پیریت

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 45 of 200

تغییری نکرده و حدود ۶۵ درصد بود. هنگامی که پیریت از قبل با محلول CuSO_4 عمل آوری شد، توانایی حمل آن به دلیل چسبیدن مقدار قابل توجهی از کالکوپیریت ریز به ذرات پیریت فعال شده با Cu^{2+} بیشتر شده و بازیابی بهبود یافت. (بازیابی مس $< 90\%$ درصد) به طور کلی، عمل آوری پیریت با CuSO_4 آب گریزی آن را بهبود می بخشد.

۱-۳-۳- فرایندهای هیدرو متالورژیکی بازیابی مجدد باطله مس

به طور کلی، فرایندهای هیدرو متالورژیکی شامل ۳ مرحله اساسی است:

- انحلال (لیچینگ) توسط یک عامل شیمیایی و یا میکروبی که سبب انتقال فلز به فاز محلول می شود.
- خالص سازی و تغلیظ محلول باردار حاصل از مرحله انحلال
- استحصال فلز از محلول غلیظ و خالص

در مرحله انحلال، براساس نوع و مشخصات کانه مانند عیار، ترکیب کانی شناسی و عیار از روش هایی مانند لیچینگ مخزنی، لیچینگ تحت فشار و یا هیپ لیچینگ استفاده می شود. مهم ترین روش های خالص سازی و تغلیظ محلول کربن فعال، استخراج حلالی، تبادل یونی و ترسیب هستند. استحصال فلز از محلول نیز با روش ترسیب شیمیایی و یا ترسیب الکتریکی صورت می گیرد.

۱-۳-۳-۱- لیچینگ شیمیایی باطله مس

تعدادی از محققین لیچینگ شیمیایی باطله فلوتاسیون مس و بازیابی فلزات با ارزش از آن را بررسی کرده اند که برخی از آنها در جدول (۱-۴) ارائه شده است.

جدول (۱-۴) مطالعات انجام شده در مورد لیچینگ شیمیایی باطله فلوتاسیون مس

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
۱۶	۱۳۹۶	پژوهان و بیکی	لیچینگ اتمسفری باطله فلوتاسیون	مصرف اسیدسولفوریک برابر ۵۰ کیلوگرم بر تن حدود ۹۳ درصد مس اکسیدی بازیابی شد. نمونه باطله سرب با عیار ۰/۹۵ درصد مس
۱۷	۱۳۹۹	میرزایی و همکاران	فرآوری باطله سرب برای استحصال مس	لیچینگ حدود ۹۲ درصد مس با اسیدسولفوریک ترسیب حدود ۹۸ درصد مس از محلول با سمناسیون
۱۸	۲۰۰۸	آنتونی جویج و همکاران	لیچینگ نمونه باطله فلوتاسیون مس در	عیار مس در باطله مدار فلوتاسیون برابر ۰/۲ درصد ۱۲ درصد از مس با آب حل می شود

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 46 of 200

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
			صربستان	افزایش دما و افزودن اکسید کننده یون فریک سبب انحلال مس می شود. ۸۰ درصد از مس در دمای ۶۰ درجه و زمان ۲ ساعت حل شد
۱۹	۲۰۱۹	اووزر	تشویه و لیچینگ مس و کبالت از باطله مدار فلوتاسیون در قبرس	عیار مس و کبالت در باطله به ترتیب ۰/۳۸ و ۰/۳۲ درصد تشویه با سولفات سدیم در دمای ۷۰۰ درجه سانتی گراد انحلال ۹۰ درصد کبالت و ۷۰ درصد مس در لیچینگ
۲۰	۲۰۱۹	کنستانتین و همکاران	لیچینگ نمونه باطله فلوتاسیون در رومانی	لیچینگ دو مرحله ای نمونه باطله فلوتاسیون با اسید نیتریک و اسیدسولفوریک افزایش عیار طلای نمونه از ۰/۷ به ۱/۹ ppm
۲۱	۲۰۲۱	آلوارز و همکاران	بازیابی روی و مس از باطله های معدنی با روش لیچینگ در حضور کربن فعال	استفاده از کربن فعال در لیچینگ با اسیدسولفوریک سبب بازیابی مس و روی شد. بعد از ۶ ساعت لیچینگ، ۹۵ درصد روی بازیابی شد.
۲۲	۲۰۲۱	تائو و همکاران	بازیابی آهن از باطله فلوتاسیون مس با روش لیچینگ	لیچینگ با اسیدسولفوریک ۰/۵۳ مولار در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد انحلال ۶۶/۴۵ درصد آهن، ۶۵/۳۲ درصد روی و ۵۹/۹۵ درصد مس
۲۳	۲۰۱۸	هان و همکاران	استحصال مس از باطله فلوتاسیون طی فرایند لیچینگ تحت فشار-استخراج حلالی در ژاپن	تشکیل ژپس و مشکلات اجرایی بررسی تأثیر عوامل مختلف عملیاتی بر لیچینگ تحت فشار نقش مثبت پیریت بر انحلال مس تایید شد. در شرایط بهینه تقریباً تمام مس موجود در نمونه حل شد. در فرایند استخراج با حلال، محلول مناسب الکترووینینگ با غلظت ۴۴/۸ g/L تهیه شد.

پژوهان و بیکی، ۱۳۹۶ [۱۶]، به بررسی لیچینگ باطله های فلوتاسیون برای بازیابی مس در یک مخزن اختلاط ناپیوسته پرداختند. آزمایش های لیچینگ در یک تانک استیل ۳۴ لیتری همزن دار (قطر ۴۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی-متر و جنس استیل ۳۱۶) در دمای ثابت ۲۵ درجه و سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه انجام شده و از اسیدسولفوریک

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلو تاسیون	Page 47 of 200

درصد ۹۸ به عنوان حلال در فرایند لیچینگ استفاده شد. در آزمایش‌ها ۱۸ kg از باطله فلو تاسیون وارد تانک شده و چگالی‌های مختلف پالپ با تغییر در مقدار آب حاصل شد. آزمایش‌ها با درصدهای وزنی ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ انجام شد. با توجه به آنالیز سرنبدی نمونه باطله d80 نمونه ۱۰۰ میکرون و حداکثر میزان مس و آهن در باطله فلو تاسیون به ترتیب ۱۱۶/۶ و ۶۱۹/۲ گرم بود. اسید به ۲ طریق به محتویات داخل تانک اضافه شد. در روش اول اسید به صورت تدریجی در زمان‌های مختلف جهت پایین آوردن pH محلول تا کمتر از ۱/۵ به محتویات تانک اضافه شد. نتایج این آزمایش نشان داد که ۹۰ درصد مس موجود در ۴۰ دقیقه اول انحلال، قابل استحصال بود. در روش دوم، اسید به صورت یکجا به محتویات داخل تانک اضافه شد. با افزایش ناگهانی اسید به دلیل ایجاد شوک در مدار در زمان کمتر، مصرف اسید کمتر و با مقدار اسید آزاد کمتر در آزمایش، می‌توان به بازیابی مشابه در مورد مس و حتی انحلال پایین‌تری از آهن (به دلیل زمان ماند کمتر ذرات) دست یافت. از این رو تحت این شرایط می‌توان هزینه‌های عملیاتی را کاهش داد و در زمان کمتر به میزان تولید بیشتر دست یافت.

نتایج بازیابی مس و آهن نمونه‌های مختلف حاکی از آن بود که با توجه به ریز بودن کانسنگ و بالابودن نسبت اکسید مس به مس کل، واکنش دارای سرعت انحلال بالایی برای مس در تمامی نمونه‌ها بود. این در حالی است که به دلیل زمان ماند کمتر ذرات در داخل همزن، زمان کافی برای انحلال زیاد آهن وجود نداشته و در شرایط بهینه تقریباً ۳ درصد از کل محتوای آهن وارد محلول می‌شد، که برای فرایندهای پایین دستی بسیار مفید است. میرزایی و همکاران در سال ۱۳۹۹ [۱۷]، به بررسی بازیابی مس از باطله‌های فراوری معدن سرب قله کفتران شاهرود به روش لیچینگ همزنی و سمنتاسیون پرداختند. در آزمایش‌های لیچینگ تأثیر فاکتورهای pH، ابعاد ذرات، درصد جامد و زمان بر روی بازیابی مس با استفاده از روش طراحی آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. همچنین تأثیر پارامترهای pH، دما و زمان بر فرایند سمنتاسیون مس بررسی گردید. کانی‌های اصلی نمونه شامل پلاژیوکلاز، فلدسپات، کوارتز و مالاکیت (کانی اصلی حاوی مس) و کانی‌های فرعی نیز شامل همتایت، مسکویت و کلرید بوده و عیار مس در نمونه نیز ۱ درصد بود. از لیچینگ اسیدی توسط اسیدسولفوریک برای انحلال کانی‌های اکسیده مس استفاده شد. پس از انحلال مس در محلول، سمنتاسیون مس توسط آهن انجام شد. به منظور بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی در این آزمایش‌ها از طراحی آزمایش به روش سطح پاسخ CCD استفاده شد. تمامی آزمایش‌های لیچینگ در حجم ۵۰۰ میلی‌لیتر انجام شد و از اسیدسولفوریک جهت تنظیم pH استفاده شد. آزمایش‌های سمنتاسیون نیز با استفاده از پودر آهن در حجم ۱۰۰ میلی‌لیتری انجام شد. در آزمایش‌های سمنتاسیون از آمونیاک به منظور افزایش pH استفاده شد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 48 of 200

نتایج نشان داد که pH و اندازه ذرات به ترتیب دارای بیشترین تأثیر و درصد جامد و زمان تأثیر کمتری بر انحلال مس داشت. با افزایش غلظت اسید (کاهش pH) در مقدار ثابتی از ماده جامد، مقدار بیشتری اسید در دسترس کانی حاوی مس قرار گرفته و بنابراین درصد استخراج و سرعت واکنش افزایش یافت. pH می تواند اثر زمان را خنثی کرده و سینتیک فرایند را به طور چشمگیری افزایش دهد. در بررسی ابعادی نمونه، تنها زمانی دانه بندی ریزتر اثر مثبت بر میزان بازیابی دارد که میزان اسید کافی در اختیار مالاکیت قرار گیرد. افزایش میزان درصد جامد در همه آزمایش ها با میزان اختلاف تقریباً ثابتی منجر به افزایش بازیابی مس شد. در نهایت شرایط بهینه برای لیچینگ همزنی pH برابر با ۱، ابعاد دانه بندی ۱۰۶- میکرون، زمان ۱۵۰ دقیقه و درصد جامد ۳۰ تعیین شد که میزان بازیابی لیچینگ در این شرایط برابر ۹۱/۷ درصد به دست آمد. دو واکنش جانبی که می تواند بر نرخ بازیابی مس در سممنتاسیون مؤثر باشد رقابت یون های H^+ و اکسیژن موجود در محلول جهت واکنش با الکترون است. سرعت سممنتاسیون با افزایش دما افزایش یافت زیرا افزایش دما می تواند با کاهش ویسکوزیته و در نتیجه افزایش ضریب نفوذ (افزایش نفوذپذیری یون های مس) و تماس مؤثرتر با سطح آهن منجر به افزایش نرخ سممنتاسیون شود. افزایش زمان نیز منجر به افزایش میزان سممنتاسیون مس شد. پس از مدت زمان ۳۰ دقیقه به دلیل آنکه واکنش سممنتاسیون در همان دقایق ابتدایی کامل می شود، بازیابی کاهش یافت. نتایج حاصل از آزمایش های سممنتاسیون نشان داد که هر سه عامل pH، زمان و دما بر فرایند سممنتاسیون مس مؤثر هستند. در نهایت نیز pH برابر با ۲، زمان ۳۰ دقیقه و دمای محیط به عنوان شرایط بهینه سممنتاسیون انتخاب شد.

آنتونی جوویک و همکاران ۲۰۰۸ [۱۸]، به بررسی امکان بازیابی مس از باطله فلوتاسیون معدن بور، که به طور متوسط حاوی حدود ۰/۲ درصد مس بود، توسط لیچینگ اسیدی با اسیدسولفوریک در غیاب و حضور یک اکسیدکننده (سولفات آهن (III)) پرداختند. هدف تعیین سینتیک لیچینگ مس و آهن تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله: مقدار pH محلول، سرعت همزنی، چگالی پالپ، اندازه ذرات، غلظت یون های آهن، دما و زمان لیچینگ بود. آزمایش های لیچینگ با ۱۰۰ گرم نمونه باطله فلوتاسیون (۷۴ میکرون) و ۵۰۰ میلی لیتر محلول اسیدسولفوریک و آب در یک راکتور شیشه ای ۱۰۰۰ میلی لیتری مجهز به همزن مکانیکی با سرعت ۶۰۰ دور دقیقه طی ۱۲۰ دقیقه انجام شد.

نتایج نشان داد میانگین بازیابی مس و آهن به دست آمده به ترتیب از ۶۰ تا ۷۰ درصد بود. غلظت اسیدسولفوریک اثر قابل توجهی بر بازیابی مس از باطله فلوتاسیون دارد. افزایش شدید بازیابی مس در $pH < 3$

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 49 of 200

مشاهده شد. بازیابی ۱۲ درصد مس به مدت ۲ ساعت با آب لوله کشی، به انحلال طبیعی مس موجود در باطله به دلیل وجود اکسیدهای مس یا سولفات مس در آن اشاره دارد. انحلال آهن تنها در مقادیر pH کمتر از ۱/۵ مشاهده شد و می توان از آن صرف نظر کرد. غلظت های مختلف فاز جامد و سرعت همزنی تأثیر قابل توجهی بر انحلال مس و آهن ندارد. اثر اندازه ذرات فقط در کسرهای کوچک تر مشاهده شد. افزایش دمای لیچینگ از ۲۰ °C به ۶۰ °C منجر به افزایش خطی در بازیابی مس و آهن شد. در دمای ۶۰ درجه سانتی گراد با افزودن اکسیدکننده (سولفات آهن (III)) با غلظت ۵ گرم در لیتر Fe^{3+} ، بازیابی مس به دست آمده پس از ۲ ساعت ۸۰ درصد بود.

اوزر، ۲۰۱۹ [۱۹]، به بازیابی کبالت و مس از باطله های فلوتاسیون قدیمی با تشویه سولفاتی با و بدون مواد افزودنی قبل از لیچینگ پرداخت. باطله های فلوتاسیون قدیمی از Lefke، قبرس، دارای پتانسیل برای فلزات غیر آهنی مانند کبالت و مس با بیش از ۹/۵ میلیون تن ذخایر حاوی ۰/۳۸ درصد مس، ۰/۳۲ درصد Co، و ۲۲/۶ درصد آهن است.

آزمایش های لیچینگ مستقیم با نسبت های مختلف اسیدسولفوریک غلیظ (۰، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۶۰ گرم بر لیتر)، نسبت جامد به مایع ۵/۱، زمان ۱ ساعت و سرعت همزنی ۴۰۰ دور بر دقیقه انجام شد. از آنجایی که استخراج کمی با لیچینگ مستقیم به دست آمد، یک فرایند سولفاته انتخابی بر روی باطله قبل از لیچینگ انجام شد تا با کاهش غلظت آهن، محلول باردار حاوی مقادیر بیشتری از فلزات Co و Cu تولید شود. آزمایش های تشویه نیز با ۱۰ گرم نمونه در دماهای مختلف (۵۰۰، ۶۰۰، ۶۵۰ و ۷۰۰ درجه سانتی گراد) به مدت ۱ ساعت انجام شده و سپس لیچینگ با شرایط ۱۰ گرم در لیتر اسیدسولفوریک با نسبت جامد به مایع ۱:۵ (وزنی/وزنی) به مدت ۳۰ دقیقه انجام شد. با تشویه سولفاته بدون افزودنی انتخاب پذیری مورد نظر به دست نیامد، زیرا نمونه در گذشته به طور قابل توجهی تحت شرایط جوی اکسید شده بود. بنابراین، اثر افزودن Na_2SO_4 به عنوان یک افزودنی بر سولفاته شدن انتخابی در طول تشویه بررسی شد. نمونه ها با افزودن مقادیر مختلف Na_2SO_4 (۰، ۲.۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد) تهیه و در کوره در دماهای مختلف (۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ درجه سانتی گراد) به مدت ۱ ساعت تشویه شد. در این مطالعه، نقش مهم Na_2SO_4 برای استخراج مس و کبالت با انتخاب پذیری بالا در برابر آهن پیشنهاد شد. افزایش استخراج فلزات در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد شروع شده و در ۷۰۰ درجه سانتی گراد به اوج خود رسید، زیرا دمای تجزیه Na_2SO_4 نسبتاً بالا بود. در این دما، Na_2SO_4 به عنوان یک مخزن SO_3 برای واکنش با کانی های مس و کبالت عمل می کند که

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 50 of 200

آهن را به شکل اکسید می‌گذارد. در نهایت، ۷۱/۸ درصد مس، ۹۰/۷ درصد کبالت و ۳/۹ درصد آهن از تشویه با ۲۵ درصد Na_2SO_4 در دمای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در مدت ۲ ساعت به دست آمد.

کانستنتین و همکاران در سال ۲۰۱۹ [۲۰]، به بررسی روش‌های فراوری باطله‌های معدنی حاصل از استخراج مس حوضچه باطله «فلوتاسیون مرکزی» بایا ماره، رومانی، که یک مشکل زیست‌محیطی بزرگ برای خاک و جریان آب شهرهای اطراف است، برای بازیابی فلزات گران‌بها پرداختند. باطله معدن به شکل گل حاوی معرف‌های فلوتاسیون و سولفیدهای باقی‌مانده فلزات غیر آهنی نظیر کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، پیریت است.

آزمایش‌های اولیه لیچینگ اسیدی باطله‌ها در یک راکتور شیشه‌ای ۳۰۰۰ میلی‌لیتری مجهز به همزن مکانیکی انجام شد. در مجموع ۱۰۰۰ گرم نمونه باطله خشک با استفاده از H_2SO_4 و HNO_3 (۲ مولار) با نسبت جامد به مایع ۱: ۱/۵ لیچ شد. در استفاده از H_2SO_4 ، سولفات آهن (III) و همچنین پراکسید هیدروژن (H_2O_2) به‌عنوان اکسیدکننده استفاده شد. آزمایش‌ها در دمای اتاق، با سرعت همزنی ۱۲۰ دور در دقیقه و در مدت ۷ روز انجام شد. نتایج این بخش نشان می‌دهد که لیچینگ باطله‌ها در محیط اسیدی منجر به انحلال ترکیبات محلول منیزیم، منگنز، آلومینیوم و در نتیجه افزایش محتویات فلزات گران‌بها در پسماند جامد حل‌نشده می‌شود. لیچینگ HNO_3 (درصد ۳۱) مؤثرتر از لیچینگ H_2SO_4 (درصد ۱۵) بوده در نتیجه باعث افزایش میزان طلا شد. (۱/۱ در مقابل ۰/۸۲ گرم در تن)

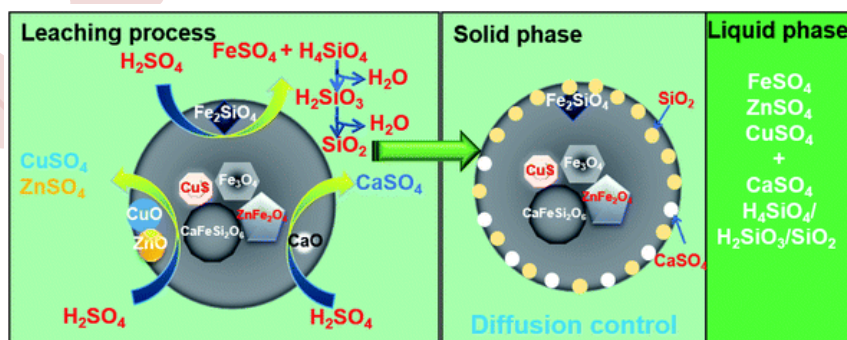
مرحله دوم آزمایش‌های لیچینگ جهت بررسی لیچینگ مرحله‌ای روی نمونه‌های ۵۰۰ گرمی به‌دست‌آمده از مرحله اول لیچینگ اسیدی با H_2SO_4 انجام شد. نتایج نشان داد لیچینگ مرحله‌ای (در همان اسید یا محیط‌های اسیدی مختلف) منجر به انحلال ترکیبات محلول بیشتر و افزایش غلظت فلزات گران‌بها در پسماند می‌شود. افزودن یک عامل اکسیدکننده (H_2O_2) یا $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ در محلول لیچینگ H_2SO_4 تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی لیچینگ نداشت این می‌تواند نتیجه این واقعیت باشد که بیشتر ترکیبات موجود در باطله‌ها به‌دلیل تماس با عوامل جوی (هوا، باران، گازها) در حالت اکسیدشده است.

آلوارز و همکاران ۲۰۲۱ [۲۱]، به مطالعه استفاده از دو ماده مبتنی بر کربن، یک کربن فعال تجاری (AC) و یک زغال چوب تجاری (VC). در لیچینگ روی و مس از باطله‌های معدن موریسیا، اسپانیا با عیار پایین پرداختند. ۲/۵ گرم نمونه باطله با ۵۰ میلی‌لیتر محلول در شرایط دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت همزنی ۲۵۰ دور در دقیقه به مدت ۶ ساعت با غلظت‌های مختلف اسیدسولفوریک (۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ M) و نسبت مواد

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 51 of 200

کربنی به نمونه باطله ۰/۵ به ۱ (وزنی/وزنی) انجام شد. هریک ساعت، سیستم‌های لیچینگ هوادهی می‌شد تا 02 در محلول‌ها فراهم شود. نتایج تجربی به‌دست آمده نشان می‌دهد که امکان بازیابی بیش از ۹۵ درصد وزنی روی پس از ۶ ساعت لیچ با محلول‌های مختلف اسیدسولفوریک وجود دارد. افزودن مواد کربنی AC و VC باعث افزایش استخراج روی و مس با محلول‌های اسیدسولفوریک غلیظ (۰/۵ و ۱ M) شد. با وجود تفاوت تخلخل‌ها و مقادیر Eh بین AC و VC، اثر آن‌ها به‌عنوان کاتالیزور در لیچینگ روی و مس مشابه بود.

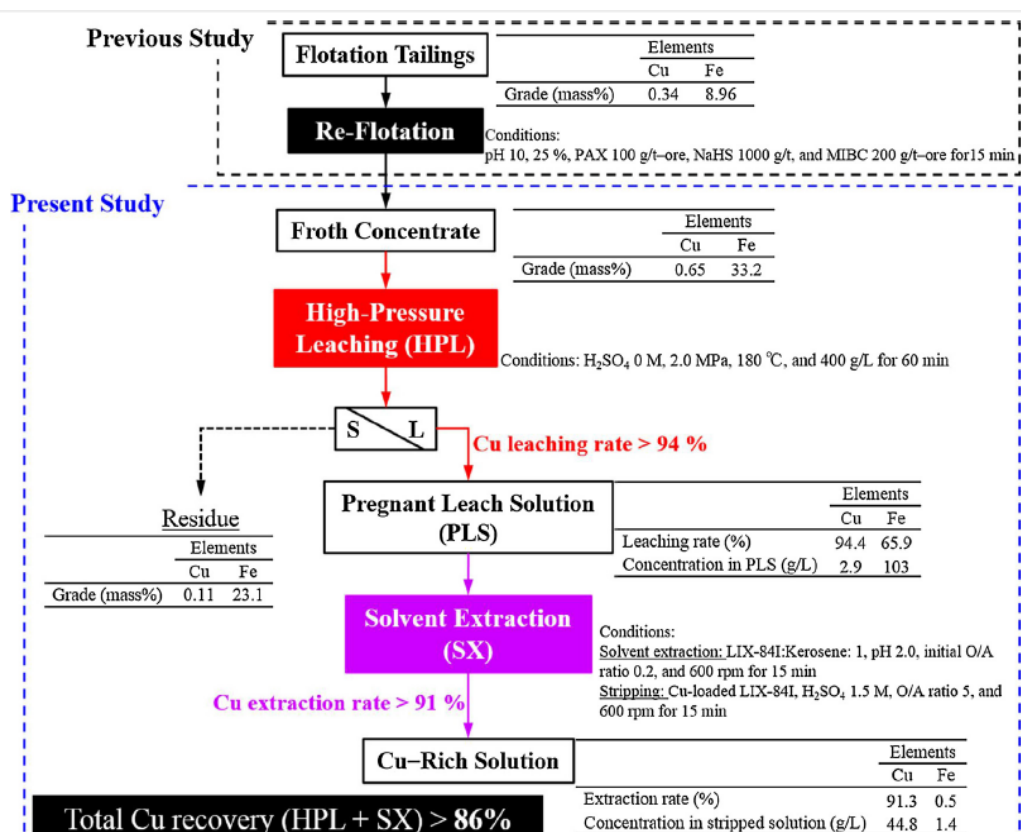
تائو و همکاران در سال ۲۰۲۱ [۲۲]، به بررسی لیچینگ آهن از باطله‌های مس شرکت یوننان قلع چین، توسط اسیدسولفوریک و مطالعه رفتار، سینتیک و مکانیسم آن پرداختند. (شکل ۱-۱۸). آزمایش‌های لیچینگ تحت شرایط بهینه‌دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، غلظت اسیدسولفوریک ۰/۵۳ مول بر لیتر، سرعت همزنی ۴۰۰ دور در دقیقه، نسبت جامد به مایع ۱ به ۱۰ و زمان لیچ ۱۲۰ دقیقه انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش لیچینگ نشان داد، اکسید فلزی می‌تواند مستقیم تحت شرایط اسیدی لیچ شود، درحالی‌که اکسیداسیون برای لیچینگ CuS ضروری است. هنگامی که باطله‌های مس با اسیدسولفوریک تماس پیدا می‌کند، اکسیدها از باطله‌های مس ترجیحاً با اسیدسولفوریک واکنش می‌دهند و سولفات‌های فرعی تولید می‌کند. با ادامه واکنش، Fe_2SiO_4 تا حدی به $FeSO_4$ و H_4SiO_4 تبدیل می‌شود. تجمع $CaSO_4$ و SiO_2 تماس اسیدسولفوریک با آهن محلول در باطله‌های مس را کاهش می‌دهد، بنابراین از لیچ شدن بیشتر آهن جلوگیری می‌کند. غلظت اسیدسولفوریک و دما هر دو تأثیر قابل توجهی بر فرایند لیچینگ دارد و با افزایش آن‌ها میزان لیچ شدن آهن افزایش می‌یابد. وقتی دمای لیچینگ به ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، مقداری از Fe_3O_4 به تدریج تجزیه شده و غلظت یون آهن افزایش می‌یابد که برای جداسازی Fe_3O_4 باید از انحلال آن خودداری کرد. غلظت اسیدسولفوریک به‌طور قابل توجهی بر میزان انحلال روی و Si تأثیر می‌گذاشت، درحالی‌که تأثیری بر انحلال کلسیم و مس نداشت.



شکل (۱-۱۸) - شماتیک مکانیسم لیچینگ اسیدی با اسیدسولفوریک باطله مس [۲۲]

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 52 of 200

هان و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۲۳]، به توسعه فرایند بازیابی مس سولفیدی (به‌طورمعمول کالکوپریت) از باطله فلوتاسیون به‌دست‌آمده از معدن بور، صربستان، با روش ترکیبی لیچینگ فشار بالا (HPL) و استخراج با حلال پرداختند. ابتدا باطله فلوتاسیون حاصل از کارخانه فراوری جهت تغلیظ مس و تهیه کنسانتره با عیار بالاتر تحت آزمایش فلوتاسیون با شرایط $pH=10$ ، درصد جامد ۲۵ درصد، ۱۰۰ گرم در تن کلکتور PAX، ۱۰۰۰ گرم در تن عامل سولفیدی NaHS، ۲۰۰ گرم در تن کفساز MIBC و زمان شناورسازی ۱۵ دقیقه قرار گرفت. برای انجام آزمایش‌های لیچینگ فشار بالا، نمونه پالپ در ۰/۵ لیتر آب مقطر یا محلول اسیدسولفوریک (۰/۵-۰/۲ M) با ۵۰-۲۰۰ گرم کنسانتره تغلیظ شده با فلوتاسیون در ظرفی برای تنظیم چگالی پالپ در محدوده ۱۰۰-۴۰۰ گرم در لیتر آماده شد. ظرف حاوی پالپ در اتوکلاو قرار داده شد و به سیستم اجازه داده شد تا دمای موردنظر (۱۴۰-۱۸۰ درجه سانتی‌گراد) گرم شود. هنگامی که دما به مقدار موردنظر رسید، گاز اکسیژن (O_2) با فشار کل کنترل‌شده (۲-۸ مگا پاسکال) به پالپ تزریق شد و واکنش تا زمان لیچینگ ۶۰ دقیقه ادامه یافت. پس از سرد شدن پالپ تا دمای زیر ۵۰ درجه سانتی‌گراد، pH محلول ثبت شد. سپس، پالپ برای جداسازی باقی‌مانده جامد و PLS فیلتر شد. استخراج با حلال مس از PLS به‌دست‌آمده از HPL با استفاده از استخراج‌کننده 84I-LIX انجام شد که با نفت سفید با نسبت فاز معین ۱ رقیق شد. برای هر استخراج، فاز آبی و آلی با نسبت $O/A=0/2$ با یکدیگر مخلوط شده و پس از تنظیم pH به مقدار موردنظر (۲-۱/۰) توسط محلول ۱ مولار NaOH (نسبت O/A در محدوده ۰/۱-۰/۲ کنترل شد)، واکنش استخراج به مدت ۱۵ دقیقه انجام شد. پس از پایان واکنش، محلول به مدت ۵ دقیقه در ۴۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد تا از جداسازی سریع فاز اطمینان حاصل شود. فاز آلی باردار مس تحت آزمایش‌های استریپ قرار گرفت، که در آن فاز آلی حاوی مس با ۳ غلظت مختلف اسیدسولفوریک (۰/۵، ۱ و ۱/۵ M) در یک نسبت فاز ثابت ($O/A=5$) در ۱۵ دقیقه مخلوط شده و سپس جداسازی انجام شد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد؛ بیش از ۹۴/۴ درصد مس از نمونه ($CuFeS_2$ به‌عنوان کانی مس اصلی) توسط HPL در محیط آبی در حضور پیریت حل شد. حضور پیریت در کنسانتره حاصل از باطله‌های فلوتاسیون تأثیر مثبتی بر انحلال مس در شرایط HPL دارد، زیرا تشکیل H_2SO_4 از FeS_2 می‌تواند سینتیک لیچینگ مس را افزایش دهد. برای جلوگیری از تأثیر منفی آهن محلول در فرایند بعدی الکترووینینگ، استخراج با حلال روی محلول لیچ باردار برای بهبود غلظت مس انجام شد. شکل (۱-۱۹) فلوشیت کلی فرایند را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱۹) - فلوشیت بازیابی مس از باطله‌ها [۲۳]

۱-۳-۲- فرایند ۲ مرحله‌ای فلوتاسیون - لیچینگ باطله مس

برخی از محققین فراوری مجدد باطله مس به صورت ۲ مرحله‌ای را بررسی کرده‌اند. در این حالت، ابتدا با یک مرحله فلوتاسیون، کنسانتره مناسبی از باطله تهیه‌شده و سپس کنسانتره وارد مرحله لیچینگ می‌شود. در جدول (۵-۱) مطالعات انجام‌شده، ارائه شده است.

جدول (۵-۱) - مطالعات انجام‌شده در مورد فرایند ۲ مرحله‌ای فلوتاسیون-لیچینگ باطله فلوتاسیون مس

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
۲۴	۲۰۱۷	ماگوانگ و همکاران	استحصال مس و نیکل از باطله فلوتاسیون طی فرایند فلوتاسیون-لیچینگ تحت فشار در ژاپن	فلوتاسیون مجدد باطله و بازیابی ۸۰ درصد مس و ۳۰ درصد کبالت. تولید کنسانتره با عیار ۱/۵۶ و ۰/۷۵ درصد مس و نیکل انحلال ۹۶ درصد مس و ۹۸ درصد نیکل در لیچینگ تحت فشار

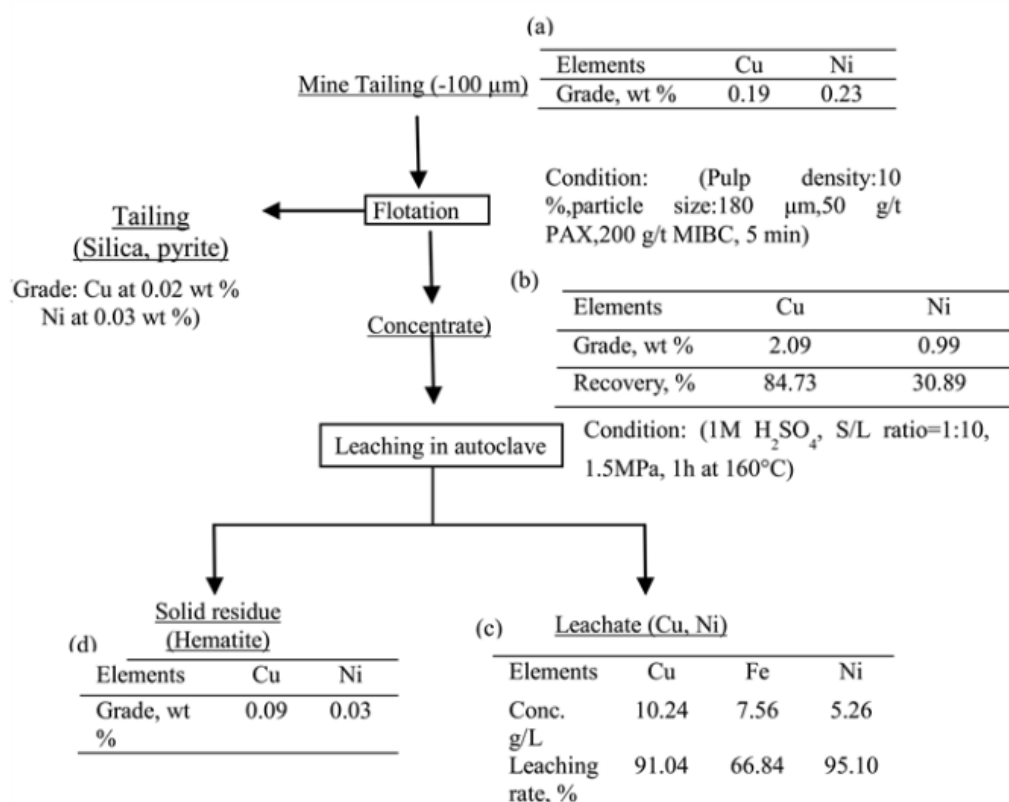
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 54 of 200

بررسی تأثیر عوامل مختلف عملیاتی بر لیچینگ تحت فشار نقش مثبت پیریت بر انحلال مس تأیید شد.	استحصال مس از باطله فلوتاسیون طی فرایند
در شرایط بهینه تقریباً تمام مس موجود در نمونه حل شد. در فرایند استخراج با حلال، محلول مناسب الکتروپولینگ با غلظت 44/8 g/L تهیه شد.	لیچینگ تحت فشار- استخراج حلالی در ژاپن
عیار مس و کبالت در نمونه به ترتیب 0/37 و 0/73 درصد لیچینگ با اسیدسولفوریک 500 g/L، 30 درصد جامد در دمای 60 درجه سانتی گراد و زمان دو ساعت 79 درصد مس و 56 درصد کبالت حل شد.	امکان سنجی فراوری مجدد باطله فلوتاسیون شنگو و همکاران مس با روش فلوتاسیون و مقایسه با لیچینگ

مگوانگ و همکاران در سال 2017 [24]، به توسعه یک فرایند ترکیبی فلوتاسیون و لیچینگ اکسیداتیو فشار بالا برای بازیابی مس و نیکل از باطله‌های فلوتاسیون معدن BCL Limited، واقع در بوتسوانا، پرداختند. باطله فلوتاسیون به صورت گل حاوی سولفیدهای فلزی باقی مانده به شکل کالکوپیریت، پیریت، پیروتیت و پنتلاندیت و معرف‌های فلوتاسیون بوده و محتوای مس و نیکل 0/19 درصد وزنی و 0/23 درصد وزنی با ابعاد 35 تا 100 میکرون با اندازه ذرات متوسط (D50) 70 میکرون بود. در مرحله اول اثرات پارامترهای فلوتاسیون شامل نوع کلکتور، مقدار کلکتور و pH و چگالی پالپ و در مرحله دوم، پارامترهای کلیدی، به ویژه غلظت اسیدسولفوریک، دما، فشار و زمان لیچینگ اکسیداتیو فشار بالا (HPOL) مورد بررسی قرار گرفت. از کلکتورهای پتاسیم آمیل گزنات (PAX)، مرکاپتان R247، آئروفلوت (AF208) و 200 گرم بر تن کف ساز MIBC و هیدروسولفید سدیم (NaHS) به عنوان عامل سولفیدی و هیدروکسید کلسیم (Ca(OH)₂) برای تنظیم pH استفاده شد. برای به دست آوردن شرایط بهینه لیچینگ کنسانتره کف حاصل از فلوتاسیون، آزمایش‌ها در ظرف تفلون 200 میلی لیتری داخل اتوکلاو در غلظت‌های مختلف اسیدسولفوریک (0 - 3 M)، دمای 100-180 °C، فشارهای مختلف 1-2 MPa، زمان 30-150 دقیقه، نسبت جامد به مایع 1/10 و سرعت همزنی 400 دور در دقیقه انجام شد. نتایج نشان داد، در شرایط فلوتاسیون بهینه (50 گرم در تن PAX، 200 گرم در تن MIBC، pH=6 و زمان 6 دقیقه) بازیابی مس بیش از 80 درصد با عیار 2/09 درصد وزنی به دست آمد در حالی که بازیابی نیکل به دلیل همراهی آن با کانی‌های گانگ پیروتیت، پیریت و سایر کانی‌های رسی کمتر از 30 درصد با عیار 0/99 درصد وزنی بود. فرایند ترکیبی فلوتاسیون و لیچینگ اکسیداتیو فشار بالا (شکل 1-20) یک روش

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 55 of 200

کارآمد برای بازیابی مس و نیکل از باطله معدن است. در طول فرایندهای فلوتاسیون و HPOL، آهن به‌طور هم‌زمان از باطله بازیابی می‌شود. جداسازی کانی‌های حاوی آهن از باطله نهایی یک جنبه مهم برای کاهش زهکشی معدن اسیدی احتمالی است.



شکل (۱-۲۰) - فلوشیت شماتیک برای فلوتاسیون ترکیبی و لیچینگ فشار بالا برای بازیابی مس و نیکل [۲۴]

۱-۳-۳-۳- بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مس

کاربرد مثبت واکنش‌های متابولیکی موجودات زنده در زمینه فراوری مواد معدنی و استخراج فلزات قلمرو جدیدی است که تحقیقات پیرامون آن بیشتر در بخش‌های بیوتکنولوژی و میکروبیولوژی انجام می‌گیرد. پیشرفت‌های اخیر در بیوتکنولوژی موجب شده است که ابزار نیرومندی در فراوری مواد معدنی و هیدرومتالورژی و حل مسائل زیست‌محیطی این صنایع در اختیار انسان قرار گیرد. کاربرد بیوتکنولوژی در فراوری و استخراج متعدد است که یکی از این کاربردها در کانه‌آرایی است. کاربرد بیوتکنولوژی در صنعت استحصال فلزات و صنایع معدنی نسبت به سایر صنایع جدیدتر بوده و اولین استفاده آن به حدود ۸۰ سال پیش بازمی‌گردد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 56 of 200

زمینه کاربرد بیوتکنولوژی در صنایع معدنی در سال‌های اخیر گسترش زیادی یافته است، به‌طوری‌که امروزه برای عمل‌آوری کنسانتره‌های پرعیار نیز از این فرایند استفاده می‌شود. در این راستا استحصال بیولوژیکی فلزاتی چون طلا، مس، اورانیم و نیکل در مرحله صنعتی به اجرا در آمده است.

بیوهیدرومتالورژی عبارت است از استفاده از نتایج حاصل از کنترل فرایندهای طبیعی بین میکروارگانیسم‌ها و کانی‌ها به‌منظور بازیابی فلزات باارزش. با ترکیب متابولیسم‌های میکروبی خاص و تبدیل کانی‌ها می‌توان به فرایندهای ساده و مؤثری در مقایسه با روش‌های عمل‌آوری فیزیکی و شیمیایی کانه‌های فلزی دست‌یافت. همه فلزات به‌صورت بالقوه برای عمل‌آوری با تکنیک‌های بیوهیدرومتالورژی مناسب هستند اما تاکنون تنها مس و طلا به‌صورت صنعتی با این روش تولید می‌شود.

تعدادی از محققین امکان فراوری مجدد باطله مس با روش بیولیچینگ را بررسی کرده‌اند که خلاصه آن‌ها در جدول (۶-۱) ارائه شده است.

جدول (۶-۱) - مطالعات انجام‌شده در مورد فرایند بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مس

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
۲۵	۱۳۸۳	زند و کیلی و همکاران	بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه، ایران	نمونه‌برداری از سد باطله و خروجی کارخانه و مقایسه عیار مس آن‌ها که به‌ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۱۸ درصد تعیین شد. تفاوت در کانی‌شناسی نمونه سد باطله و خروجی کارخانه که بیان‌کننده کاهش درصد کالکوپیریت و افزایش درصد کالکوسیت بود. از باکتری‌های مزوفیل برای انحلال استفاده شد. در عدم حضور باکتری، و فقط توسط اسید، به‌ترتیب ۳۹ و ۴۷ درصد مس از نمونه سد و نمونه خروجی کارخانه حل شد.
۲۶	۲۰۲۲	ژانگ و	بیولیچینگ باطله	انجام آزمایش‌های بیولیچینگ مخزنی نشان داد که به‌ترتیب ۶۰ و ۷۰ درصد مس از نمونه باطله سد و خروجی کارخانه قابل بازیابی است. این میزان در لیچینگ ستونی به ۶۲ و ۷۲ درصد رسید.
				باطله معدن مس حاوی ۰/۵ درصد مس و ۰/۱۱ درصد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 57 of 200

مرجع	سال	محقق یا متولی	عنوان یا موضوع	نتایج
		همکاران	معدن مس در شیلی	کبالت
				استفاده از باکتری‌های مزوفیل و ترموفیل معتدل برای انحلال
				انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و پایلوت
				در آزمایش‌های پیوسته پایلوت با استفاده از باکتری مزوفیل، ۴۹ درصد کبالت و ۸۳ درصد مس حل شد.
				در آزمایش‌های پیوسته پایلوت با استفاده از باکتری ترموفیل معتدل در دمای ۴۲ درجه سانتی‌گراد، ۷۴ درصد کبالت و ۱۰۰ درصد مس حل شد.
				نمونه‌برداری از عمق‌های مختلف سد باطله بیانگر اکسید شدن کانی‌های سولفیدی مس در نواحی در معرض هوا بود.
۲۷	۲۰۱۴	استانکوویچ و همکاران	بیولیچینگ باطله فلوتاسیون مس در صربستان	بیولیچینگ با باکتری‌های مزوفیل اکسیدکننده گوگرد و آهن انجام شد.
				براساس عیار مس و نوع کانی‌ها، میزان انحلال مس بین ۷۰ تا ۹۷ درصد متغیر بود.
				در ارتفاع هیپ ۱/۷ متر و در زمان ۲۱۰ روز، ۵۷ درصد مس از باطله استخراج شد.
۲۸	۲۰۱۷	هائو و همکاران	نمونه باطله فلوتاسیون در مقیاس پایلوت	وضعیت رشد باکتری، تغییرات جمعیت و نوع گونه باکتریایی در طول فعالیت هیپ بررسی شد.
				امکان استفاده از قطعات بزرگ باطله معدن و استفاده از روش ژئوکوت بررسی شد.

سعید زند وکیلی و همکاران در سال ۱۳۸۳ [۲۵]، به بررسی کارایی بیولیچینگ به‌منظور بازیابی مس از باطله تغلیظ (سد رسوب‌گیر ۰/۲۲ درصد و تازه تغلیظ ۰/۱۸ درصد) مجتمع مس سرچشمه پرداختند. نتایج آنالیز شیمیایی و کانی‌شناسی در مورد باطله تغلیظ با عیار مس ۰/۱۸ درصد نشان داد که تنها ۰/۰۶ درصد آن را فاز اکسیدی تشکیل می‌دهد و ۷۰ درصد آن را کانی سولفیدی کالکوپریت به خود اختصاص داده است.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 58 of 200

آزمایش‌های بیولیچینگ به منظور استحصال مس از باطله در ظروف لرزان، بیو راکتور همزن دار و ستون انجام شد. در این راستا ابتدا گونه‌های باطله طی چهار مرحله در ظروف لرزان آزمایشگاهی، توسط باکتری‌های مزوفیل (تیوباسیلوس فرواکسیدانس و لپتوسپریلوم فرواکسیدانس) تحت فرایند بیولیچینگ قرار گرفت.

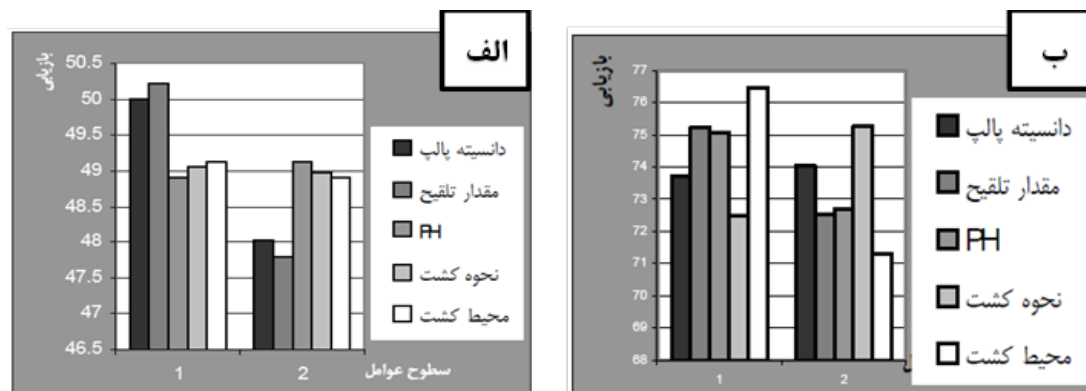
۱. آزمایش‌های سری اول ظروف لرزان به منظور تعیین تأثیر پارامترهای مؤثر در فروشویی و بهینه کردن آن‌ها و در نهایت بهینه‌سازی انحلال بیولوژیکی انجام شد. نتایج این آزمایش‌ها نشان داد که حداکثر میزان بازیابی باطله تازه تغلیظ به ۷۸ درصد و حداکثر بازیابی در باطله سد رسوب‌گیر به ۵۲ درصد رسید. نتایج حاصل از بررسی تأثیر پارامترها بر روی هریک از نمونه‌ها نیز در شکل (۱-۲۱) نشان داده شده است.

۲. آزمایش‌های سری دوم ظروف لرزان باهدف بررسی شرایط مرزی، با تغییر pH و نحوه اختلاط انجام شد. نتایج نشان داد که تغییر شرایط در مورد باطله سد همان گونه که انتظار می‌رفت نتوانسته هیچ تأثیری برافزایش میزان بازیابی داشته باشد، اما سبب کاهش نسبی بازیابی در باطله تازه تغلیظ شده است.

۳. سری سوم آزمایش‌های ظروف لرزان با هدف مطالعه بیشتر تغییرات حاصله ضمن جابه‌جایی شرایط، میزان اختلاط و دانسیته پالپ انجام شد. نتایج کلی حاکی از این بود که انتخاب شرایط یکسان از نظر میزان اختلاط (تلقیح) و دانسیته پالپ می‌تواند تأثیر بارزتری بر میزان بازیابی در باطله سد رسوب‌گیر داشته باشد اما در باطله تازه تغلیظ، این تأثیر حداقل است.

۴. مرحله نهایی آزمایش‌های ظروف لرزان باهدف مطالعه تأثیر محیط کشت‌های مختلف بر میزان بازیابی انجام گرفت. بنابراین کلیه پارامترهای بهینه به دست آمده از آزمایش‌های قبلی انتخاب شده و تأثیر محیط کشت‌های مختلف بررسی شد. نتایج بیشترین بازیابی در باطله تازه تغلیظ با انتخاب محیط کشت‌های 9K و S به ۷۴ درصد و در باطله سد رسوب‌گیر با انتخاب محیط کشت‌های بهینه Noris و S به ۶۰ درصد رسید.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 59 of 200



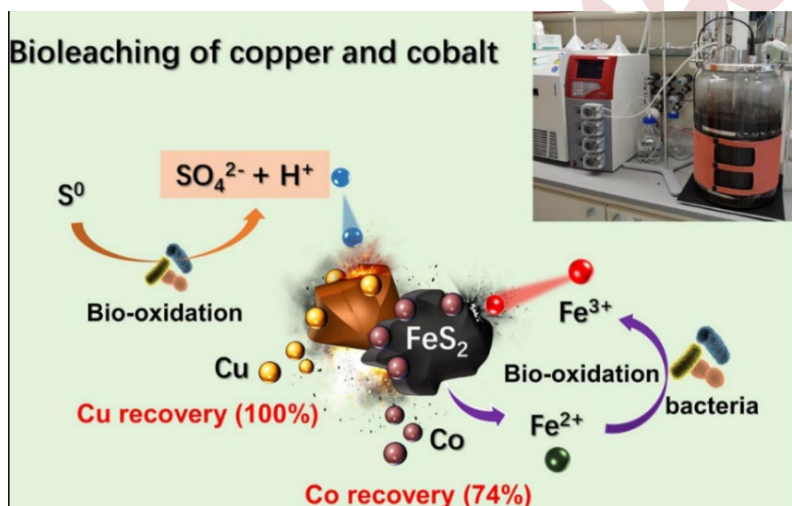
شکل (۱-۲۱) - تأثیر سطوح عوامل بر بازیابی؛ الف: سد، ب: تغلیظ

پس از انجام آزمایش‌های ظروف لرزان و بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در فرایند بیولیچینگ باطله، فرایند لیچینگ میکروبی در بیو راکتور همزن دار ۵۰ لیتری و آزمایش‌های ستونی به‌عنوان مدلی از فرایند هیپ لیچینگ، توسط باطله آگلومره شده طی روش‌های شیمیایی و بیولوژیکی، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج کلی حاصل از آزمایش‌های مخزنی بیانگر این واقعیت بود که دستیابی به حداکثر بازیابی ۶۸ درصد در باطله تغلیظ و حداکثر بازیابی ۶۴ درصد در باطله سد رسوب‌گیر پس از یک هفته امکان‌پذیر است. اما نکته‌ای که بیش از هر چیز مهم به نظر می‌رسد دقت و توجه به اصول فنی و اقتصادی این مسئله است. نتایج حاصل از تجزیه ابعادی نمونه‌ها روی ۲ گروه باطله، مشخص شد که بیش از ۸۰ درصد نمونه‌ها دارای ابعادی زیر ۱۳۵ مش است. بنابراین به‌منظور جلوگیری از مشکلات نفوذپذیری در آزمایش‌های ستونی از اتصال‌دهنده‌های متفاوتی همچون آب، پلیمر پلی‌اکریل‌آمید، آهک (۵ درصد)، سیمان (۵ درصد)، گچ (۵ درصد) و مخلوط اسیدسولفوریک و آب در غلظت‌های مختلف به‌طور جداگانه جهت آگلومراسیون ذرات استفاده شد. نتایج حاصل از بررسی اتصال‌دهنده‌های گوناگون نشان داد که مخلوط آب و اسیدسولفوریک در غلظت‌های ۱۷۵ تا ۱۸۰ گرم در لیتر بهترین گزینه، با در نظر گرفتن تمامی شرایط مقاومت مکانیکی، مقاومت در برابر پاشش و شرایط اقتصادی، جهت آگلومره است. همچنین نتایج حاصل از آزمایش‌های ستونی نشان داد باطله تازه تغلیظ در عدم حضور باکتری حداکثر ۴۷ درصد و در حضور باکتری ۷۲ درصد بازیابی داشت. در مورد باطله سد نیز حداکثر میزان بازیابی به ترتیب ۳۹ و ۶۲ درصد بود.

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۲۲ [۲۶]، استفاده از کنسرسیون‌های میکروبی اسیدوفیل مزوفیل‌ها و ترموفیل‌های متوسط در فلاسک‌های لرزان و همچنین در راکتورهای همزنی (STR)، برای بیولیچینگ کبالت و مس از

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 60 of 200

باطله‌های معدنی در شیلی را مطالعه کردند. باطله معدن حاوی مقادیر قابل توجهی مس ($\sim 500 \text{ ppm}$) و کبالت ($\sim 15 \text{ ppm}$) بود. پس از سازگار کردن کنسرسیون باکتری‌های مزوفیل، ۳۸ درصد از Co و ۸۶ درصد از مس در تانک همزنی ۲ لیتری با ۱۰ درصد جامد پس از ۱۲ روز بیولیچینگ در ۳۰ درجه سانتی‌گراد بازیابی شد. در آزمایش پیوسته در تانک همزنی ۲۰ لیتری با درصد جامد ۱۵ درصد، استخراج Cu و Co به ترتیب به ۴۹ درصد و ۸۳ درصد رسید. انحلال کم آهن (۱۴ درصد <) برای همه آزمایش‌ها مشاهده شد که برای مراحل بعدی پایین‌دستی مطلوب خواهد بود. همراه با نتایج حاصل از لیچینگ شیمیایی، داده‌ها نشان داد که مس عمدتاً توسط اسیدسولفوریک (لیچینگ اسیدی) لیچ می‌شود درحالی‌که استخراج زیاد Co به فعالیت میکروبی اکسیدکننده Fe (II) نیاز دارد. (بیولیچینگ- شکل ۱-۲۲)



شکل (۱-۲۲)- بیولیچینگ مس و کبالت [۲۶]

استانکوویچ و همکاران ۲۰۱۴ [۲۷]، به بررسی بیولیچینگ نمونه‌های گرفته‌شده از عمق‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متری از باطله‌های فلوتاسیون قدیمی معدن مس بور در فلاسک‌های لرزان با استفاده از آب بسیار اسیدی دریاچه روبول به‌عنوان عامل انحلال پرداختند. نتایج آنالیز ترکیب کانی‌شناسی نمونه باطله نشان داد که فراوان‌ترین کانی سولفیدی پیریت و فراوان‌ترین کانی‌های باطله کوارتز و سایر کانی‌های سیلیکاته با غلظت‌های ۲۲ درصد و ۷۷ درصد بودند. بازیابی مس پس از پنج هفته آزمایش بیولیچینگ برای نمونه عمق ۱۵ متری ۶۸/۳۴ درصد، برای نمونه ۲۰ متری ۷۲/۵۷ درصد و برای نمونه ۱۰ متری ۹۷/۷۸ درصد بود. نتایج به‌دست‌آمده با نتایج لیچینگ اسیدی همان نمونه‌ها مقایسه شد و نتیجه‌گیری شد که بیولیچینگ به‌طور کلی برای تصفیه نمونه‌های گرفته‌شده از اعماق ۱۰ و ۲۰ متر کارآمدتر است. محتوای پیریت در نمونه ۲۰ متری که

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 61 of 200

بیشترین مقدار این کانی را داشت، پس از بیولیچینگ کاهش یافت. مزایای این روش بازیابی مقادیر قابل توجهی مس، کاهش اثرات زیست محیطی باطله های فلوتاسیون و استفاده از آب فراوان و آزاد از دریاچه اسیدی روبول به عنوان عامل انحلال است. نتایج به دست آمده نشان داد که بیولیچینگ می تواند کارآمدتر از لیچینگ اسیدی برای استخراج مس از باطله های فلوتاسیون با محتوای سولفید بالاتر باشد.

هائو و همکاران در سال ۲۰۱۷ [۲۸]، به بررسی هیپ بیولیچینگ باطله های فلوتاسیون مس حاوی سطوح بالایی از دانه های ریز توسط کشت های مخلوط در مقیاس کوچک در مدت زمان ۲۱۰ روز پرداختند. (شکل ۱-۲۳) در قسمت زیرین هیپ از یک لایه قلوه سنگ های ماده معدنی جهت زه کشی استفاده شد. علاوه بر این، اثرات پارامترهای فیزیک و شیمیایی مختلف و تغییرات جامعه میکروبی بر بازده لیچینگ بیشتر مورد بررسی قرار گرفت. بازیابی کلی لیچینگ باطله مس و قلوه سنگ ها به ترتیب ۵۷/۱۰ درصد وزنی و ۶۵/۵۲ درصد وزنی بود. نتایج نشان داد که باکتری های کمولیتوتروفیک اسیدیتوباسیلوس و لپتوسپیریلوم همیشه در مراحل اولیه و میانی فرایند هیپ بیولیچینگ ارجحیت دارد. هر دو باکتری ممکن است مسئول بهبود استخراج مس باشد. اما باکتری های ترموگیمنوموناس و فروپلاسما به تدریج در مرحله نهایی افزایش یافتند.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 62 of 200



شکل (۱-۲۳) - هیپ بیولیچینگ: (الف) راکتور هیپ بیولیچینگ، (ب) ترتیب خط لوله هوادهی، (ج) ناودان زهکشی؛ (د) استخر ته‌نشینی و مخزن جمع‌آوری [۲۸]

۱-۴- استفاده از باطله‌ها در صنایع ساختمانی

استفاده از باطله‌های معدنی دو مزیت روشن و مشخص دارد:

- کاهش آثار زیان‌بار زیست‌محیطی
- کاهش مصرف منابع اولیه در صنایع ساختمانی

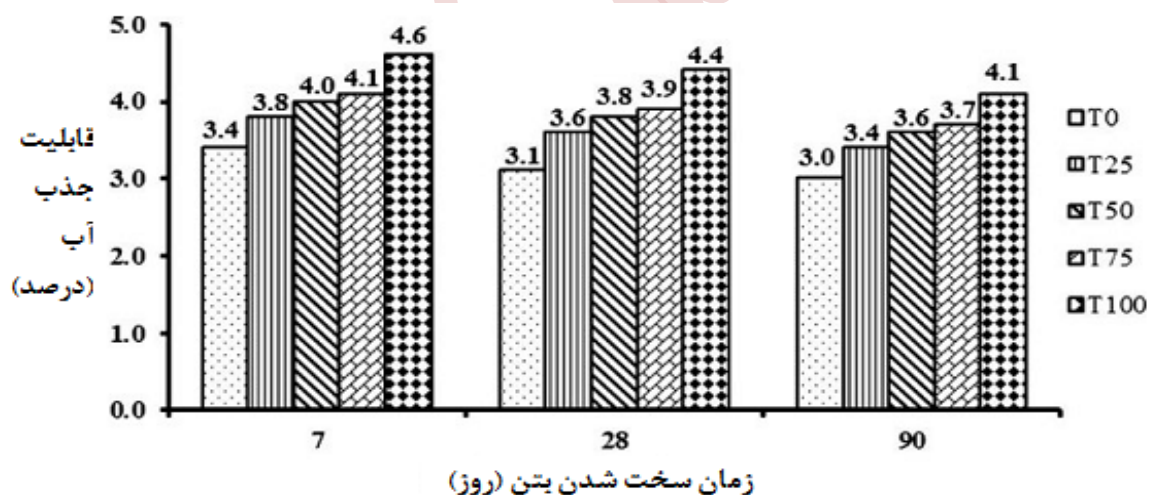
تاکنون مطالعات زیادی در زمینه استفاده از باطله‌های معدنی، از جمله باطله فلوتاسیون مس، در ساخت پرکننده‌ها، ملات، بتن و کاشی و سرامیک انجام شده است. یکی از مهم‌ترین فناوری‌های رایج، استفاده از مخلوط باطله مس و یک پیونددهنده هیدرولیکی (مانند گچ) به‌عنوان ماده پرکننده تونل‌ها و حفرات معدنی

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 63 of 200

و حفظ ساختار زمین است.^۱ یک گزینه دیگر، استفاده از باطله معدنی در ساخت ژئوپلیمرها است. به دلیل امکان جایگزینی سیمان‌های رایج پرتلند با این ژئوپلیمرها، مطالعات زیادی در این بخش صورت گرفته است. همچنین، امکان تولید کامپوزیت‌هایی با خصوصیات مناسب فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی با استفاده از باطله معدنی وجود دارد.

۱-۴-۱- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در ساخت ملات و بتن

معمولاً بتن شامل گراول درشت^۲ و گراول ریز^۳ است. به دلیل اینکه ابعاد ذرات باطله کمتر از ۱ mm است، می‌توان از آن به عنوان گراول ریز در بتن استفاده کرد. خصوصیات فیزیکی باطله تأثیر زیادی بر قابلیت کار، چگالی، پایداری، مقاومت مکانیکی و مقاومت زمانی بتن دارد. گاهی اوقات باطله، و به ویژه باطله‌های معادن فلزی، حاوی فلزات سنگینی است که امکان دارد سبب ایجاد نگرانی‌های زیست‌محیطی شود، به علاوه، بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی و شیمیایی بتن نیز تأثیر بگذارد. برای مثال، شکل (۱-۲۴) تأثیر میزان استفاده از باطله در تولید بتن بر روی قابلیت جذب آب آن را نشان می‌دهد.^[۳۰]



شکل (۱-۲۴) - تأثیر میزان استفاده از باطله مصرفی در بتن بر روی قابلیت جذب آب آن^[۳۰]

همان گونه که در شکل (۱-۲۵) ملاحظه می‌شود، با افزایش نسبت باطله در ساختار بتن، درصد جذب آب در نمونه افزایش یافته است. با این حال، با افزایش زمان سخت شدن، درصد جذب آب کاهش یافته است.

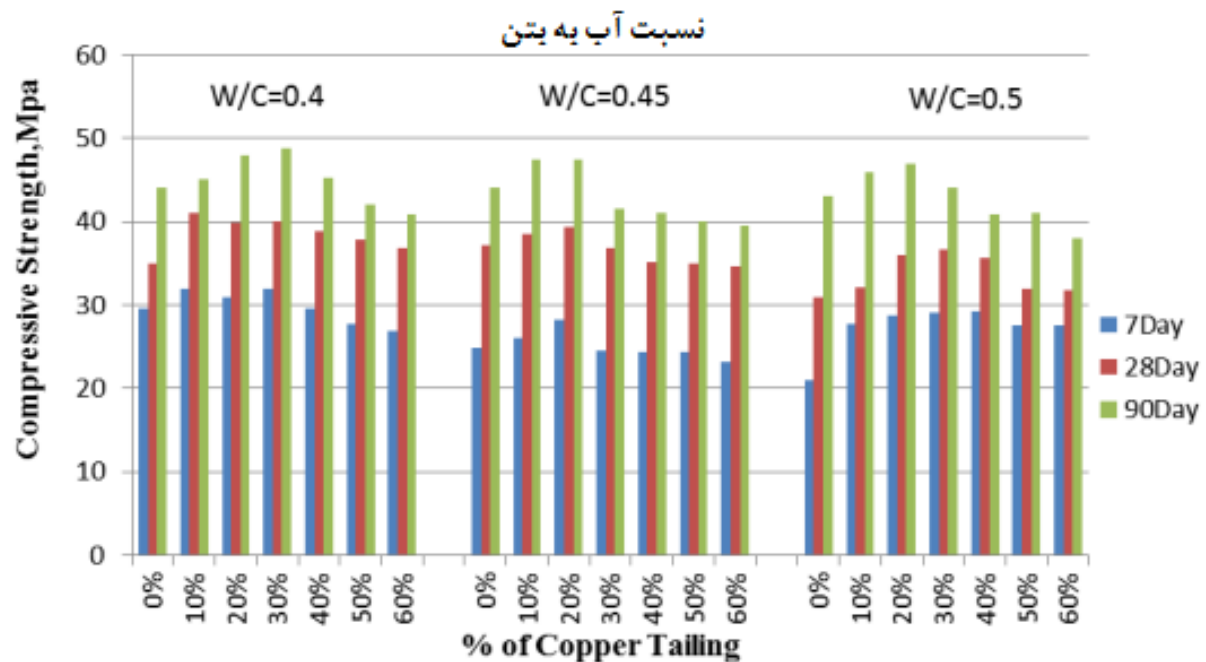
¹ Cemented paste backfill

² Coarse aggregate

³ Fine aggregate

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 64 of 200

افزون بر این، باطله معدنی روی خواص مکانیکی بتن مانند مقاومت فشاری، مقاومت محوری، چسبندگی و غیره نیز تأثیر دارد.



شکل (۱-۲۵)- تأثیر درصد باطله مس بر مقاومت فشاری بتن [۳۰]

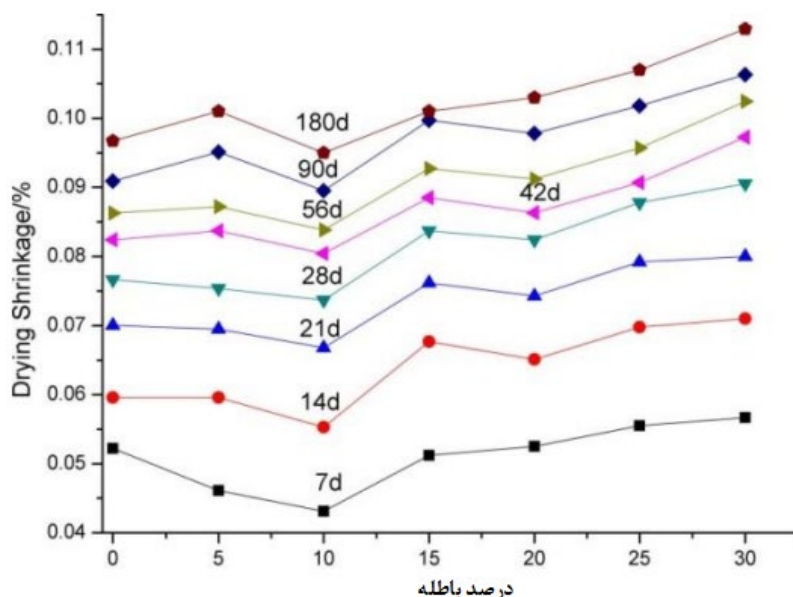
۱-۴-۲- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در ساخت سیمان

مواد اولیه مورد استفاده در تولید سیمانی دارای خاصیت پوزولانی، سیمانی شدن و یا هر دو است. به دلیل پایین بودن خاصیت سیمانی شدن مواد باطله فلوتاسیون، باید قبل از استفاده از آن‌ها در فرایند تولید سیمان عملیات پیش‌فرآوری مانند خشک‌کردن، آسیاکنی و کلسیناسیون بر روی آن‌ها انجام شود. با انجام عملیات کلسیناسیون، در اثر حرارت، شبکه برخی از کانی‌ها شکسته شده و درصد مواد آمورف در نمونه افزایش می‌یابد که سبب بهبود خواص پوزولانی می‌شود.

استفاده از باطله معدنی (فلوتاسیون) در فرایند تولید سیمان بر خواصی مانند واکنش هیدراتاسیون، سختی، تخلخل و گیرایی سیمان تأثیر دارد. برای مثال، شکل (۱-۲۶) تأثیر درصد باطله مصرفی در سیمان بر قابلیت انقباضی آن را نشان می‌دهد. [۳۱]

نکته مهم و اساسی برای استفاده از باطله فلوتاسیون مس در صنایع تولید بتن و سیمان این است که خصوصیات محصولات تولیدی باید منطبق بر استانداردهای ملی و منطقه‌ای باشد. برای مثال، تست انحلال (لیچینگ)

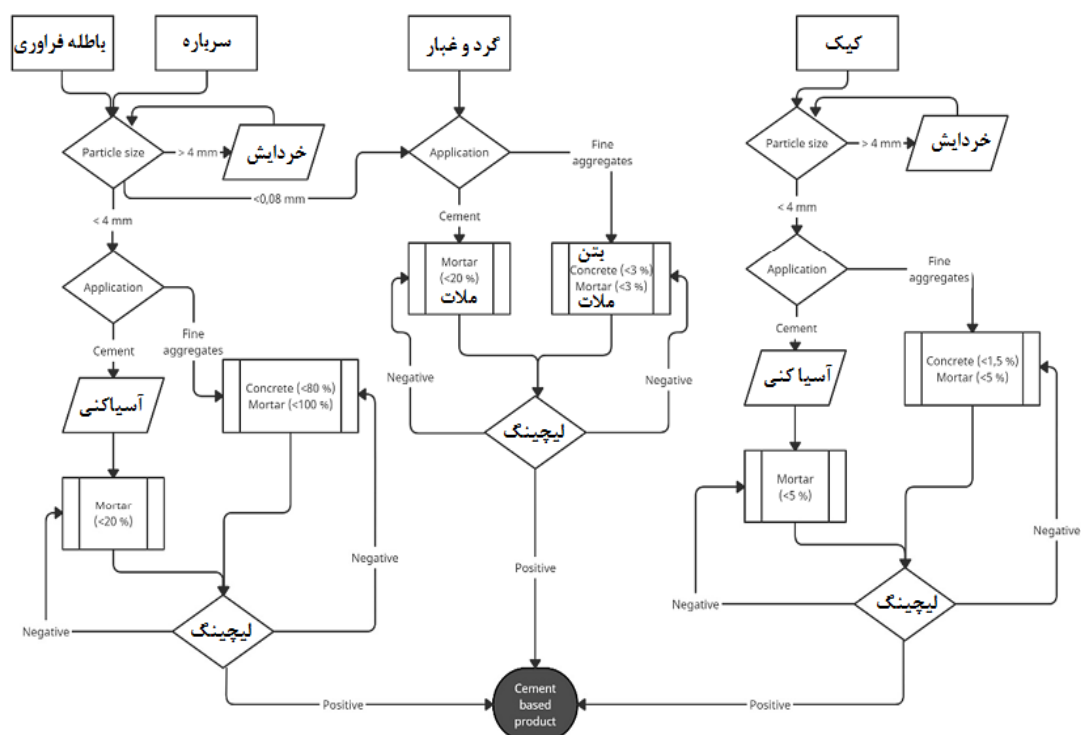
یکی از این موارد است. براساس این آزمون، محتوی عناصر و ترکیبات سیمان و بتن باید در محدوده خاص بوده و به علاوه در آزمایش انحلال در معرض محیط آبی، مقدار مشخصی از عناصر وارد محلول شود.



شکل (۱-۲۶) - تأثیر درصد باطله مصرفی در سیمان بر قابلیت انقباضی آن

بر این اساس، نمودار تصمیم‌گیری و سنجش برای بررسی امکان استفاده از انواع باطله‌های فرایند مس در صنایع ساختمانی می‌تواند به صورت شکل (۱-۲۷) اجرا شود.

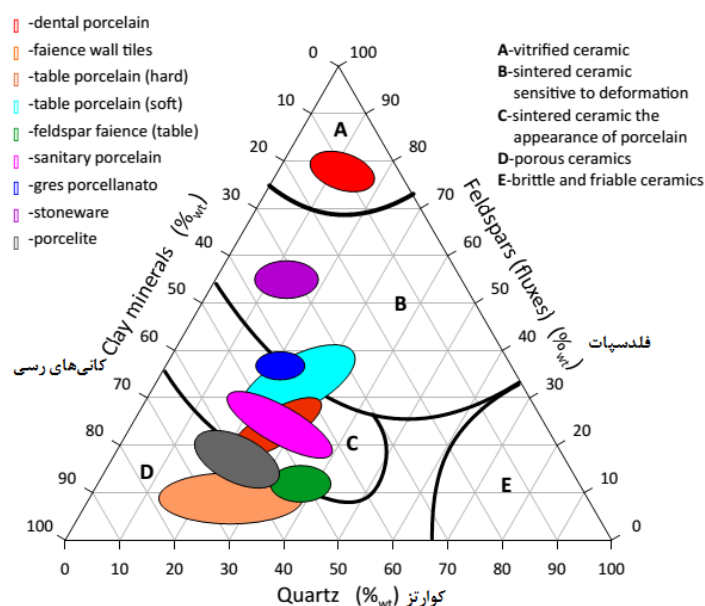
	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 66 of 200



شکل (۱-۲۷) - فرایند تصمیم‌گیری برای استفاده از باطله‌های فرایند تولید مس در صنایع بتن و سیمان [۳۱]

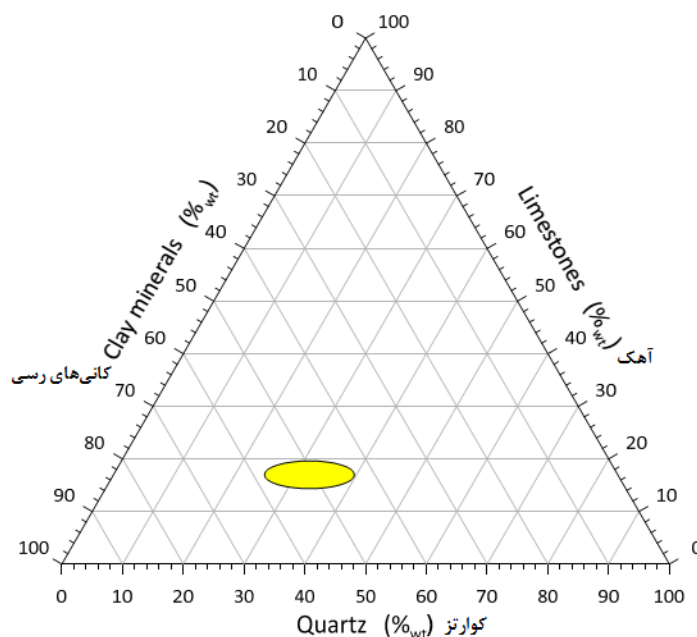
۱-۴-۳- استفاده از باطله فلوتاسیون مس در تولید کاشی و سرامیک

مواد سرامیکی، بر مبنای قابلیت جذب آب، به ۲ گروه مواد متخلخل و مواد سینتره دسته‌بندی می‌شود. مواد اولیه برای تولید سرامیک‌ها کوارتز، فلدسپات (پتاسیم و سدیم) و مواد رسی (کانی‌های رسی و کائولن) است. ترکیب و کیفیت مواد اولیه مصرفی برحسب نوع سرامیک و کاربرد آن متفاوت است. شکل (۱-۲۸) تغییرات ترکیب مواد اولیه برای تولید انواع سرامیک‌ها را نشان می‌دهد. اگرچه مواد اولیه مصرفی برای تولید سرامیک از منابع مختلف تهیه شده و در نتیجه از ترکیب شیمیایی متفاوتی برخوردار است، با این حال با تنظیم نسبت اکسیدهای مهم در مخلوط مواد اولیه، دستیابی به پارامترهای موردنیاز برای ساخت انواع سرامیک فراهم می‌شود. [۳۲]



شکل (۱-۲۸) - تغییرات ترکیب مواد اولیه برای تولید انواع سرامیک‌ها [۳۲]

گروهی از سرامیک‌ها، سرامیک‌های آهکی است که در ترکیب آن‌ها از کربنات کلسیم استفاده می‌شود. کربنات کلسیم به صورت ماربل، مارل یا دولومیت به مواد اولیه اضافه می‌شود. (شکل ۱-۲۹) پخت این سرامیک‌ها در دمای ۱۱۸۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود و معمولاً سبک‌تر و دارای وزن مخصوص کمتری است. با افزایش محتوای کلسیم در مواد اولیه، میزان روشنی و همچنین تخلخل سرامیک افزایش می‌یابد. باطله فلوتاسیون مس عمدتاً از کوارتز (۴۰ درصد)، کانی‌های کربناتی مانند دولومیت (۳۰ درصد) و کلسیت (۱۰ درصد) تشکیل شده است. ترکیب شیمیایی آن‌ها عمدتاً به صورت ۲۰-۵۰ درصد SiO_2 ، ۱۰-۲۵ درصد CaO و ۵-۱۰ درصد MgO است. به علاوه در اغلب موارد باطله دارای دانه‌بندی نرمه و ریز است. به همین دلیل امکان استفاده از این باطله‌ها در ساخت سرامیک وجود دارد.



شکل (۱-۲۹)- ترکیب شیمیایی سرامیک‌های بر مبنای آهک [۳۲]

مواد اولیه مورد استفاده در تولید سرامیک، براساس نقش آن‌ها در ساختار سرامیک، به ۳ دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که ترکیب شیمیایی معمول آن‌ها در جدول (۱-۷) ارائه شده است.

- رس‌های پلاستیکی (Plastic clays)
- کمک‌ذوب‌ها (Fluxes)
- پرکننده‌ها (Fillers)

جدول (۱-۷)- ترکیب شیمیایی معمول مواد خام اولیه در تولید سرامیک [۳۳]

P ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	MgO	CaO	S	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
۰/۳۱	۱/۱۶	۱/۸۳	۰/۲۸	۰/۳۵	۰/۲۰	۱۰/۰۵	۲۶/۲۲	۵۱/۷۸	رس نوع ۱
۰/۴۶	۰/۴۸	۲/۷۴	۰/۶۱	۰/۸۵	۰/۷۱	۳/۷۹	۱۷/۵۹	۶۵/۹۲	رس نوع ۲
۰/۰۰	۰/۲۰	۱/۱۵	۰/۶۳	۰/۷۱	۰/۰۰	۹/۶۷	۱۲/۳۹	۷۷/۸۵	کمک‌ذوب
۰/۲۸	۰/۷۹	۳/۳۹	۱/۳۸	۱/۲۷	۰/۴۷	۶/۳۲	۱۸/۵۵	۶۲/۰۵	پرکننده نوع ۱
۰/۱۸	۰/۷۹	۳/۱۲	۱/۰۴	۰/۴۶	۰/۰۰	۶/۲۱	۱۸/۰۲	۶۴/۷۶	پرکننده نوع ۲

در جدول (۱-۸) نیز، برای مثال، آنالیز شیمیایی چند نمونه برداشته‌شده از سد باطله فلوتاسیون مجتمع مس

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 69 of 200

سرچشمه ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، شباهت زیادی بین ترکیب شیمیایی مواد وجود دارد که نشان می دهد امکان استفاده از باطله فلوتاسیون در تولید کاشی و سرامیک فراهم است.

جدول (۸-۱) - ترکیب شیمیایی چند نمونه از سد باطله فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه [۳۳]

P ₂ O ₅	TiO ₂	K ₂ O	MgO	CaO	S	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	
۰/۱۰	۰/۲۵	۴/۲۰	۲/۵۸	۰/۹۸	۴/۱۱	۵/۶۱	۱۵/۹۸	۶۱/۴۱	W1
۰/۱۱	۰/۲۶	۴/۹۲	۲/۸۸	۱/۰۳	۲/۵۵	۷/۵۳	۱۶/۲۱	۶۱/۱۱	W2
۰/۱۰	۰/۲۵	۴/۸۷	۳/۰۹	۱/۲۳	۱/۵۴	۶/۸۷	۱۵/۸۸	۵۹/۲۶	W3

مهرایان و صرافی در سال ۱۳۹۱ [۳۳]، امکان ساخت سرامیک ساختمانی با استفاده از نمونه سد باطله مدار فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه را بررسی کردند. در این تحقیق برای تهیه ماده اولیه ساخت سرامیک از ترکیب مواد استاندارد با نمونه سد باطله با درصدهای مختلف استفاده شد به طوری که درصد وزنی باطله در ماده اولیه سرامیک بین ۳۰ تا ۷۰ درصد متغیر بود. (جدول ۹-۱) نمونه های سرامیک تهیه شده، پخته شده و سپس مورد آزمون های مختلف قرار گرفت.

جدول (۹-۱) - ترکیب مواد اولیه برای تهیه سه نوع سرامیک با استفاده از نمونه باطله فلوتاسیون [۳۳]

C2%	C1%	B%	A2%	A1%	W%	
۵/۶	۸/۴	۱۵/۴	۱۲/۶	۲۸	۳۰	X
۴	۶	۱۱	۹	۲۰	۵۰	Y
۲/۴	۳/۶	۶/۶	۵/۴	۱۲	۷۰	Z

نتایج نشان داد که به دلیل وجود کوارتز، اورتوکلاز و البیت در نمونه باطله، این ماده برای تولید سرامیک مناسب است. مقاومت مکانیکی ماده خشک مناسب بوده و به دلیل ریز بودن ابعاد ذرات امکان اجرای عملیات پرس و دستیابی به ساختار یکنواخت وجود دارد. به همین دلیل، امکان دستیابی مناسب به خصوصیات مانند جذب آب و تخلخل فراهم می شود. (جدول ۱۰-۱) در نهایت بررسی ها نشان داد که نمونه سد باطله مجتمع مس سرچشمه می تواند به عنوان یک ماده جایگزین مناسب برای ماده رسی پلاستیکی استفاده شود.

جدول (۱۰-۱) - خصوصیات سه نوع سرامیک تهیه شده با استفاده از نمونه باطله فلوتاسیون [۳۳]

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 70 of 200

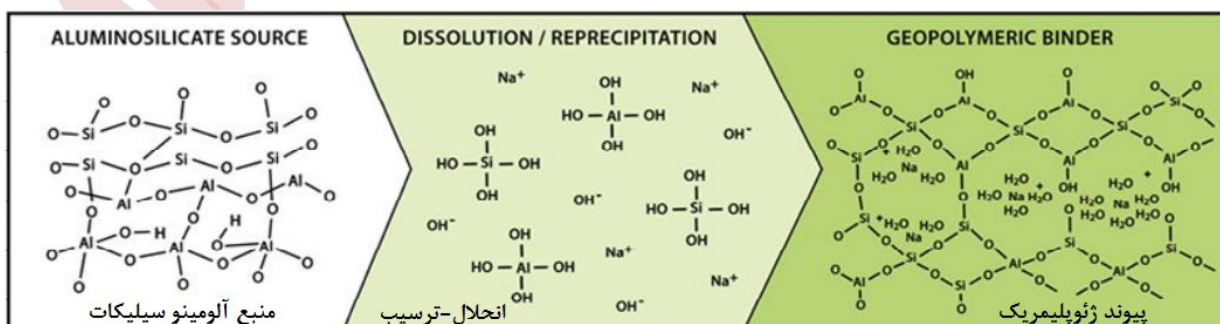
Z	Y	X	واحد	
۲/۶۵	۳/۶۱	۴/۴۳	درصد	جذب آب
۵/۹۳	۵/۵۹	۶/۴۵	Kg/cm ²	مقاومت مکانیکی خام
۲۸/۴۵	۲۰/۹۵	۲۰/۹۰	Kg/cm ²	مقاومت مکانیکی خشک
۴۸۴/۸۶	۵۴۴/۳۱	۵۰۴/۰۷	Kg/cm ²	مقاومت مکانیکی پخته شده
۶/۰۶	۵/۴۸	۵/۲۸		انبساط حرارتی خطی
۶/۶۰	۶/۴۱	۵/۴۸	درصد	انقباض

۱-۴-۴- استفاده از باطله مس در ژئوپلیمرها

ژئوپلیمرها موادی است که در شرایط قلیایی از مواد خام حاوی آلومینوسیلیکاتها تولید می شود. مواد مناسب برای استفاده رس های طبیعی و پسماندهای صنعتی است. شکل (۱-۳۰) مواد اولیه مورد استفاده در بتن ژئوپلیمری و شکل (۱-۳۱) مکانیسم فرایند تشکیل ژئوپلیمر را نشان می دهد. این مواد، قابلیت رقابت با انواع سرامیک و سیمان پرتلند را دارند و خواص بسیار مناسبی مانند سرعت گیرایی بالا، قدرت پیوند مناسب و جلوگیری از نشر مواد سمی و مضر را داراست.



شکل (۱-۳۰) - مواد اولیه ساخت بتن ژئوپلیمری



	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 71 of 200

شکل (۱-۳۱) - مکانیسم تشکیل ژئوپلیمر [۳۴]

در ابتدا از کائولن به عنوان ماده اولیه استفاده می‌شد ولی به تدریج استفاده از موادی مانند خاکستر زغال، سرباره و باطله معدنی مورد توجه قرار گرفت. تولید ژئوپلیمرها در دمای اتاق و یا در دماهای کمی بالاتر صورت می‌گیرد و نسبت به فرایند تولید سیمان حدود ۸۰ درصد CO₂ کمتری تولید می‌کند. پارامترهای کلیدی برای تعیین قابلیت استفاده از باطله معدنی (برای مثال فلوتاسیون مس) برای تولید ژئوپلیمر، درصد سیلیس و آلومینیوم فعال، CaO، Fe₂O₃ و توزیع ابعاد ذرات هستند. نسبت سیلیس به آلومینیوم یک پارامتر حیاتی برای تشکیل پیوند ژئوپلیمریک است و باید بین ۴-۲/۵ باشد. در برخی موارد، جهت بهبود خواص باطله جهت مصرف در تولید ژئوپلیمر، انجام پیش فراوری مانند خردایش، عمل‌آوری حرارتی و یا شیمیایی-حرارتی ضروری است.

۵-۱- جمع‌بندی

در این گزارش، سوابق تحقیقات و مطالعات انجام‌شده در زمینه فراوری مجدد باطله‌های مس مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی این تحقیقات با ۳ رویکرد انجام شده است: رویکرد اول استفاده از فناوری‌های رایج مانند فلوتاسیون و لیچینگ شیمیایی به منظور استحصال عناصر باارزش از باطله و تولید باطله نهایی بدون ارزش اقتصادی، رویکرد دوم، بهبود فناوری‌های رایج قبلی مانند توسعه فلوتاسیون نانوحباب و یا دستگاه‌های فلوتاسیون جدید با کارایی بالا برای فراوری نرمه‌ها و رویکرد سوم، استفاده از باطله مس به عنوان ماده اولیه مصرفی در صنایع دیگر مانند سیمان و کاشی و سرامیک. نتیجه مهمی که از این گزارش حاصل می‌شود این است که باوجود تلاش‌های فراوان برای کاربرد فناوری‌های جدید در فراوری مجدد باطله، عملیات در مقیاس صنعتی تنها محدود به استفاده از فناوری‌های رایج و شناخته‌شده مانند فلوتاسیون بوده است.

منابع فصل اول

- [۱] رضایی بهرام. بررسی امکان بازیافت مس از باطله کارخانه فراوری مس سرچشمه. دانشکده فنی دانشگاه تهران ۱۳۷۹؛ ۳۴ (۱) (پیاپی ۶۷): ۷۹-۸۵. Available from: <https://sid.ir/paper/435686/fa85-79>.
- [۲] محمدی، جعفر و شجاعی باغینی، وحیده و خوشدست، حمید و موسوی، سید مجید، ۱۳۹۷، بررسی امکان بازیافت باطله‌های واحد اسکونجر کلینر مدار فلوتاسیون مجتمع مس میدوک، پنجمین اجلاس بین‌المللی

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 72 of 200

پژوهش کاربردی در شیمی و مهندسی شیمی با تأکید بر فناوری‌های بومی

ایران، تهران، <https://civilica.com/doc/837036>

- [3] MARKOVIC, Z.; VUSOVIC, N.; MILANOVIC, D. *Old Copper Flotation Tailings Water Reprocessing*. In: Proceedings of the XXV International Mineral Processing Congress (IMPC) Proceedings, Brisbane, QLD, Australia. 2010. p. 6-10.
- [4] LUTANDULA, Michel Shengo; MALOBA, Banza. *Recovery of cobalt and copper through reprocessing of tailings from flotation of oxidised ores*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2013, 1.4: 1085-1090.
- [5] HAN, Baisui, et al. *Copper upgrading and recovery process from mine tailing of Bor region, Serbia using flotation*. International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 2014, 20.2: 225-229.
- [6] CHEN, Dong, et al. *Study on Flotation Technique to Recycle Copper from Tailings*. Advanced Materials Research, 2014, 878: 322-329.
- [7] MOUSAVINEZHAD, Seyed Kamal; POURGHAHRAMANI, Parviz; AGHAZADEH, Sajjad. *An Experimental Investigation on the Copper Recovery from Flotation Tailing Dams by Reflotation*. Russian Journal of Non-Ferrous Metals, 2018, 59: 23-31.
- [8] YIN, Zhigang, et al. *Evaluation of the possibility of copper recovery from tailings by flotation through bench-scale, commissioning, and industrial tests*. Journal of Cleaner Production, 2018, 171: 1039-1048.
- [9] ÖZDEMİR, Erdem, et al. *New insights into recovery of copper and gold from old flotation tailings from Bor, Serbia*. 2021.
- [10] BREST, Kasongo K., et al. *Statistical investigation of flotation parameters for copper recovery from sulfide flotation tailings*. Results in Engineering, 2021, 9: 100207.
- [11] SHENGO, L. M. *Potentially exploitable reprocessing routes for recovering copper and cobalt Retained in Flotation Tailings*. Journal of Sustainable Metallurgy, 2021, 7: 60-77.
- [12] BILAL, Muhammad, et al. *The Challenges and Prospects of Recovering Fine Copper Sulfides from Tailings Using Different Flotation Techniques: A Review*. Minerals, 2022, 12.5: 586.
- [13] TABOSA, Erico; RUBIO, Jorge. *Flotation of copper sulphides assisted by high intensity conditioning (HIC) and concentrate recirculation*. Minerals Engineering, 2010, 23.15: 1198-1206.
- [14] BILAL, Muhammad, et al. *Effects of coarse chalcopryrite on flotation behavior of fine chalcopryrite*. Minerals Engineering, 2021, 163: 106776.
- [15] BILAL, Muhammad, et al. *Heterogenous carrier flotation technique for recovering finely ground chalcopryrite particles using coarse pyrite particles as a carrier*. Minerals

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 73 of 200

Engineering, 2022, 180: 107518.

[۱۶] پژوهان، جلیل و بیکی، حسین. بررسی آزمایشگاهی لیچینگ باطله‌های فلوتاسیون جهت بازیابی مس در

یک مخزن اختلاط ناپیوسته، ۱۴۰۰. <https://civilica.com/doc/1432044>

میرزایی، محسن، خدادادی، احمد، محمدنژاد، سیمیا. بازیافت مس از باطله‌های فراوری معدن سرب قله‌کفتران

شاهرود. نشریه مهندسی معدن، ۱۴۰۰. 27. doi:10.22034/ijme.2020.121873.1788-16(50): 27

[17] ANTONIJEVIĆ, M. M., et al. *Investigation of the possibility of copper recovery from the flotation tailings by acid leaching*. Journal of hazardous materials, 2008, 158.1: 23-34.

[18] MUSTAFA, O. Z. E. R. *Cobalt and Copper Recovery from the Ancient Flotation Tailings using Selective Sulfation Roast-Leaching Process*. Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy, 2019, 55.3: 315-324.

[19] CONSTANTIN, Ionuț, et al. *Methods for processing mining wastes from copper extraction for the recovery of precious metals*. UPB Sci Bull Series B, 2019, 81: 207-214.

[20] ALVAREZ, Maria Luisa, et al. *Recovery of zinc and copper from mine tailings by acid leaching solutions combined with carbon-based materials*. Applied Sciences, 2021, 11.11: 5166.

[21] TAO, Lei, et al. *Leaching of iron from copper tailings by sulfuric acid: behavior, kinetics and mechanism*. RSC advances, 2021, 11.10: 5741-5752.

[22] HAN, Baisui, et al. *Development of copper recovery process from flotation tailings by a combined method of high-pressure leaching-solvent extraction*. Journal of Hazardous Materials, 2018, 352: 192-203.

[23] MAGWANENG, Refilwe Sandra, et al. *Development of a combined Flotation and high pressure leaching process for copper and nickel recovery from mine tailing*. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2017, 5.3: 118-131.

[۲۴] زند و کیلی، سعید، رنجبر، محمد، منافی، زهرا. بررسی کارایی بیولیچینگ به‌منظور بازیابی مس از باطله

تغلیظ مجتمع مس سرچشمه. ۱۳۸۳. Available from: <https://sid.ir/paper/806262/fa>

[25] ZHANG, Ruiyong; SCHIPPERS, Axel. *Stirred-tank bioleaching of copper and cobalt from mine tailings in Chile*. Minerals Engineering, 2022, 180: 107514.

[26] STANKOVIĆ, Srdan, et al. *Bioleaching of copper from samples of old flotation tailings (Copper Mine Bor, Serbia)*. Journal of the Serbian Chemical Society, 2015, 80.3: 391-405.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 74 of 200

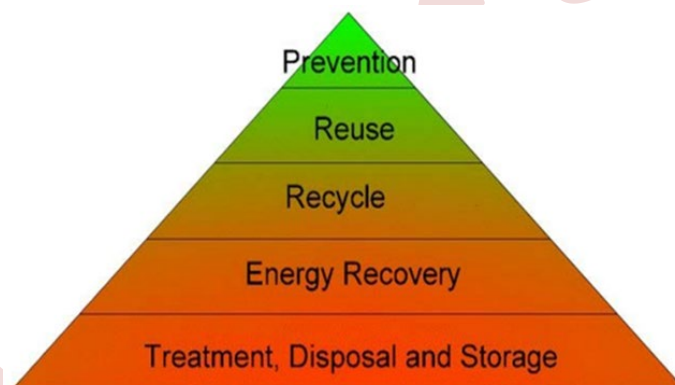
- [27] HAO, Xiao-dong, et al. *Thin-layer heap bioleaching of copper flotation tailings containing high levels of fine grains and microbial community succession analysis*. International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 2017, 24: 360-368.
- [28] GOU, Mifeng; ZHOU, Longfei; THEN, Nathalene Wei Ying. **Utilization of tailings in cement and concrete: A review**. Science and Engineering of Composite Materials, 2019, 26.1: 449-464.
- [29] ROSADO, Santiago, et al. *Potential Uses of Copper Wastes in the Building Sector: Inertization and Added Value Solutions*. Materials Proceedings, 2021, 5.1: 25.
- [30] IZAK, Piotr; DELIKHOVSKYI, Yurii; OLSZYNA, Andrzej. *Use of Post-Flotation Solidified Tailings from Copper Production for Ceramic Tile Production*. Materials, 2022, 16.1: 132.
- [۳۱] صرافى، امير و موحدى، احسان و مهرباين، مليحه، ۱۳۹۱، توليد سراميك ساختمانى با استفاده از باطله‌هاى تغليظ مجتمع مس سرچشمه، چهاردهمين كنفره ملي مهندسى شيمي ايران، تهران،
<https://civilica.com/doc/172448>
- [32] OBENAU-EMLER, Robert, et al. *Geopolymers from mining tailings for more sustainable raw material supply*. In: MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2019. p. 05001.

فصل دوم: بررسی تکنولوژی‌های مدیریت باطله و فراوری مجدد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 76 of 200

۱-۲- مقدمه

براساس آمارهای جهانی، در فرایند فراوری مس، سالانه حدود ۴ بیلیون تن باطله تولید می‌شود. [۱] به‌طور مشابه، در داخل کشور نیز سالانه حجم زیادی باطله فلوتاسیون مس تولید می‌شود. برای مثال در مجتمع مس سرچشمه سالانه حدود ۳۰ میلیون تن باطله فلوتاسیون تولید و به سد باطله منتقل می‌شود. به‌طوری که حدود ۶۰۰ میلیون تن باطله در سد انباشته شده است. برای مدیریت باطله‌های معدنی، استراتژی‌های مختلفی ارائه شده است [۲]. شکل ۱-۲ اولویت اجرایی این راهکارها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، اولین اولویت، کاهش حجم تولید باطله است در حالی که عمل‌آوری و دفع باطله آخرین اولویت است. استفاده مجدد^۱ و بازیافت^۲ در نوک هرم قرار دارد. متأسفانه، پرکاربردترین استراتژی در صنایع معدنی کنونی، استراتژی دفع و ذخیره‌سازی باطله است.



شکل (۱-۲)- استراتژی‌های ارائه شده برای مدیریت باطله‌های معدنی و اولویت آن‌ها [۲]

در استراتژی استفاده مجدد، هیچ‌گونه تغییر بیولوژیکی، فیزیکی و یا فیزیکوشیمیایی روی باطله انجام نمی‌شود. مزیت این استراتژی استفاده حداکثری از منابع طبیعی و تولید محصولات ارزان‌تر است. در استراتژی بازیافت، یک‌سری عملیات (برای مثال فیزیکی یا فیزیکوشیمیایی) بر روی باطله انجام می‌شود تا قابلیت استفاده از آن به‌عنوان ماده خام ورودی در یک مدار تولید جدید فراهم شود. مزایای این استراتژی، ایجاد اشتغال، توسعه راه‌حل‌های علمی و دانش و کاهش نیاز به استخراج منابع اولیه از معادن است. این استراتژی به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته به‌شدت مورد توجه قرار گرفته و به‌سرعت در حال پیشرفت است.

¹ Reuse

² Recycling

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 77 of 200

جدول (۱-۲) مهم‌ترین فرایندهای مورد استفاده در اجرای استراتژی‌های استفاده مجدد و بازیافت برای مدیریت انواع باطله‌های معدنی و مزایا و معایب هر روش را بیان می‌کند. سوابق تحقیق مربوط به هریک از این موارد در گزارش فاز ۱ ارائه شده است.

جدول (۱-۲) - مهم‌ترین فرایندهای مورد استفاده در اجرای استراتژی‌های استفاده مجدد و بازیافت برای مدیریت انواع باطله‌های معدنی [۲]

نوع باطله	فرایند	مزایا	محدودیت‌ها
فلوتاسیون	جدایش ثقلی	امکان استفاده در مقیاس صنعتی	بازیابی پایین برای نرمه‌ها و کانی‌های رسی
		مؤثر برای کانه‌های بسیار ریزدانه	
		قابل استفاده برای کانه‌های غیر مغناطیسی	
جدایش مغناطیسی	جدایش مغناطیسی	عدم استفاده از مواد شیمیایی	از دست رفتن بخش زیادی از باطله در روش‌های واسطه سنگین
		کمتر بودن مشکلات زیست‌محیطی	
		ساده بودن فرایند	
باطله‌های فراوری معادن فلزی	جدایش مغناطیسی	هزینه پایین نسبت به فلوتاسیون	
		قابل استفاده برای کانه‌های درشت‌دانه	
		هزینه عملیاتی پایین، ساده بودن تجهیزات، پایین بودن حجم باطله که برای محیط‌زیست مضر باشد	فقط برای کانه‌های مغناطیسی قابل استفاده است
بیولیچینگ	استخراج با حلال	استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای استحصال فلزات از منابع کم‌عیار	سرعت پایین فرایند وابستگی زیاد به شرایط آب و هوایی نیازمند کنترل شرایط
		یک فناوری جدید باقابلیت توسعه	
		قابلیت اجرای عملیاتی و اقتصادی در مدت‌زمان کوتاه	هزینه نسبتاً بالا
آمالگاسیون	آمالگاسیون	امکان استحصال فلزات با عیار بالا	قابلیت تغییر شیمیایی مواد مصرفی
		امکان جداسازی فلزات	قابلیت تبخیر و اشتعال مواد
		ساده و ارزان	عدم کاربرد برای فلزات باارزش با توزیع ریزدانه در سنگ معدن
باطله ژئوپس (در فراوری فسفات)	لیچینگ اسیدی	مصرف انرژی کم	استفاده از حجم زیاد اسید
		هزینه سرمایه‌گذاری پایین	سخت بودن خالص‌سازی

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 78 of 200

مصرف بالای انرژی	انتخاب پذیری مناسب	استخراج با	برای مثال)
مشکلات زیست محیطی	تولید فلز با خلوص بالا	حلال	
مصرف بالای انرژی	قابلیت استفاده برای ظرفیت های بالا	روش های پیرو	
مشکلات زیست محیطی	هزینه سرمایه گذاری و عملیاتی پایین	متالورژی	
مصرف بالای مواد شیمیایی	کاهش مشکلات زیست محیطی	روش های هیدرو	باطله فرایندهای
نیازمند تجهیزات خاص مانند	پایین بودن ابعاد تجهیزات	متالورژیکی	متالورژیکی
الکترودها	امکان توسعه فناوری	روش های	
		الکترومتالورژیکی	

در گذشته، پایین بودن قیمت فلزات غیر آهنی سبب شد تا معادن مقدار قابل توجهی از مواد معدنی را به عنوان باطله به سد باطله منتقل کند. امروزه افزایش قیمت این فلزات، پیشرفت های تکنولوژیکی و محدودیت های زیست محیطی سبب شده است تا تمایل برای فراوری مجدد این باطله ها افزایش یابد. برای مثال در مورد مس، توسعه فرایند بیولیچینگ امکان فراوری باطله های کم عیار را فراهم کرده است. به علاوه، بازیافت باطله های مس، آهن، روی و طلا در تولید آجرها، کاشی ها و انواع محصولات دانه بندی مورد توجه قرار گرفته است.

۲-۲- سوابق صنعتی باز فراوری باطله مس

سوابق تحقیقاتی باز فراوری باطله مس در گزارش فاز ۱ ارائه شد. باین حال، در این گزارش تلاش های صورت گرفته توسط شرکت های معدنی در راستای اجرای صنعتی طرح فراوری مجدد باطله و بازیابی عناصر باارزش ارائه می شود تا بتوان به ملاکی عملی برای انتخاب فرایند دست یافت.

۲-۲-۱- سوابق پروژه فراوری مجدد باطله در کشور شیلی

در کشور شیلی سالانه حدود ۳۵۰ میلیون تن باطله مس تولید می شود و تاکنون حدود ۶/۸ میلیارد تن باطله بر در سدهای باطله و هیپ های قدیمی انباشته شده است. در این کشور تعداد ۷۴۴ سد باطله مس وجود دارد که از این تعداد، ۶۶ عدد آن حاوی بیش از ۵ میلیون تن و ۲۸ عدد آن بیش از ۵۰ میلیون تن مواد است. بر مبنای مطالعات انجام شده، حداقل تعداد ۲۱ سد از لحاظ اقتصادی قابلیت فراوری مجدد برای بازیابی مس، مولیبدن، نقره، آهن، کبالت، روی و سرب را داراست.

۲-۲-۱-۱- پروژه بی جی آر آلمان-شیلی

کارفرما: سازمان معادن شیلی و سازمان زمین شناسی شیلی

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 79 of 200

مجری: سازمان بی جی آر (BGR) وابسته به وزارت منابع طبیعی آلمان

زمان قرارداد: ۲۰۱۸ - ۲۰۱۳

موضوع قرارداد: هدف از این پروژه، فراوری مجدد باطله‌ها و استحصال فلزات جهت استفاده در صنایع کشور آلمان بوده است. در این پروژه، حدود ۵۰۰ توده باطله بررسی شده و از بین آن‌ها ۱۲ نمونه برای انجام مطالعات انتخاب شد. برای فراوری مجدد این نمونه‌ها، تست‌های جدایش ثقلی، لیچینگ شیمیایی و بیولیچینگ انجام شد. (شکل ۲-۲)



شکل (۲-۲) - سد باطله معدن مس آفریکانا در نزدیک شهر سانتیاگو، شیلی
که برای پروژه فراوری مجدد مورد بررسی قرار گرفته است.

سپس در مرحله دوم، عملیات نمونه‌برداری از سدهای باطله و هیپ‌ها به صورت سامان‌مند با حفاری عمیق و نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف و سپس انجام مطالعات ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و فراوری انجام شد. اطلاعات حاصل از این مطالعات برای بررسی فنی و اقتصادی و تصمیم‌گیری با هدف سرمایه‌گذاری به واحدهای علاقه‌مند ارسال شده است.

۲-۱-۲-۲- مطالعه موردی مطالعات مهندسی مفهومی برای فراوری مجدد باطله

این پروژه، روی سدهای باطله قدیمی به منظور بازیابی مس و مولیبدن انجام شد. [۴] ابتدا با حفاری ۱۷ نقطه

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 80 of 200

مختلف سد باطله مقدار ۲/۵ تن نمونه تهیه و برای مطالعات مختلف به آزمایشگاه ارسال شد. براساس نتایج، D80، D100 و D50 نمونه به ترتیب ۵۰، ۱۸۸ و ۴۵ میکرون تعیین شد. عیار مس در نمونه برابر ۰/۳۶ درصد تعیین شد که ۱۵/۵ درصد آن به صورت کانی سولفیدی اولیه (کالکوپریت) و مابقی به صورت کانی سولفیدی ثانویه (۵۷ درصد در کالکوسیت، ۱۵/۶ درصد در کوولیت و ۱۰/۲ درصد در بورنیت) بود. براساس مطالعات کانی شناسی، ۸۳ درصد باطله از سیلیکات ها و ۱۱/۶ درصد از فیلوسیلیکات ها تشکیل شده بود. حدود ۵۰ درصد مس در کانی های وجود داشت که درجه آزادی آن ها کمتر از ۵۳ میکرون بود.

برای انجام تست های فراوری به روش فلوتاسیون ۲ مسیر در نظر گرفته شد:

- مدار ساده فلوتاسیون به صورت رافر-کلینر به همراه آسیاکنی مجدد

- جدایش ابعادی نمونه به وسیله هیدروسیکلون و سپس مدار معمول فلوتاسیون

مطالعات فلوتاسیون با استفاده از سلول فلوتاسیون دنور در شرایط استاندارد pH برابر ۸/۵، درصد جامد ۳۳ درصد و D80 برابر ۱۴۰ میکرون انجام شد. عملکرد ۷ کلکتور و ۳ کف ساز مختلف تهیه شده از سازنده های مختلف بررسی شد. در شرایط بهینه رافر با استفاده از کلکتور MX822 (ساخت شرکت Solvay) با غلظت ۵۰ g/t همراه با کلکتور ثانویه PAX با غلظت ۵ g/t و مخلوط ۲ کف ساز FP511 (ساخت شرکت NALCO) و روغن کاج (هرکدام ۲۰ g/t) مقدار ۸۷ درصد مس بازیابی شد.

در حالت دوم، ابتدا نمونه وارد خوشه های هیدروسیکلون شد. سرریز سیکلون (مواد دانه ریز) وارد مدار فلوتاسیون شده و ته ریز سیکلون وارد آسیا می شود و بدین ترتیب میزان مصرف انرژی خردایش کاهش می یابد. برای این کار از سیکلون ۲ اینچی استفاده شد و حد جدایش ذرات ۱۵۰ میکرون بود. ۴۴ درصد مس به بخش سرریز (ریزتر از ۱۵۰ میکرون) و ۵۶ درصد مس به بخش ته ریز منتقل شد. بازیابی کلی فلوتاسیون در این مدار برابر ۷۰ درصد بود.

سپس مطالعات کلینر روی کنسانتره حاصل از مرحله رافر انجام شد. با استفاده از سلول فلوتاسیون Contact Cell™ در شرایط pH برابر ۱۱/۵، درصد جامد ۲۰-۱۵ درصد و D80 بین ۴۵-۴۰ میکرون، حدود ۹۵ درصد مس بازیابی شده و کنسانتره ای با عیار ۲۲ درصد تولید شد.

با استفاده از داده های حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، مدار فلوتاسیون در نرم افزار Aminfloat طراحی شده و ارزیابی فنی و اقتصادی انجام شد. برای کارخانه ای با ظرفیت خوراک ورودی ۳۰ هزار تن در روز و زمان کل پروژه ۱۰ سال، اندیس سوددهی پروژه برابر ۱/۴۶ تعیین شد. [۴]

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 81 of 200

۲-۲-۱-۳- مطالعه موردی امکان پذیری فراوری مجدد سد باطله برای جبران هزینه جابه جایی

به دنبال پروژه قبل، پروژه جدید برای امکان سنجی فراوری مجدد نمونه یک سد باطله قدیمی دیگر انجام شد. [۴] این سد باطله ناپایدار بوده و چندین بار دچار شکست شده بود. به طوری که در یکی از این اتفاقات در سال ۱۹۲۸ تعداد ۵۵ نفر کشته شدند. مالک معدن به دلایل ایمنی ناچار به جابه جایی مواد در سد باطله جدید بر مبنای اصول ایمنی و قوانین زیست محیطی جدید است. به همین دلیل تصمیم گرفته شد تا فراوری مجدد باطله بررسی شود تا با بازیابی فلزات با ارزش بخشی از هزینه های جابه جایی جبران شود.

بر اساس تجربیات پروژه قبلی، نمونه معرف سد باطله به ۲ بخش ابعادی کمتر و بیشتر از ۱۵۰ میکرون تقسیم شد. عیار مس در بخش ریزدانه حدود ۰/۲ و در بخش درشت حدود ۰/۴ درصد بود. بر اساس مطالعات کانی شناسی، کولیت و کالکوپیریت مهم ترین کانی های مس بودند در حالی که مهم ترین کانی های باطله، کانی های رسی (بیشتر ایلیت و کلریت) بود.

آزمایش های فلوتاسیون با کلکتور 3477C-AP (۴۵ g/t)، کلکتور ثانویه گازوئیل (۲۰ g/t) و کفساز A76E (۱۰ g/t) در pH برابر ۱۰ انجام شد. بازیابی مس و مولیبدن در بخش دانه ریز به ترتیب ۷۱ و ۶۳ درصد و در بخش دانه درشت به ترتیب ۸۵ و ۶۳ درصد بود. در مرحله کلینر، حدود ۹۰ درصد مس بازیابی شده و کنسانتره ای با عیار ۳-۴ درصد مس تولید شد.

۲-۲-۱-۴- مطالعه موردی فراوری مجدد نمونه سد باطله با جدایش مغناطیسی

در این پروژه، شرکت مالک معدن علاقه مند به فراوری مجدد ۲ سد باطله حاوی مگنتیت بود. شرکت Aminpro شیلی قرارداد امکان سنجی فراوری مجدد را بر عهده گرفت. [۴]

پس از نمونه برداری از سدهای باطله و انجام آنالیزها مشخص شد که عیار مس و آهن در نمونه ها به ترتیب بین ۰/۲۷-۰/۳۱ و ۲۷-۳۵ درصد بود. همچنین نمونه ها حاوی مقدار ۰/۴۵ درصد فسفر بود.

کانی اصلی مس در نمونه ها عمدتاً اکسیدهای کریزوکولا و آتاکامیت و مقدار کمی کالکوپیریت و کانی اصلی آهن هماتیت و مگنتیت بود. عیار هماتیت و مگنتیت به ترتیب ۴۹ و ۳۶ درصد تعیین شد.

آزمایش های جدایش مغناطیسی با لوله دیویس منجر به حدود ۸۰ درصد آهن و تولید کنسانتره ای با عیار ۶۷ درصد مگنتیت شد. آزمایش های مغناطیسی با جداکننده مغناطیسی طی یک مرحله رافر و ۳ مرحله کلینر منجر به بازیابی ۸۶ درصد و تولید کنسانتره ای با عیار ۶۰ درصد شد. به علت درگیری کانی های مس با

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 82 of 200

کانی‌های آهن، عیار مس و فسفر در کنسانتره آهن به ۰/۱۴ درصد و ۳۰۰ ppm رسید.

۲-۱-۵- طرح فراوری مجدد سدهای باطله معدن التینته شیلی

التینته^۱ بزرگ‌ترین معدن مس-مولیبدن پورفیری دنیاست که در ۸۰ کیلومتری جنوب شهر سانتیاگو در کشور شیلی واقع شده است. ذخیره باقیمانده این معدن برابر ۱۲/۵ گیگا تن با عیار متوسط ۰/۶۳ درصد مس و ۰/۰۲ درصد مولیبدن گزارش شده است. [۵] فعالیت معدن کاری در این معدن از سال ۱۹۰۶ آغاز شده است. در سال ۱۹۱۵ روزانه ۳۰ هزار متر مکعب باطله تولید و به ۲ سد باطله آرنا و مارگا منتقل می‌شد. [۶] سال‌ها بعد این ۲ سد در اثر سیل از بین رفته و مواد آن‌ها به داخل رودخانه‌های مجاور سرازیر شد. یکی از سدهای باطله مهم معدن التینته سد کولیوهوئس^۲ است. ذخیره این سد ۲۱۳ میلیون تن با عیار متوسط ۰/۲۶۲ درصد مس و ۰/۰۱ درصد مولیبدن است. سد مهم دیگر کائوکونس^۳ است که ذخیره آن ۳۰۵ میلیون تن با عیار متوسط ۰/۲۶۷ درصد مس و ۰/۰۲۱ درصد مولیبدن است. (شکل ۲-۳)

از سال ۱۹۹۲ شرکت شیلی‌ای ام وی سی^۴ با سرمایه‌گذاری ۱۰۰ میلیون دلار اقدام به احداث یک کارخانه فراوری مجدد باطله مس در ۹۰ کیلومتری شهر سانتیاگو شیلی نموده است. (شکل ۲-۴) در این کارخانه روزانه ۱۶۰ هزار تن باطله باز فراوری می‌شود که ۱۳۰ هزار تن آن از باطله خروجی کارخانه تغلیظ التینته و ۳۰ هزار تن آن از سد باطله تأمین می‌شود. براساس برنامه اعلام‌شده، این کارخانه بین سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۳۷ مقدار ۶۰۰ هزار تن مس و ۳۶ میلیون پوند مولیبدن تولید خواهد کرد.

باطله پس از پالپ شدن مجدد از سد رسوب‌گیر توسط کانال به کارخانه فراوری مجدد منتقل می‌شود. شکل (۲-۵) مراحل کار و شکل (۲-۶) نمایی از کارخانه را نشان می‌دهد.

جدول (۲-۲) حجم تولیدات کارخانه MVC در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۳ را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۱۶، حدود ۶۲/۷ میلیون تن باطله با عیار مس متوسط ۰/۱۵۴ درصد فراوری شد که در نتیجه ۲۴/۴ هزار تن مس و ۴۶۹ هزار پوند مولیبدن تولید شد.

¹ El-Teniente

² Colihues

³ Cauquenes

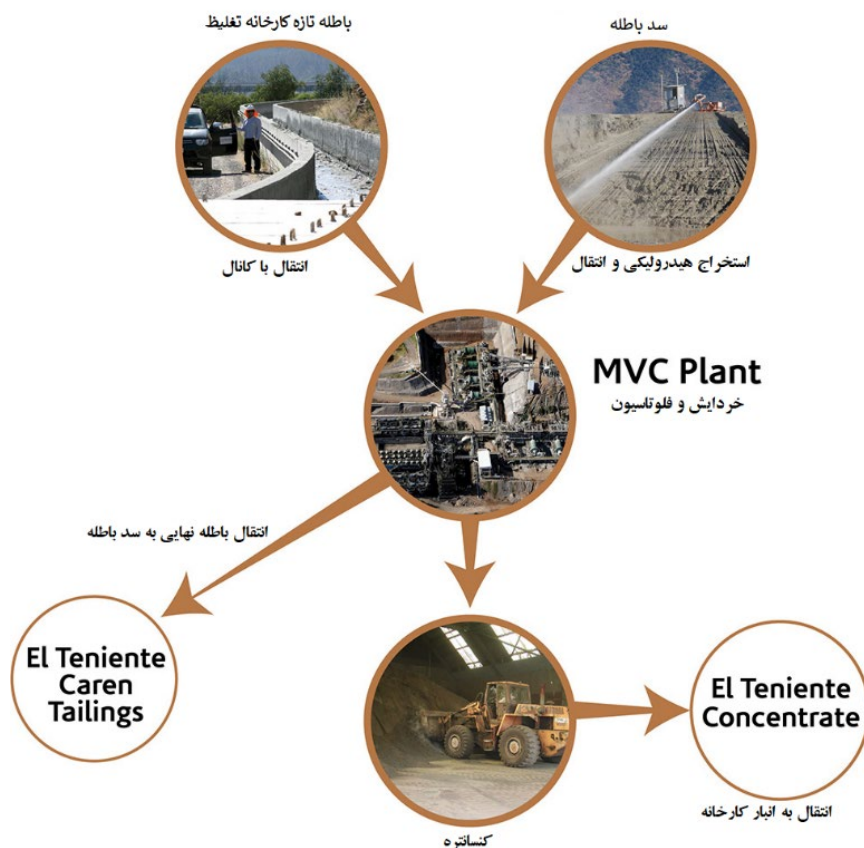
⁴ Minera Vale Central, MVC



شکل (۳-۲) - موقعیت سدهای باطله معدن التینته شیلی



شکل (۴-۲) - موقعیت کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی



شکل (۲-۵) - مراحل فعالیت طرح فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی



شکل (۲-۶) - نمایی از کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی

جدول (۲-۲) - کارخانه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی

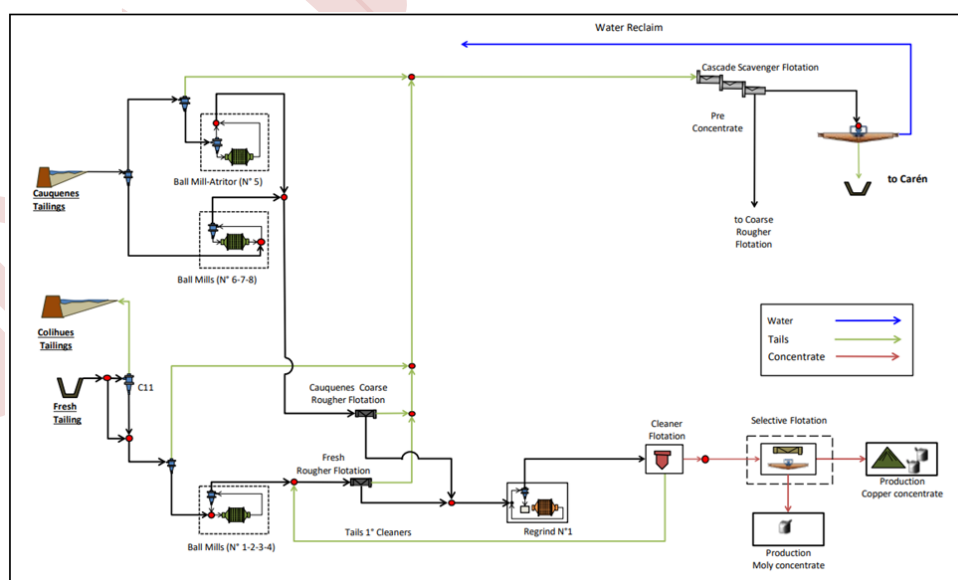
سال	تناژ کارخانه فراوری	عیار مس (%)	بازیابی مس (%)	مس تولیدشده (تن)	مولیبدن تولیدشده (تن)
۲۰۰۳	۳۳,۶۷۱,۸۸۶	۰/۱۱۰	۳۲/۳	۱۱,۹۸۸	۰
۲۰۰۴	۴۳,۸۴۴,۶۷۲	۰/۱۱۳	۲۸/۵	۱۴,۱۱۷	۰
۲۰۰۵	۴۵,۸۳۶,۸۳۶	۰/۱۱۸	۲۵/۰	۱۳,۵۵۲	۶۳۱,۸۴۴
۲۰۰۶	۳۹,۰۸۸,۸۲۹	۰/۱۱۴	۲۵/۲	۱۱,۱۸۹	۶۷۴,۵۴۹
۲۰۰۷	۳۸,۵۲۹,۳۳۰	۰/۱۳۰	۳۰/۱	۱۵,۰۶۵	۶۳۹,۰۲۰
۲۰۰۸	۴۵,۵۲۳,۱۲۸	۰/۱۳۳	۲۵/۹	۱۵,۷۰۷	۷۶۹,۱۴۲
۲۰۰۹	۵۰,۳۸۹,۱۵۵	۰/۱۳۶	۲۵/۸	۱۷,۶۷۴	۵۹۴,۸۱۲
۲۰۱۰	۵۲,۷۵۵,۶۷۶	۰/۱۵۰	۲۶/۸	۲۱,۱۳۷	۷۷۷,۳۰۴
۲۰۱۱	۵۴,۱۷۶,۷۲۷	۰/۱۴۹	۲۴/۶	۱۹,۸۱۰	۷۸۵,۰۶۸
۲۰۱۲	۵۶,۱۰۸,۷۹۷	۰/۱۵۷	۲۶/۶	۲۳,۴۵۵	۱,۰۵۷,۷۱۷
۲۰۱۳	۵۵,۷۴۰,۹۳۴	۰/۱۶۰	۲۲/۵	۲۰,۰۴۶	۸۰۹,۰۵۷

۵۸۰,۴۷۲	۱۷,۶۴۹	۲۲/۰	۰/۱۳۹	۵۷,۸۱۱,۵۳۰	۲۰۱۴
۹۷,۸۸۳	۱۵,۶۸۲	۲۰/۲	۰/۱۵۰	۵۱,۷۸۲,۳۴۸	۲۰۱۵
۴۶۹,۱۷۵	۲۴,۴۱۹	۲۵/۳	۰/۱۵۴	۶۲,۶۷۱,۱۰۳	۲۰۱۶

شکل (۷-۲) فلوشیت فراوری مجدد باطله مس در کارخانه ام وی سی شیلی را نشان می‌دهد. خوراک ورودی کارخانه ابتدا وارد سیکلون‌ها می‌شود. D80 باطله رودی به مدار ۲۵۰-۳۰۰ میکرون است و تنها ۲۵ درصد خوراک ورودی وارد آسیا می‌شود. دانه‌بندی مواد ورودی به مدار فلوتاسیون رافر ۱۲۰ میکرون است. با افزایش آهک در مدار آسیاکنی pH پالپ در ۹/۵ تنظیم می‌شود. مرحله رافر دارای دو خط است که هریک دارای ۴ سلول ۱۲۷ متر مکعبی است. کنسانتره رافر وارد آسیای خردایش مجدد شده پس از رسیدن به ابعاد ۹۸ میکرون وارد مرحله کلینر می‌شود. مدار کلینر دارای ۲۶ سلول با حجم هرکدام ۴۱ متر مکعب است. خط رمق‌گیر نیز دارای ۶ سلول ۲۷ متر مکعبی است.

کنسانتره نهایی شامل ۲۸-۳۲ درصد مس و ۰/۸-۱/۲ مولیبدن است که وارد خط بازیابی مولیبدن می‌شود. با افزودن اسیدسولفوریک، pH پالپ در ۸/۵ تنظیم شده و با افزودن بازداشت‌کننده مس، مولیبدن فلوته می‌شود. عیار نهایی کنسانتره مولیبدن ۴۰ درصد است.

باطله نهایی مدار فراوری وارد تیکنرهایی به قطر ۱۰۰ متر می‌شود. سرریز تیکنر به مدار کارخانه بازگشت داده شده و تهریز تیکنر با درصد جامد ۵۳ به سد باطله کارن^۱ منتقل می‌شود.

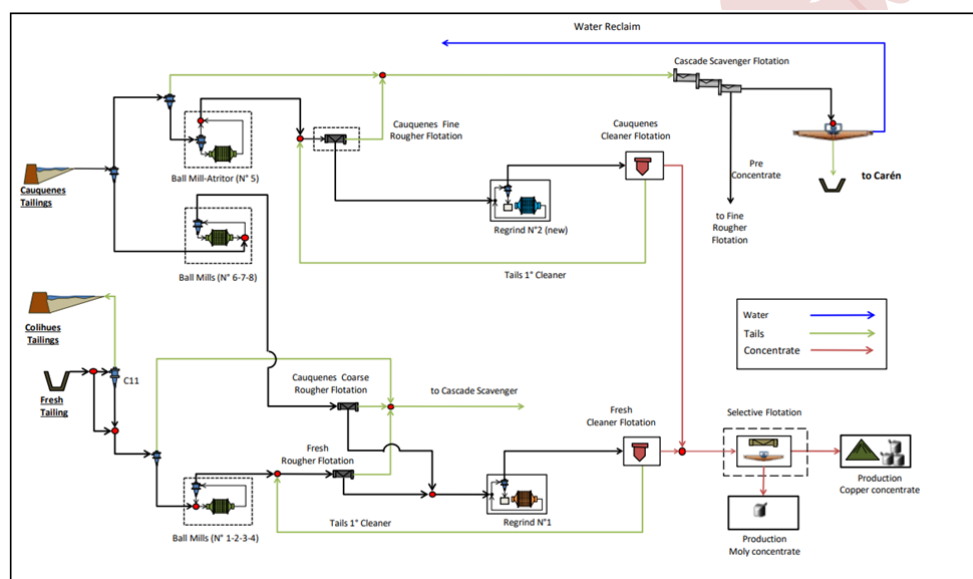

¹ Caren

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 87 of 200

شکل (۷-۲) - فلوشیت فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی

به منظور افزایش بازیابی مس و مولیبدن، مطالعات تکمیلی فراوری روی نمونه انجام شد و در نهایت فلوشیت توسعه به صورت شکل ۲-۸ در نظر گرفته شده است. هدف از این طرح افزایش بازیابی مس از ۳۴ به ۴۹ درصد است. هزینه سرمایه گذاری مورد نیاز ۳۰/۵ میلیون دلار برآورد شده است. متوسط هزینه عملیاتی سالیانه تا سال ۲۰۳۷ نیز بین ۲۰۰-۱۴۰ میلیون دلار برآورد شده است.

نکته مهم اینکه مطالب ذکر شده در این گزارش از مرجع منتشر شده در سال ۲۰۱۶ اخذ شده است. براساس زمان بندی اعلام شده، مقرر بوده طرح جدید در سال ۲۰۱۸ راه اندازی شود.



شکل (۸-۲) - فلوشیت طرح توسعه فراوری مجدد باطله مس شرکت ام وی سی در شیلی

۲-۳- فلوشیت های محتمل برای فراوری مجدد باطله های مس

با توجه به مشخصات شیمیایی و کانی شناسی باطله فلوتاسیون مس و عیار عناصر و فلزات مختلف در آن، از ترکیب روش های مختلف فراوری، فلوشیت های مختلفی را می توان به عنوان کاندیدای فراوری مجدد باطله در نظر گرفت.

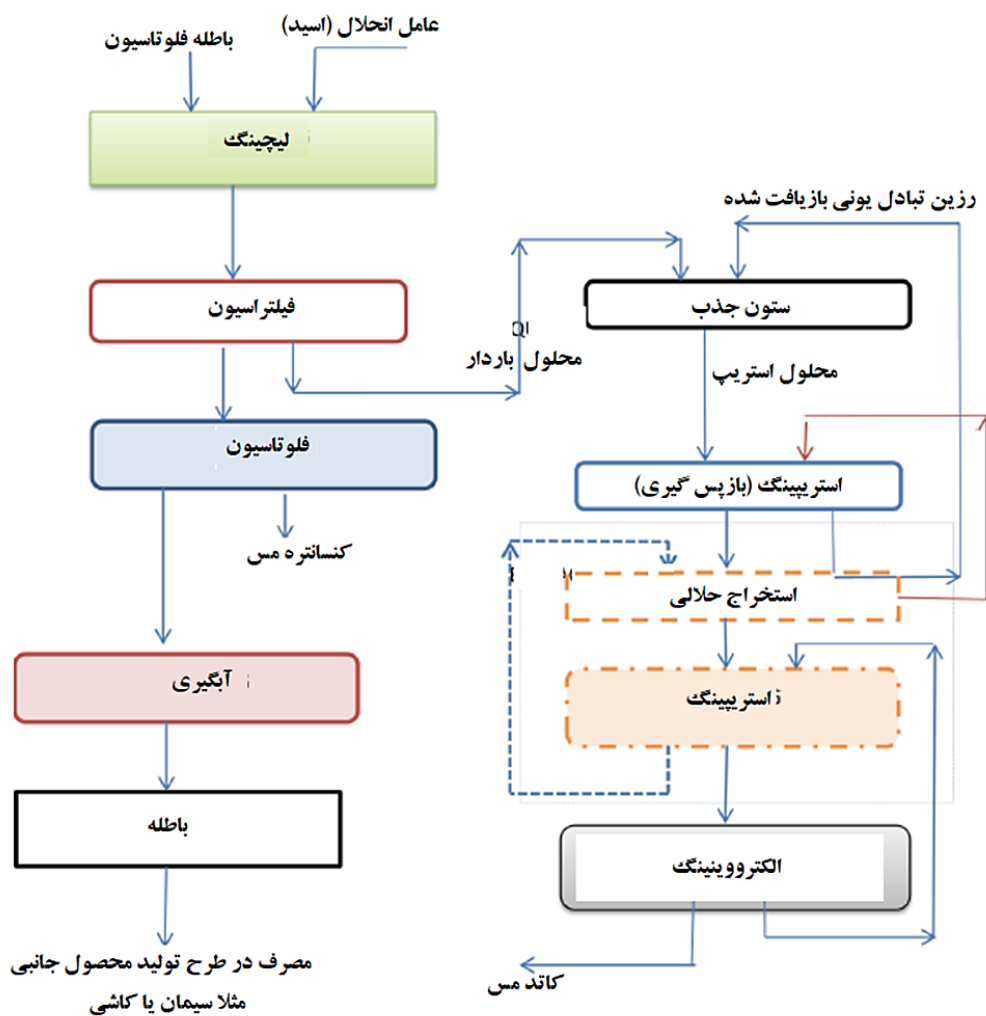
برای بازیابی کانی های باارزش (سولفیدهای مس مانند کالکوپیریت و کوولیت، سولفید روی مانند گالن، سولفید مولیبدن و یا پیریت طلا دار) استفاده از فلوتاسیون در دسترس ترین و شناخته شده ترین روش است. در صورت وجود کانی های آهن مانند مگنتیت و هماتیت استفاده از روش جدایش مغناطیسی ممکن است.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 88 of 200

در مرحله بعد، کنسانتره حاصل از روش‌های فیزیکی و فیزیکوشیمیایی با عیار مناسب فلزات (مس، مولیبدن، روی و...) با روش‌های پیرو متالورژیکی (ذوب و پالایش) و یا هیدرو متالورژیکی (لیچینگ (اتمسفری یا تحت فشار) و بیولیچینگ) عمل‌آوری می‌شود.

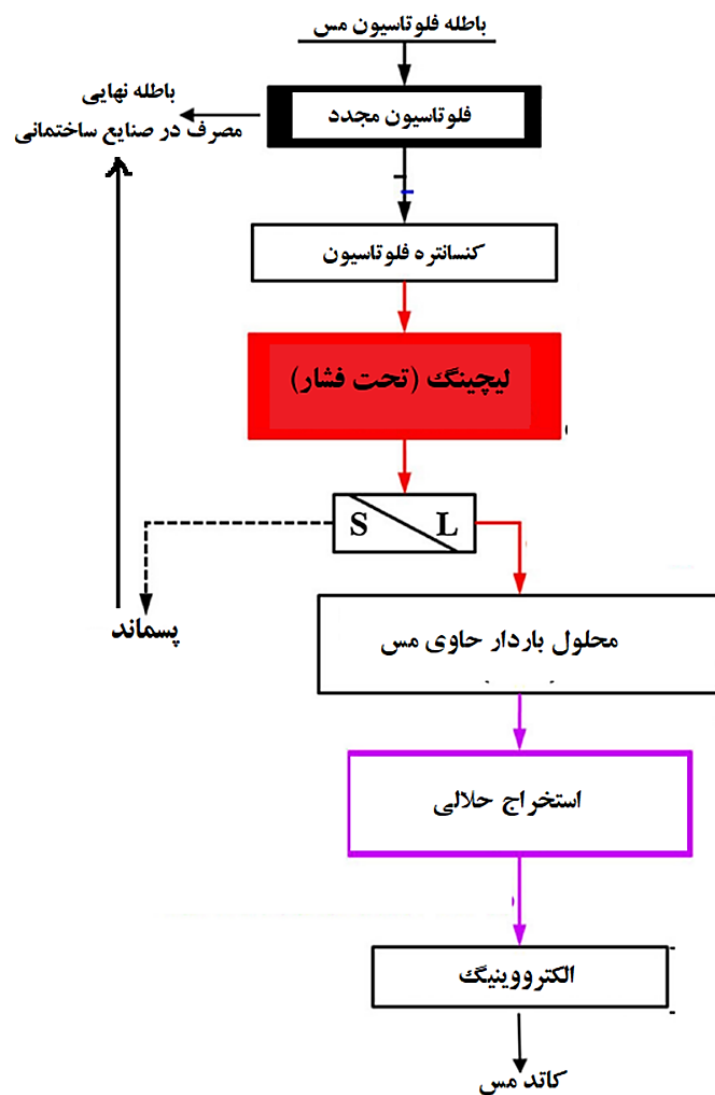
در اغلب موارد محلول باردار حاصل از روش‌های هیدرو متالورژیکی دارای غلظت کم از فلز باارزش بوده و دارای ناخالصی است. ضمن اینکه ممکن است دو یا چند فلز باارزش (برای مثال مس و کبالت) به‌صورت هم‌زمان در محلول وجود داشته باشد. در این صورت برای تغلیظ، خالص‌سازی و جداسازی فلزات فن‌هایی مانند استخراج حلالی، تبادل یونی و ترسیب شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل‌های ۲-۹ و ۲-۱۰ دو ترکیب فلوشیت مورد استفاده برای فراوری مجدد باطله مس را نشان می‌دهد. نکته مهم این است که ترتیب فناوری‌های مختلف، تعداد آن‌ها در فلوشیت و شرایط عملیاتی آن‌ها بستگی به ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی باطله داشته و هرچه تعداد کانی‌ها و یا عناصر باارزش موجود در باطله بیشتر باشد، فلوشیت پیچیده‌تر خواهد بود. به‌هرحال، برای هر نمونه خاص باید مطالعات کامل کانی‌شناسی و متالورژیکی انجام‌شده و فلوشیت بهینه بر مبنای رفتار خاک و ملاحظات فنی و اقتصادی تعیین شود.



شکل (۹-۲) - فلوشیت فراوری مجدد باطله با اولویت انحلال عناصر با ارزش و سپس فلوتاسیون مس

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 90 of 200



شکل (۲-۱۰) - فلوشیت فراوری مجدد باطله برای نمونه دارای مس به عنوان فلز بار ارزش اقتصادی

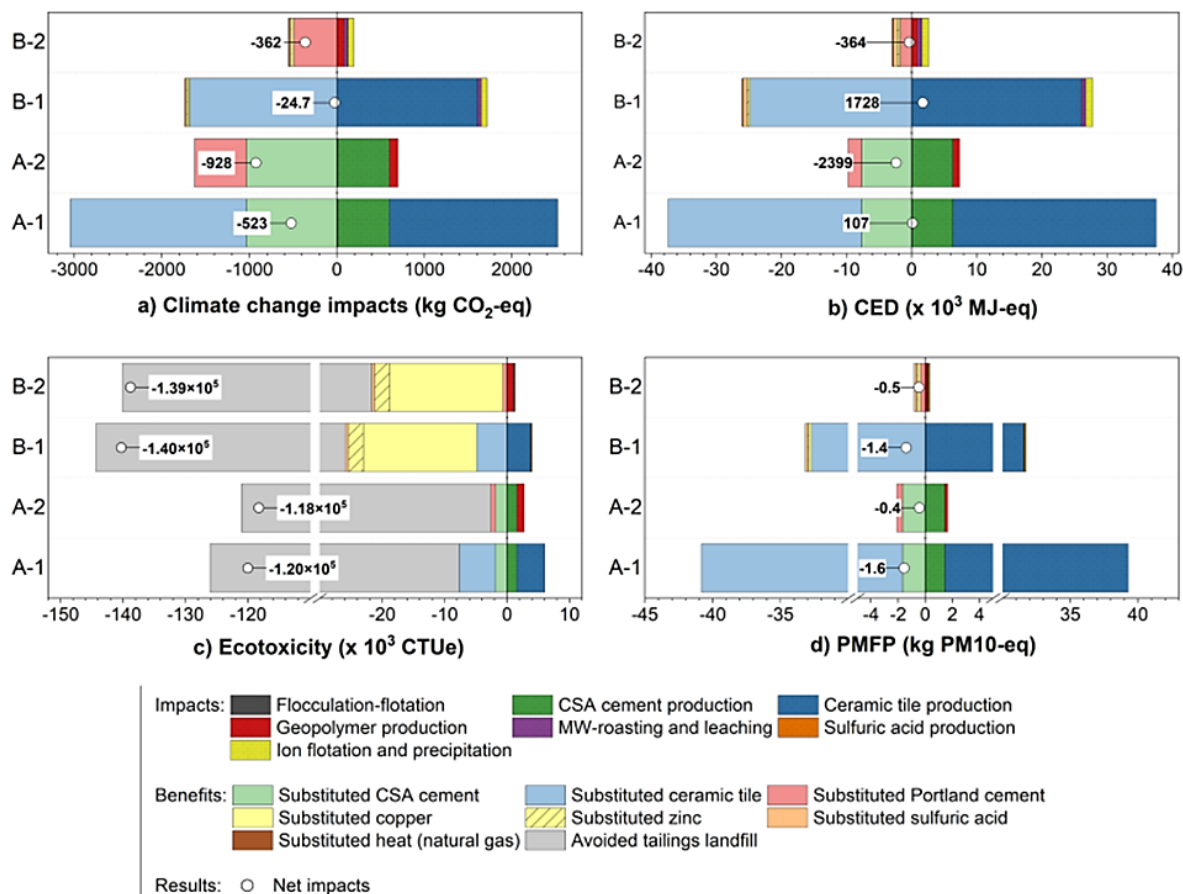
۲-۴- بررسی رویکردهای مدیریت و فراوری مجدد باطله

همان گونه که بیان شد، برای بازیابی یا استفاده مجدد از باطله‌های معدنی و به طور ویژه باطله مس روش‌ها و فناوری‌های مختلفی وجود دارد که هر کدام دارای مزایا و معایب و البته محدودیت‌هایی است. بنابراین، بازیابی مجدد باطله فلوتاسیون می‌تواند با رویکردهای مختلف انجام شود.

آدریانتو و فیشر در سال ۲۰۲۲ ارزیابی زیست‌محیطی چرخه فراوری مجدد باطله مس و بازیابی عناصر باارزش را بررسی کردند. [۷] طبق این تحقیق، مسیرهای مختلفی برای رسیدن به یک چرخه پایدار زیست‌محیطی

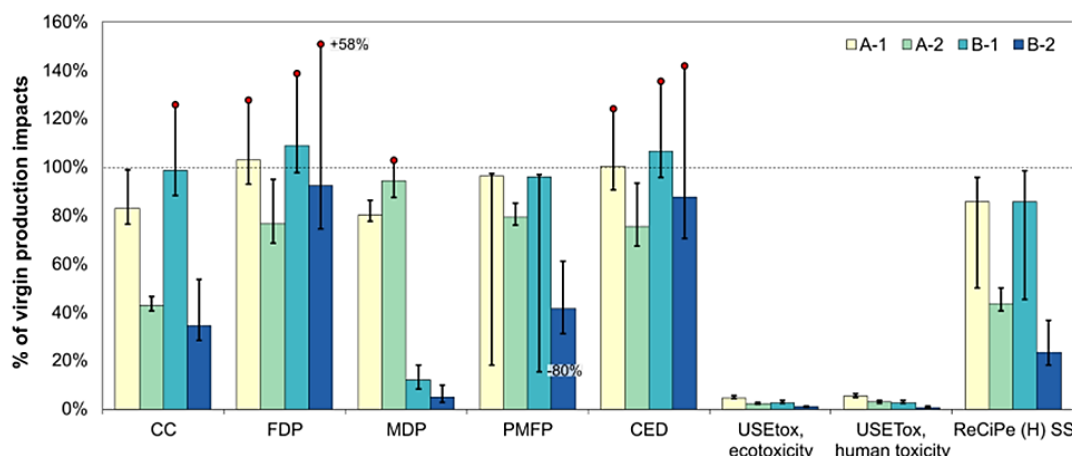
در رویکرد اول، تمرکز روی تولید محصولات ساختمانی است درحالی که در رویکرد دوم، ابتدا بازیافت فلزات باارزش از باطله انجام شده و سپس از پسماند نهایی برای تولید محصولات ساختمانی استفاده می‌شود. فرایندهای مورد استفاده در هر مسیر و دستاوردهای قابل‌انتظار در جدول (۲-۳) ارائه شده است. تحقیق آن‌ها بر مبنای فراوری باطله مس موجود در سد باطله تغلیظ در کشور پرتقال ارائه شده است. عیار مس و روی به‌ترتیب ۰/۴۶ و ۰/۹۲ درصد در نظر گرفته شد. هدف‌گذاری بر این اساس بود که از هر ۱ تن باطله فلوتاسیون مس امکان بازیافت ۲/۹ کیلوگرم مس و ۷/۵ کیلوگرم روی وجود دارد.

براساس داده‌های مختلف فنی و زیست‌محیطی موجود و جمع‌آوری شده از منابع مختلف، آثار زیست‌محیطی هریک از مسیرها مشخص و محاسبه شد. شکل (۲-۱۲) نتایج را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱۲) - میزان اثرات زیست‌محیطی (Environmental Impacts) مسیرهای مختلف باز فرآوری باطله و سهم هر زیر فرایند از کل اثر. تولید دی‌اکسید کربن (CC)، مصرف سوخت فسیلی (FDP)، انتشار عناصر فلزی (MDP)، امکان تولید ترکیبات جانبی (PMFD)، انرژی موردنیاز (CED)

براساس نتایج این تحقیق، استفاده از روش‌های مبتنی بر بازیابی کانی، برای مثال فلوتاسیون، می‌تواند سبب کاهش آثار زیست‌محیطی در همه ابعاد مانند کاهش میزان انرژی مصرفی (به‌زای واحد تولید فلز) و یا کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای شود. با این حال، استفاده از روش‌های مبتنی بر (تنها) بازیابی فلز فقط سبب کاهش انتشار فلزات آلاینده و آلودگی خاک می‌شود. (شکل ۲-۱۳)



شکل (۲-۱۳) - میزان آثار زیست‌محیطی (Environmental Impacts) مسیرهای مختلف تولید از مواد باطله در مقایسه با فرایند اصلی تولید از مواد اولیه؛ تولید دی‌اکسید کربن (CC)، مصرف سوخت فسیلی (FDP)، انتشار عناصر فلزی (MDP)، امکان تولید ترکیبات جانبی (PMFD)، انرژی موردنیاز (CED)

نکته مهم دیگر این‌که جابه‌جا کردن مواد سد باطله به محل کارخانه فراوری مجدد می‌تواند سبب پیامدهای زیست‌محیطی کوچک تا متوسط داشته باشد و بنابراین احداث کارخانه در نزدیکی سد باطله ارجحیت دارد. در بحث استفاده از مواد سد باطله به‌عنوان جایگزین مواد اولیه ساخت مصالح ساختمانی، کاهش کیفیت مصالح تولیدی ممکن است منافع حاصل از فراوری مجدد را کاهش دهد و یا صفر کند.

۵-۲- جمع‌بندی

در این گزارش، تجربیات صنعتی مربوط به فراوری مجدد باطله مورد بررسی قرار گرفت و مهم‌ترین فناوری‌های مورد استفاده معرفی شد. براساس نتایج گزارش فازهای ۱ و ۲، باوجود تلاش تعداد زیادی از محققین برای بهبود روش‌های رایج (مانند بهبود عملکرد ماشین‌های فلوتاسیون برای نرمه‌ها) و توسعه روش‌های نوین (مانند فلوتاسیون یونی)، پروژه‌های اصلی فراوری باطله‌ها و به‌خصوص باطله فلوتاسیون مس در مقیاس صنعتی تنها بر مبنای روش‌های شناخته‌شده رایج مانند فلوتاسیون، لیچینگ و بیو (هیپ) لیچینگ و به‌ویژه فلوتاسیون اجرا شده است. به‌علاوه، عمده تلاش‌ها تنها در جهت بازیابی کانی‌ها و عناصر باارزش از باطله (روش استفاده مجدد) نباشد و حاصل آن‌ها تولید مجدد باطله بوده است که مجدد به سد باطله منتقل شده است. استراتژی مدیریت باطله و مسیر فراوری مجدد باید با در نظر گرفتن همه پارامترهای فنی و اقتصادی و البته قوانین و محدودیت‌های زیست‌محیطی صورت گیرد و برای هر طرح ارائه‌شده اجرای طرح ارزیابی زیست‌محیطی و

  شرکت مهندسی و توسعه صنایع فلزی ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 94 of 200

تعیین آثار و پیامدهای آن ضروری است.

منابع فصل دوم

- [1] Adrianto, L. R., & Pfister, S. (2022). Prospective environmental assessment of reprocessing and valorization alternatives for sulfidic copper tailings. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106567.
- [2] Araujo, F. S., Taborda-Llano, I., Nunes, E. B., & Santos, R. M. (2022). Recycling and reuse of mine tailings: A review of advancements and their implications. *Geosciences*, 12(9), 319.
- [3] www.bgr.bund.de, 2023.
- [4] Mesa, D., Barriga, D., Berríos, P., Rodríguez, E., & Amelunxen, R. (2020). *Reprocessing historic tailings—Three Chilean case studies*. Proceedings of the Procemin Geomet.
- [5] Rabbia, O. M., Hernández, L. B., French, D. H., King, R. W., & Ayers, J. C. (2009). *The El Teniente porphyry Cu–Mo deposit from a hydrothermal rutile perspective*. *Mineralium Deposita*, 44, 849–866.
- [6] Cacciuttolo, C., & Atencio, E. (2022). *Past, Present, and Future of Copper Mine Tailings Governance in Chile (1905–2022): A Review in One of the Leading Mining Countries in the World*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13060.
- [7] Adrianto, L. R., & Pfister, S. (2022). *Prospective environmental assessment of reprocessing and valorization alternatives for sulfidic copper tailings*. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106567.

فصل سوم: نمونه برداری از سد باطله فلوتاسیون و تعیین عناصر هدف

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 96 of 200

۳-۱- مقدمه

در این گزارش، نتایج حاصل از بررسی آنالیزهای کانی‌شناسی و شیمیایی نمونه باطله فلوتاسیون در ۳ مجتمع مس سونگون، شهر بابک و سرچشمه ارائه شده است.

داده‌های مورد استفاده در این بخش به ۲ طریق تهیه شده است:

در بخش اول، پس از مراجعه به واحد مربوطه، نمونه‌های باطله نهایی خط فراوری (ورودی به سد باطله) از محل ذخیره این نمونه‌ها در آزمایشگاه و یا واحد کنترل کیفیت هر مجتمع دریافت شد. در هر مجتمع، به منظور پایش راندمان متالورژیکی کارخانه تغلیظ، در هر نوبت از نقاط مختلف مدار، و از جمله خروجی باطله نهایی، نمونه‌برداری شده و آنالیز شیمیایی و کانی‌شناسی می‌شود. در بعضی موارد، مقداری از این نمونه‌ها به صورت ماهیانه، فصلی و یا سالیانه بایگانی شده و نگهداری می‌شوند. اگرچه متأسفانه این بایگانی در همه مجتمع‌ها به صورت منظم صورت نگرفته و نمونه‌ها به صورت کامل موجود نمی‌باشند. علاوه بر این، در صورت دسترسی به سد باطله، تعدادی نمونه سطحی نیز از آن اخذ شد. مجموع نمونه‌های دریافتی برای انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه‌های شاخص مانند زرآزمای تهران و نوین پایش گستران یزد ارسال شد.

بخش دوم داده‌ها از اطلاعات ارسالی از مجتمع‌ها شامل نتایج آنالیزهای نمونه باطله نهایی تغلیظ در دوره‌های زمانی مختلف بود که در قالب آنالیز شیمیایی و کانی‌شناسی در اختیار گروه محقق قرار گرفت. در این مورد نیز، به علت وجود بانک گسترده‌ای از اطلاعات خام نوبتی، روزانه، هفتگی و... و عدم دسته‌بندی آن‌ها و اختلاط با سایر داده‌های فرایندی، امکان دستیابی به همه اطلاعات مورد نیاز وجود نداشت و با محدودیت‌هایی روبه‌رو بود. باین حال تا پایان پروژه پیگیری‌های مستمر، برای دستیابی کامل‌تر به داده‌ها و استفاده از آن‌ها در تحلیل وضعیت باطله تولیدی، انجام خواهد شد.

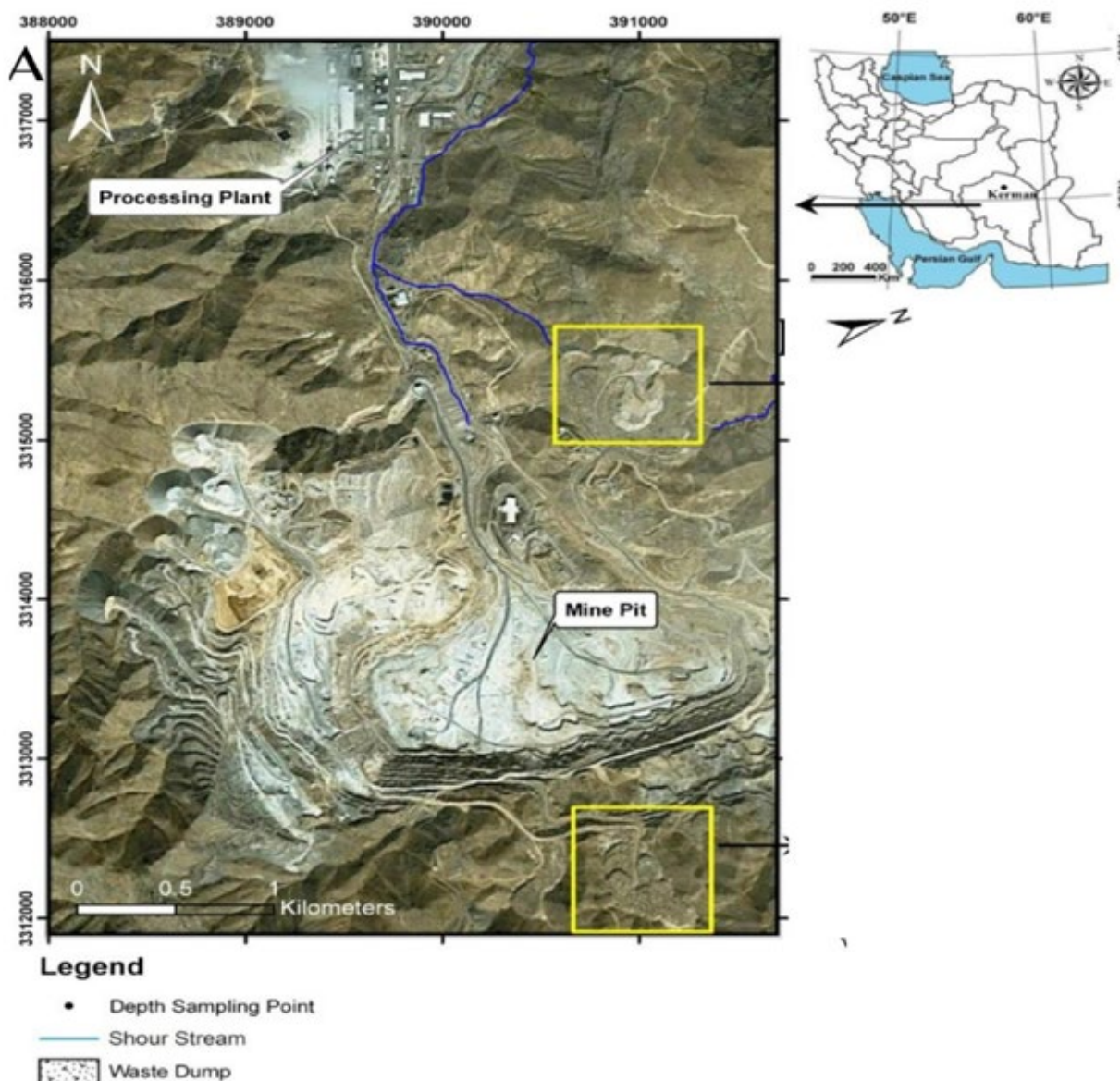
نکته قابل ذکر اینکه نتایج و تحلیل ارائه شده در ادامه گزارش بر مبنای اطلاعات به دست آمده از ۲ بخش مورد اشاره است تا به نحوی امکان مقایسه نتایج نیز فراهم شود.

۳-۲- مشخصات سد باطله در مجتمع‌های مورد مطالعه

۳-۲-۱- مجتمع مس سرچشمه (رفسنجان، کرمان)

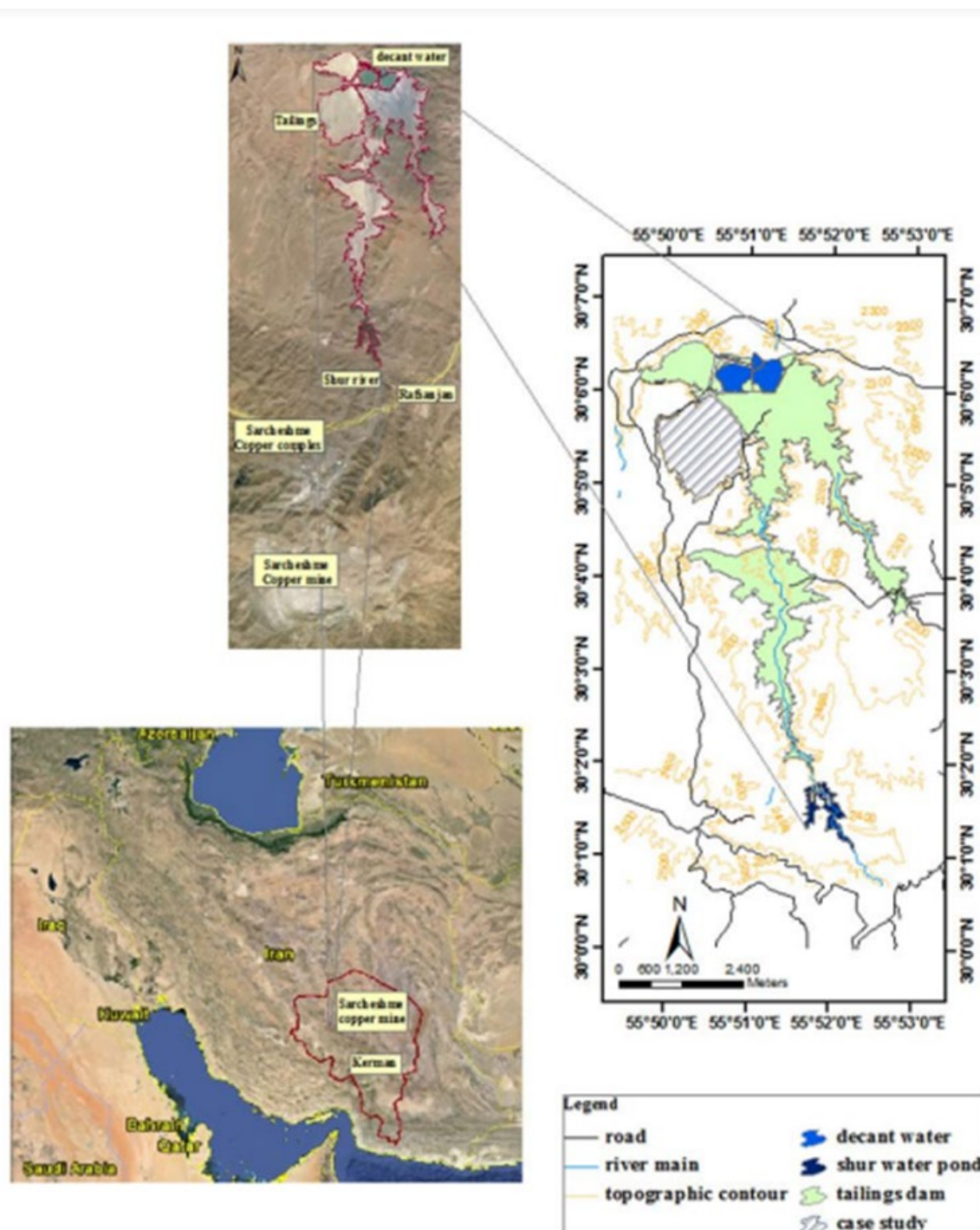
معدن مس سرچشمه با مختصات $55^{\circ}53'00''$ طول شرقی و $29^{\circ}58'00''$ عرض شمالی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری رفسنجان قرار دارد. (شکل ۳-۱) سد باطله معدن در ۱۷ کیلومتری شمال

شرق مجتمع مس سرچشمه قرار دارد. این سد به منظور ذخیره باطله واحد تغلیظ و استفاده مجدد از آب آن احداث شده است. از جمله ورودی‌های این دریاچه، رودخانه شور است که سرچشمه آن زهاب اسیدی معدن است و در بین راه یک سری فاضلاب‌های مجتمع و آب تعدادی چشمه نیز به آن اضافه می‌شود. این سد مساحتی در حدود ۱۱ کیلومتر مربع را اشغال کرده و عمق متوسط آن در سال ۲۰۱۵ حدود ۶۰ متر بوده است. (شکل ۲-۳)



شکل (۳-۱) - موقعیت جغرافیایی مجتمع مس سرچشمه

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 98 of 200



شکل (۳-۲) - نقشه ماهواره‌ای و توپوگرافی مجتمع مس سرچشمه و سد باطله

سالانه مقدار ۳۰ میلیون تن باطله در کارخانه تغلیظ مجتمع مس سرچشمه تولید و به سد باطله منتقل

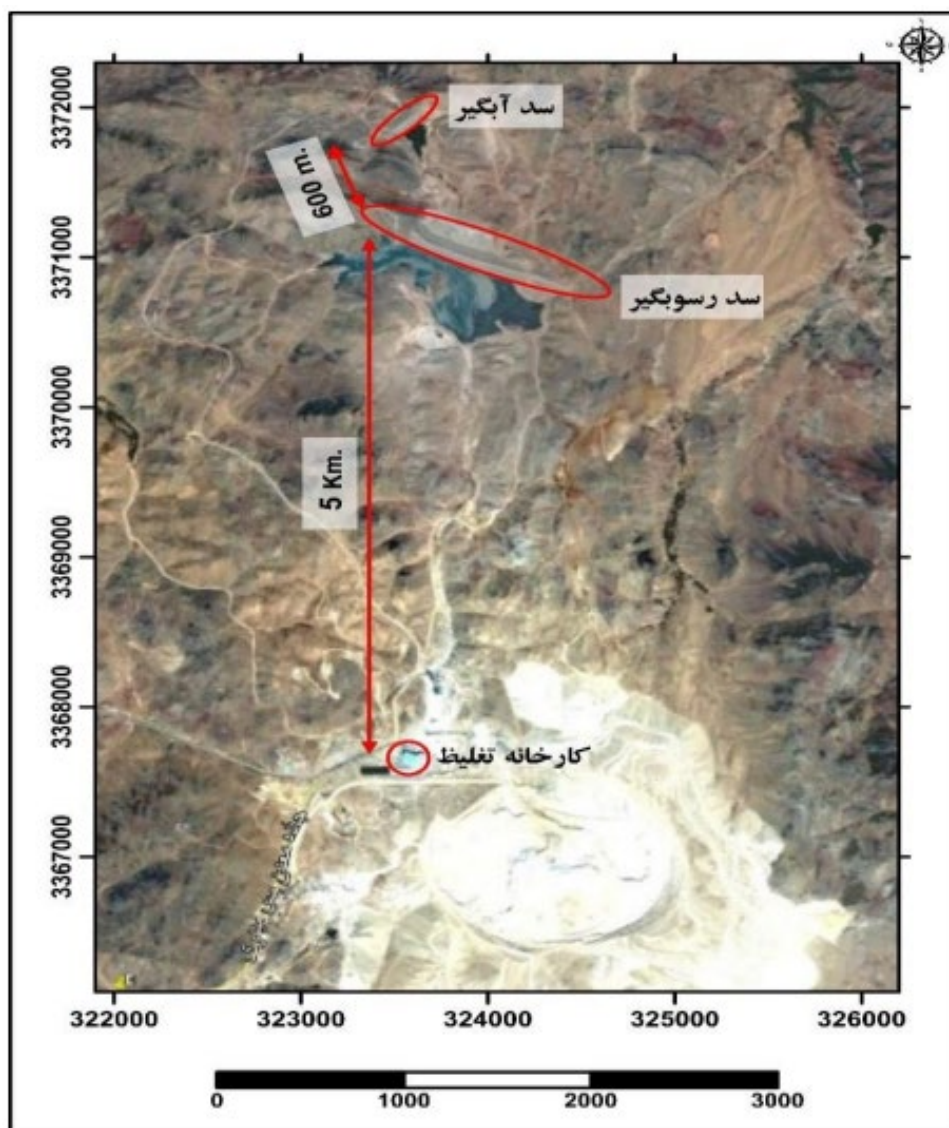
  شرکت مهندسی و توسعه صنایع مس ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 99 of 200

می شود. هم اکنون بیش از ۶۰۰ میلیون تن مواد جامد در این سد انباشته شده است.

۳-۲-۲- مجتمع مس میدوک (شهربابک، کرمان)

معدن مس میدوک در فاصله ۴۲ کیلومتری شمال شرق شهرستان شهربابک و ۱۳۲ کیلومتری شمال غرب معدن مس سرچشمه در طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه در استان کرمان قرار گرفته است. منطقه دارای اقلیم نیمه بیابانی و کوهستانی و حداکثر ارتفاع ۲۸۴۲ متری از سطح دریاست. مجتمع مس میدوک متشکل از واحدهای معدن، کارخانه تغلیظ (پرعیارکنی) و سدهای باطله (سد رسوب گیر و سد آبگیر) است. موقعیت ۲ سد مذکور نسبت به یکدیگر و نسبت به کارخانه تغلیظ در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 100 of 200



شکل (۳-۳) - موقعیت کارخانه تغلیظ و سدهای باطله رسوب گیر و آبگیر مجتمع مس میدوک

مواد جامد ریزدانه موجود در دوغاب خروجی کارخانه تغلیظ که حاصل از مرحله فراوری است، در محل سد رسوب گیر ته نشین شده و آب باقیمانده در محل سد آبگیر ذخیره می شود. سد رسوب گیر این معدن با حجم نهایی ۹ میلیون متر مکعب و قابلیت فیلترینگ و تراوش آب از دیواره، در فاصله ۵ کیلومتری از کارخانه تغلیظ جانمایی شده است. از اهداف ساخت این سد نه تنها ذخیره رسوب حاصل از فرایند تغلیظ به منظور ممانعت از انتشار آلودگی های زیست محیطی، بلکه مدیریت منابع آب مصرفی در کارخانه تغلیظ بوده است. در فاصله ۶۰۰ متری از سد رسوب گیر، سد آبگیر با ظرفیت مخزن ۲ میلیون متر مکعب قرار گرفته است. آب ذخیره شده

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 101 of 200

در این سد به وسیله لوله‌های شناور به حوضچه‌ای که در زیر این سد قرار دارد، انتقال یافته و از آنجا به کارخانه فراوری برگشت داده می‌شود. این سد همچنین دارای یک سرریز اضطراری برای حفاظت از سد در برابر سیلاب‌ها و آب‌های حاصل از بارندگی‌های پیش‌بینی نشده است.

۳-۲-۳- مجتمع مس سونگون (ورزقان، آذربایجان شرقی)

معدن مس سونگون در ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان از توابع استان آذربایجان شرقی و در ۱۲۰ کیلومتری تبریز مرکز آن استان واقع شده است.

سد باطله مجتمع مس سونگون تبریز در زمینی به وسعت ۱۴۰۰ هکتار و در جنوب غرب معدن (فاصله هوایی حدود ۶ کیلومتر از معدن) با موقعیت جغرافیایی $X=649150$ و $Y=427360$ الی $X=653520$ و $Y=4282670$ بر روی بخش فوقانی حوزه آبریز رودخانه آیت کندی قرار گرفته و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۲۳۱۳ متر است و در فاصله ۱۳۰ کیلومتری شمال تبریز و ۳۰ کیلومتری شهرستان ورزقان واقع شده است.

سد باطله مذکور به روش بالارونده از نوع سنگ‌ریزه‌ای با هسته رسی و از مصالح راکفیل و ماسه است و به منظور ذخیره مواد باطله حاصل از استخراج و فراوری فعالیت‌های مختلف کارخانه تغلیظ سونگون احداث شده است. تأسیسات زیربنایی سد باطله شامل ۱- سد اولیه یا آغازین (به منظور ذخیره‌سازی اولیه سد باطله در مهر و موم‌های اولیه بهره‌برداری)، ۲- تراوش یا آب برگشتی (همه تراوشات پی و بدنه در مخزن این سد جمع‌آوری و توسط ایستگاه پمپاژ به مخزن سد باطله بازگردانده می‌شود و همچنین عمق آن حداکثر ۳۷/۵ و با طول ۱۳۰ متر است و از نشت آب تراوش یافته از سد باطله به پایین دست ممانعت می‌کند) و ۳- سیستم انحراف آب رودخانه (فراز بند، کانال انحراف موقت و مجرای لوله‌ای انحراف آب) است.

این سد تاکنون ۳ مرحله ترفیع (با حجم ۸/۵ میلیون متر مکعب خاک) داشته است و ارتفاع آن در حال حاضر ۱۲۰ متر و حجم مواد داخل آن (آب و باطله جامد) ۴۱/۸ میلیون متر مکعب است. شکل (۳-۴) موقعیت سد باطله نسبت به پیت معدن سونگون را با مقیاس ۱:۵۰۰ نشان می‌دهد.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 102 of 200



شکل (۳-۴) - موقعیت سد باطله نسبت به پیت معدن در معدن مس سونگون

نرخ ورود باطله و آب به سد روزانه ۲۶۶۰۰ متر مکعب (با ترکیب ۶۰ درصد آب و ۴۰ درصد مواد باطله) است. برای ورود مواد از کارخانه به سد، سه موقعیت در نظر گرفته شده است که به ترتیب روی تاج سد، سیکلون و هد تانک است. از این ۳ محل ورود باطله، به صورت مقطعی برای کنترل بهتر جریان و توزیع یکنواخت باطله در مخزن استفاده می شود. pH مواد باطله بیش از ۷/۵ است. دبی نشی آب از سد، ۱۲ تا ۴۰ لیتر در ثانیه است که این آب پشت سد نشی در جلو سد اصلی جمع آوری شده مجدد به کارخانه بازمی گردد. داخل سد، مواد باطله با شیب ۵/۰ درجه از باطله جدا شده و آب توسط ۳ پاتون تعبیه شده در سد، که به صورت شناور در آب قرار دارند، مجدد به کارخانه بازگردانده می شود. حداکثر عمق آب در مخزن سد، ۹ متر است. وسعت حوضه آبریز اطراف سد ۱۷ کیلومتر مربع با شیب ۴۰ تا ۶۰ درجه است. جدول (۳-۱) مشخصات فنی و مهندسی سد باطله معدن سونگون را نشان می دهد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 103 of 200

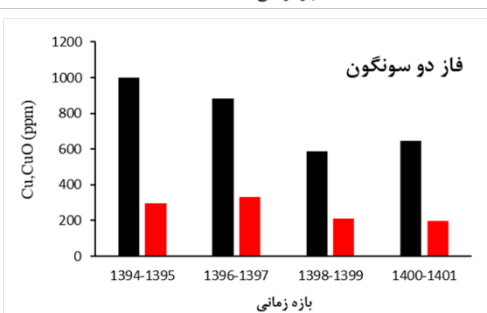
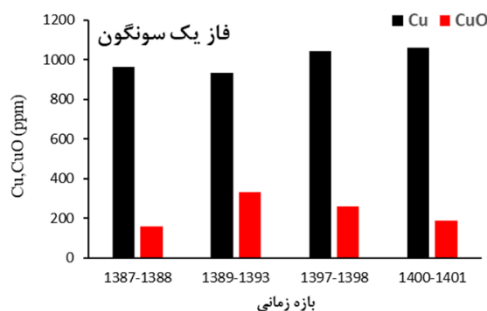
جدول (۳-۱) - مشخصات فنی و مهندسی سد باطله معدن سونگون

وضعیت نهایی	وضعیت فعلی	واحد	مشخصات فنی سد باطله معدن مس سونگون
-	۲۱۳۰	متر	تراز پی از سطح آزاد دریا
۲۳۱۳	۲۲۵۰	متر	تراز سد از سطح آزاد دریا
۱۸۳	۱۲۰	متر	ارتفاع سد
۱۲۰۰	۶۰۰	متر	طول تاج سد
۲۰	۷۰	متر	عرض تاج
۲	۱/۸	میلیون متر مکعب	حجم آب
۲۳۵	۴۰	میلیون متر مکعب	حجم باطله موجود
۲۷۰	۶۷	میلیون متر مکعب	حجم کل مخزن
-	۱۰۳	متر	بیشترین عمق سد
-	۲:۱	بدون واحد	شیب دیواره بالایی
-	۱/۵:۱	بدون واحد	شیب دیواره پایینی
-	۵/۲ (تا ارتفاع ۴۰ متری سد)	متر	ضخامت هسته رسی
-	۴۰ (تا ارتفاع ۷۰ متری سد)		
-	۸/۵	میلیون متر مکعب	حجم خاکریزی
-	۵	متر	ارتفاع سطح آزاد

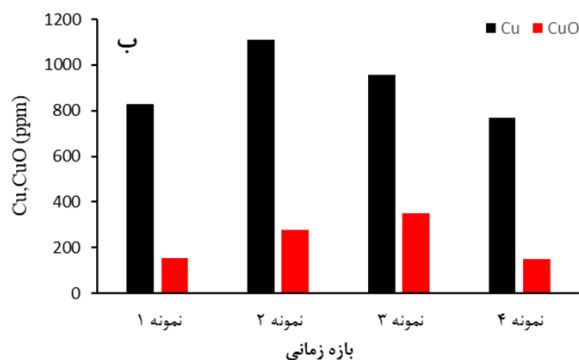
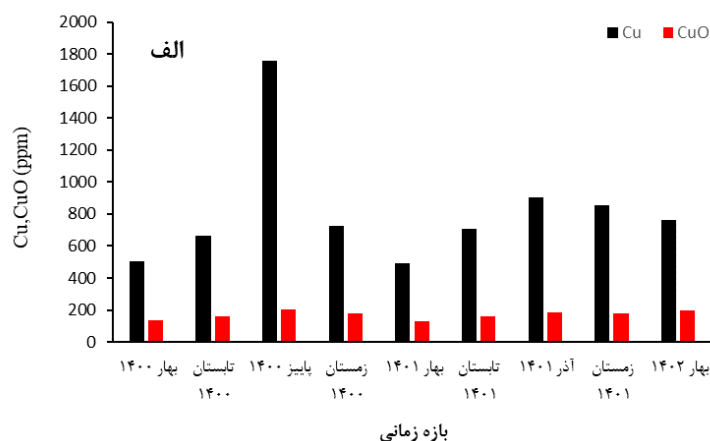
۳-۳- آنالیز شیمیایی نمونه‌های باطله فلوتاسیون

۳-۳-۱- آنالیز شیمیایی تر

شکل (۳-۵) و (۳-۶) آنالیز شیمیایی مس و مس اکسیدی در نمونه‌های باطله فلوتاسیون مجتمع‌های سونگون، میدوک و سرچشمه را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۵)- تغییرات عیار مس توتال و مس اکسیدی در ترکیب باطله فلوتاسیون مجتمع مس سونگون



شکل (۳-۶)- تغییرات عیار مس توتال و مس اکسیدی در ترکیب باطله فلوتاسیون مجتمع مس میدوک؛ دوره-های

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 105 of 200

زمانی مختلف و ب) نمونه‌های سطحی سد باطله که توسط مشاور برداشت شده است

براساس نتایج شکل (۳-۵)، در باطله مس فاز ۱ سونگون، میانگین عیار مس ۰/۱ و میانگین عیار مس اکسیدی ۰/۰۲۳ درصد است. در فاز ۲ سونگون، میانگین عیار مس کاهش یافته و برابر ۰/۰۷۸ درصد است ولی عیار مس اکسیدی بیشتر و میانگین آن ۰/۰۲۶ درصد است. به عبارت دیگر، درصد مس اکسیدی در نمونه باطله فاز ۱ برابر ۲۳/۴۶ درصد و در نمونه باطله فاز ۲ برابر ۳۳/۲۵ درصد است.

براساس نتایج شکل (۳-۶)، در مجتمع مس میدوک، در دوره زمانی بهار ۱۴۰۰ تا بهار ۱۴۰۲، میانگین عیار مس در نمونه باطله برابر ۰/۰۹ درصد و متوسط عیار مس اکسیدی برابر ۰/۰۲۳ بوده است. درصد مس اکسیدی نمونه ۲۵/۴۵ درصد محاسبه می‌شود. در نمونه‌های سطحی که در زمان بازدید سد برداشته شد، میانگین عیار مس و مس اکسیدی به ترتیب ۰/۰۸۲ و ۰/۰۱۷ درصد و سهم مس اکسیدی ۲۰/۶۶ اندازه‌گیری شد.

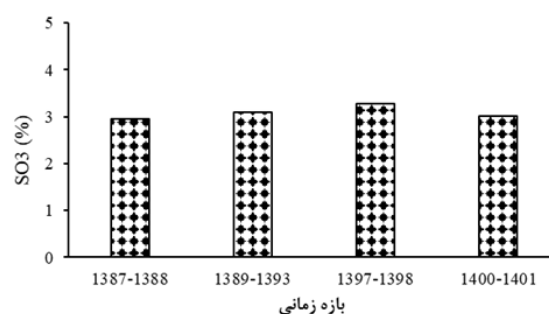
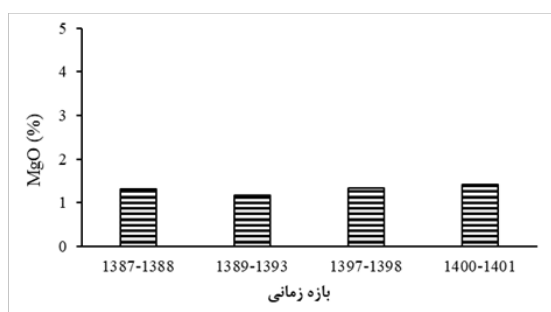
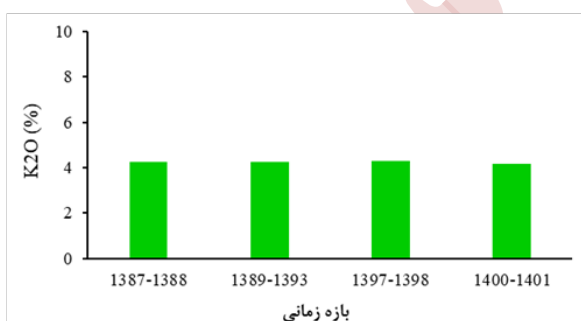
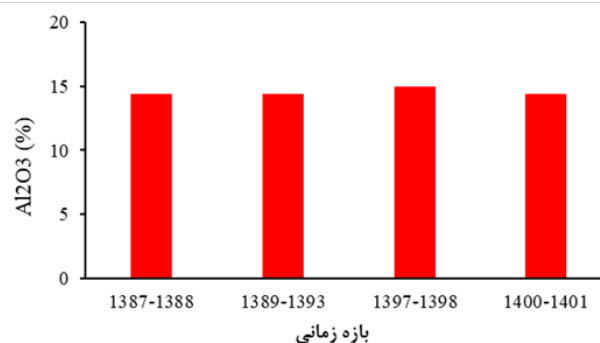
۳-۳-۲- آنالیز شیمیایی با روش XRF

شکل‌های (۳-۷) تا (۳-۱۱) آنالیز عیار ترکیبات مختلف اکسیدی در نمونه‌های باطله فلوتاسیون مجتمع‌های سونگون، میدوک و سرچشمه را نشان می‌دهد.

براساس نتایج شکل‌های (۳-۷) و (۳-۸)، ترکیب اصلی نمونه باطله مس سونگون را سیلیس (۶۳-۶۵ درصد)، اکسید آلومینیوم (۱۴/۵ درصد) و اکسید آهن (حدود ۵/۵ درصد) تشکیل می‌دهد.

مقایسه نتایج شکل‌های (۳-۹) و (۳-۱۰) با نتایج شکل‌های (۳-۷) و (۳-۸) نشان می‌دهد که میزان سیلیس در نمونه باطله میدوک حدود ۳ درصد کمتر از نمونه سونگون و در مقابل عیار اکسید آلومینیوم حدود ۲ درصد بیشتر است. عیار اکسید گوگرد در همه نمونه‌ها مشابه و در حدود ۳/۵ تا ۳ درصد است.

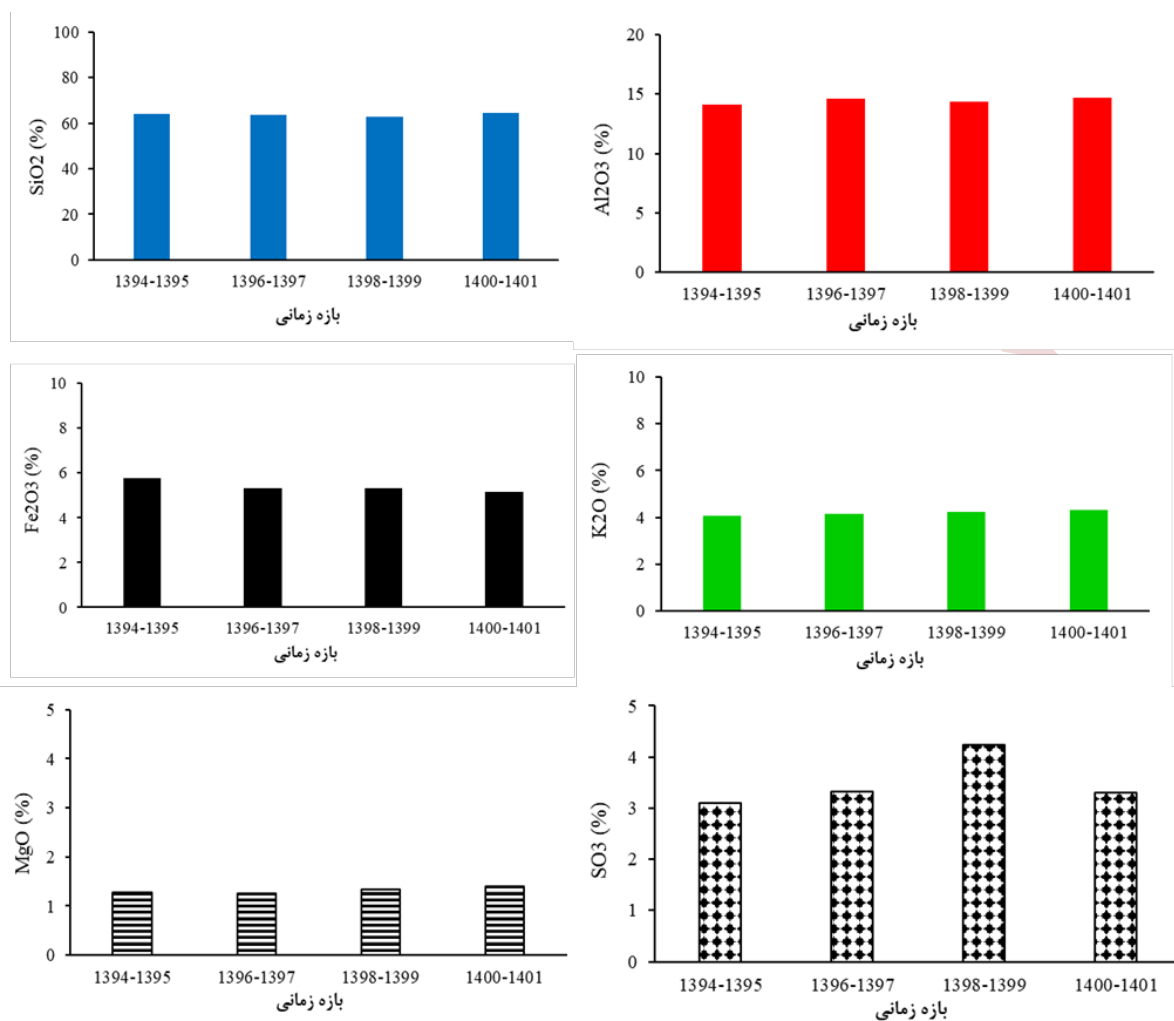
نکته قابل توجه دیگر بالاتر بودن درصد اکسید سدیم در نمونه باطله میدوک نسبت به نمونه باطله سونگون است. (حدود ۲ درصد در برابر ۰/۵ درصد)



شکل (۷-۳) - تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ فاز ۱ سونگون

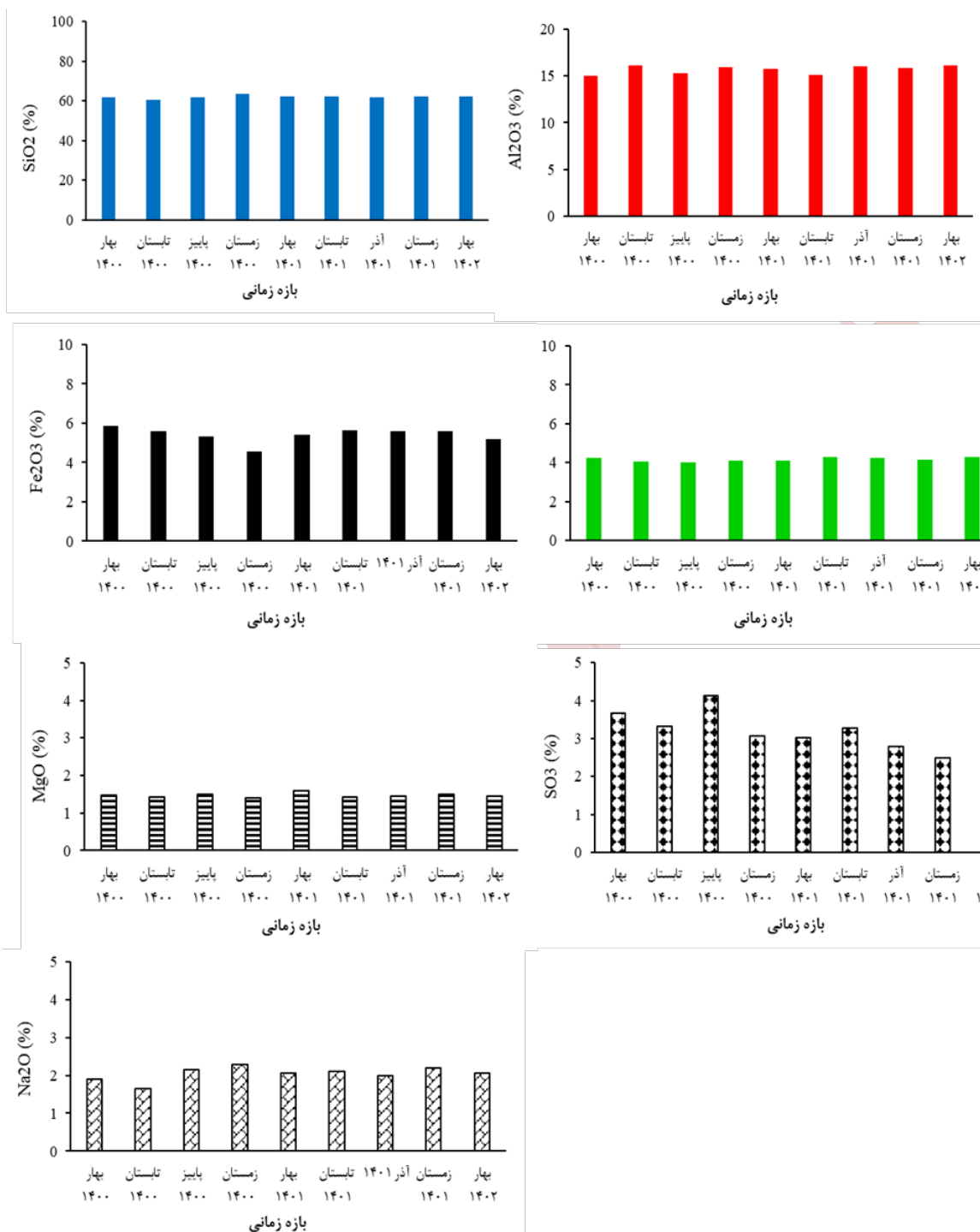
در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRF

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 107 of 200



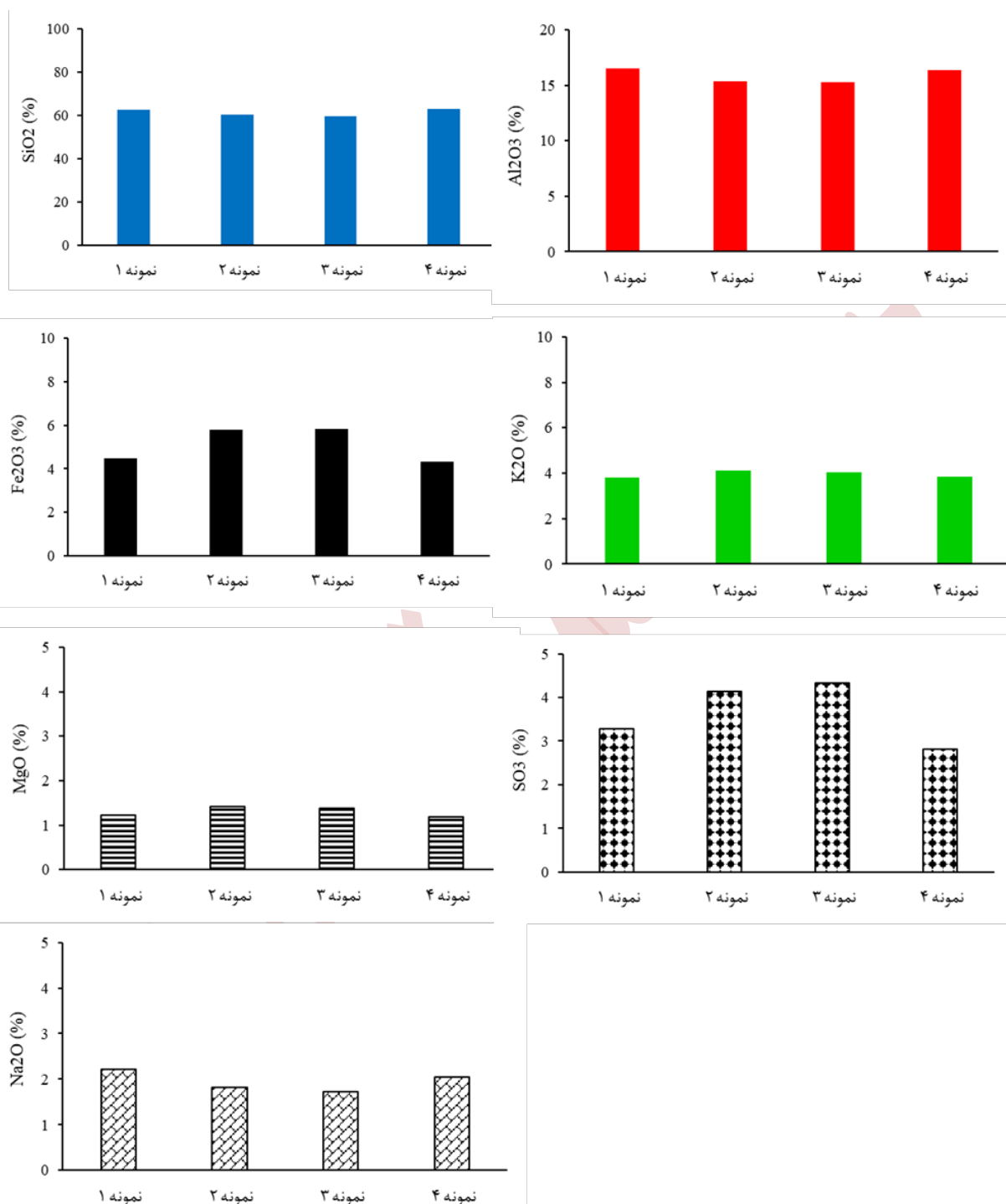
شکل (۸-۳) - تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ فاز ۲ سونگون

در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRF



شکل (۳-۹)- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ شهراباک (میدوک)

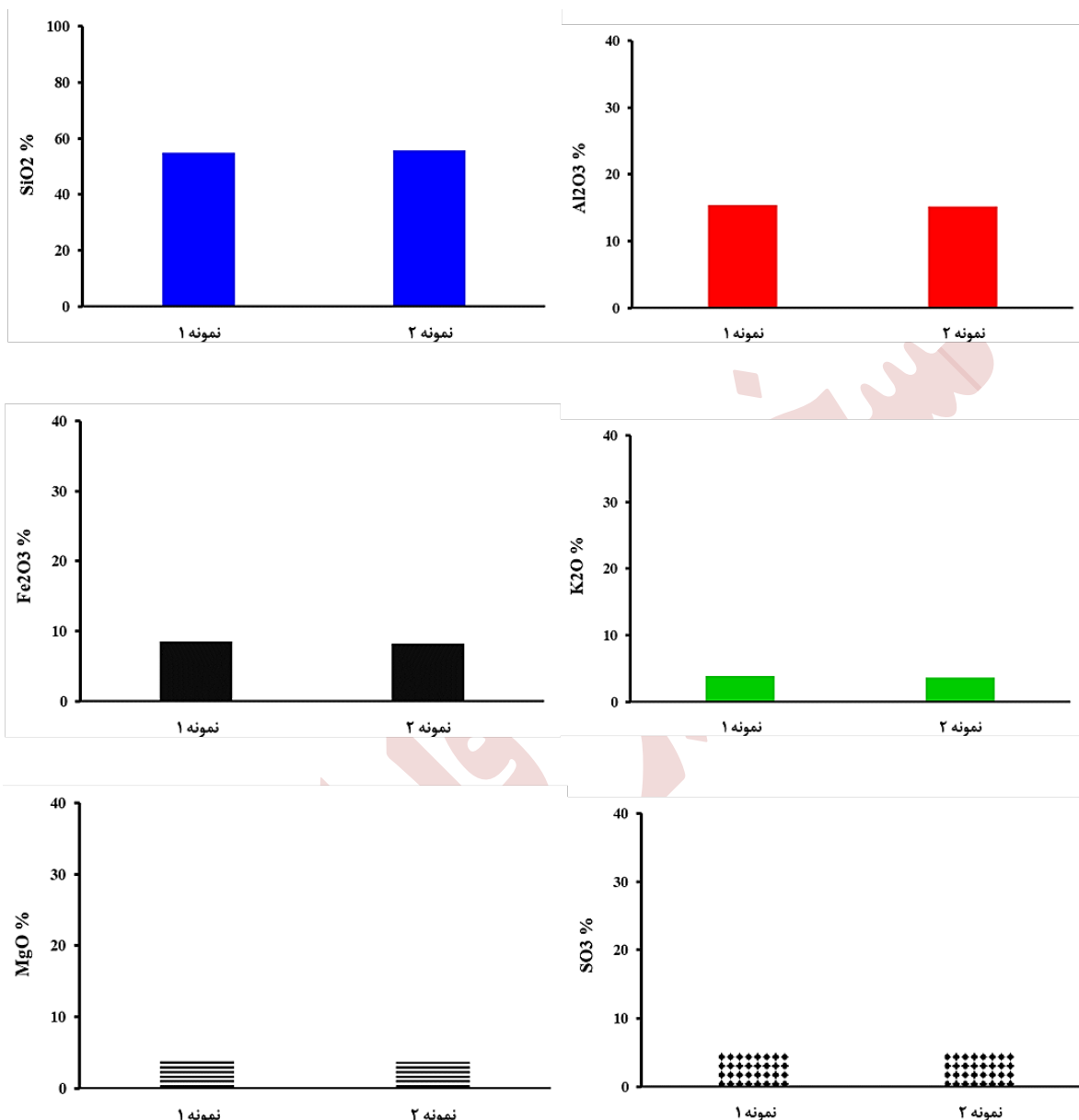
در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRF



شکل (۳-۱۰)- تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های سطحی سد باطله کارخانه تغلیظ شهر بابک (میدوک)

در مردادماه ۱۴۰۲ بر مبنای آنالیز XRF

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 110 of 200



شکل (۳-۱۱) - تغییرات عیار اکسیدهای عناصر اصلی در ترکیب نمونه‌های سطحی سد باطله فلوتاسیون کارخانه تغلیظ
سرچشمه بر مبنای آنالیز XRF

۳-۳-۳- آنالیز شیمیایی با روش MS-ICP

شکل‌های (۳-۱۲) تا (۳-۲۲) عیار مهم‌ترین عناصر موجود در باطله فلوتاسیون مجتمع‌های سونگون و میدوک براساس آنالیز MS-ICP نمونه‌های مختلف را نشان می‌دهد.
براساس نتایج شکل (۳-۱۲)، میانگین عیار مس در نمونه فازهای ۱ و ۲ سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه

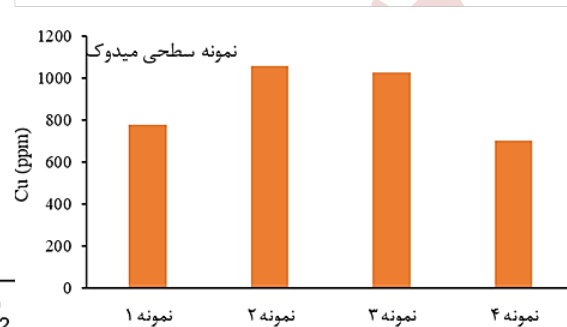
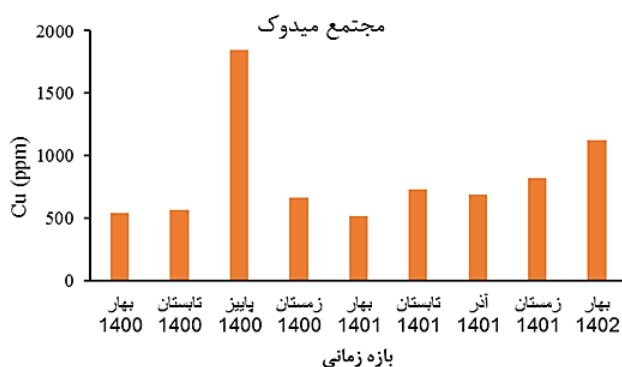
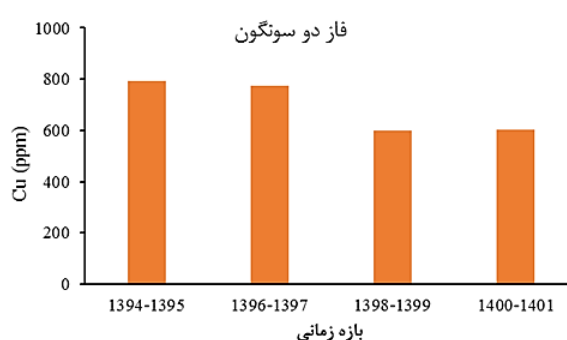
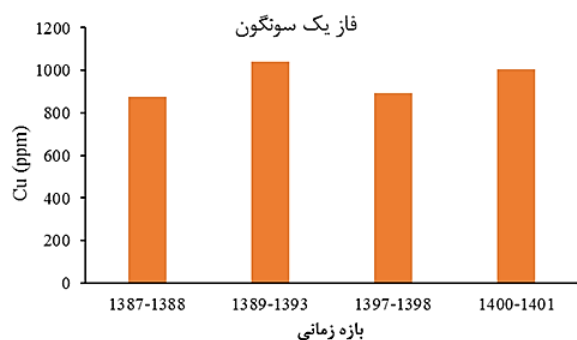
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلو تاسیون	Page 111 of 200

سطحی سد باطله میدوک به ترتیب ۰/۰۹۵، ۰/۰۷۰، ۰/۰۸۳ و ۰/۰۷۹ درصد محاسبه می شود که با نتایج آنالیز شیمیایی تر (بند ۳-۱) همخوانی دارد.

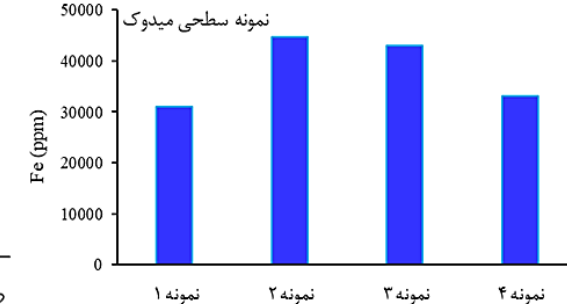
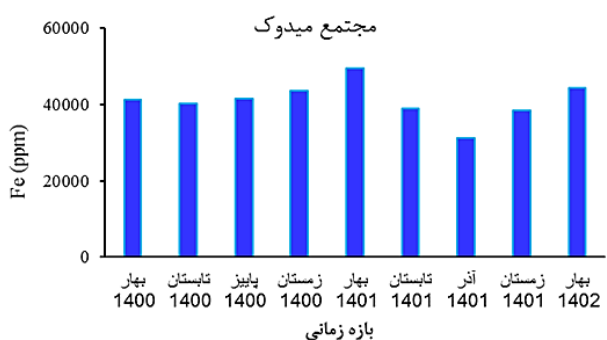
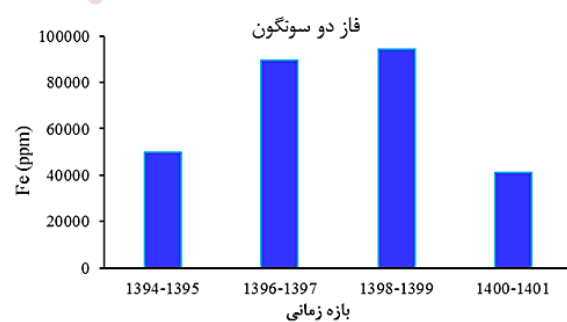
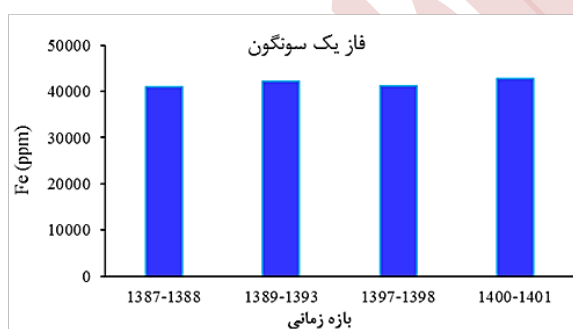
براساس نتایج شکل (۳-۱۵)، عیار متوسط مولیبدن در نمونه فازهای ۱ و ۲ سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه سطحی سد باطله میدوک به ترتیب ۶۰، ۳۲، ۱۱ و ۱۹ ppm است. چنانچه حداقل عیار اقتصادی مولیبدن را ۵۰ ppm در نظر بگیریم، تنها باطله فاز ۱ سونگون از دیدگاه اقتصادی ارزش برای بازیابی مولیبدن دارد. براساس نتایج شکل (۳-۱۶)، عیار متوسط تیتانیوم در نمونه فازهای ۱ و ۲ سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه سطحی سد باطله میدوک به ترتیب ۱۹۹۰، ۲۱۵۰، ۲۵۰۰ و ۲۴۰۰ ppm است. چنانچه حداقل عیار اقتصادی تیتانیوم را ۱۴۰۰۰ ppm در نظر بگیریم (غلظت متوسط در پوسته زمین)، باطله‌های فلو تاسیون برای بازیابی تیتانیوم ارزش اقتصادی ندارد.

براساس نتایج شکل (۳-۱۷)، عیار متوسط وانادیوم در نمونه فازهای یک و دو سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه سطحی سد باطله میدوک به ترتیب ۷۸، ۷۷، ۱۰۵ و ۹۸ ppm است. چنانچه حداقل عیار اقتصادی تیتانیوم را ۷۵۰۰ ppm در نظر بگیریم (براساس منابع)، باطله‌های فلو تاسیون برای بازیابی وانادیوم ارزش اقتصادی ندارد.

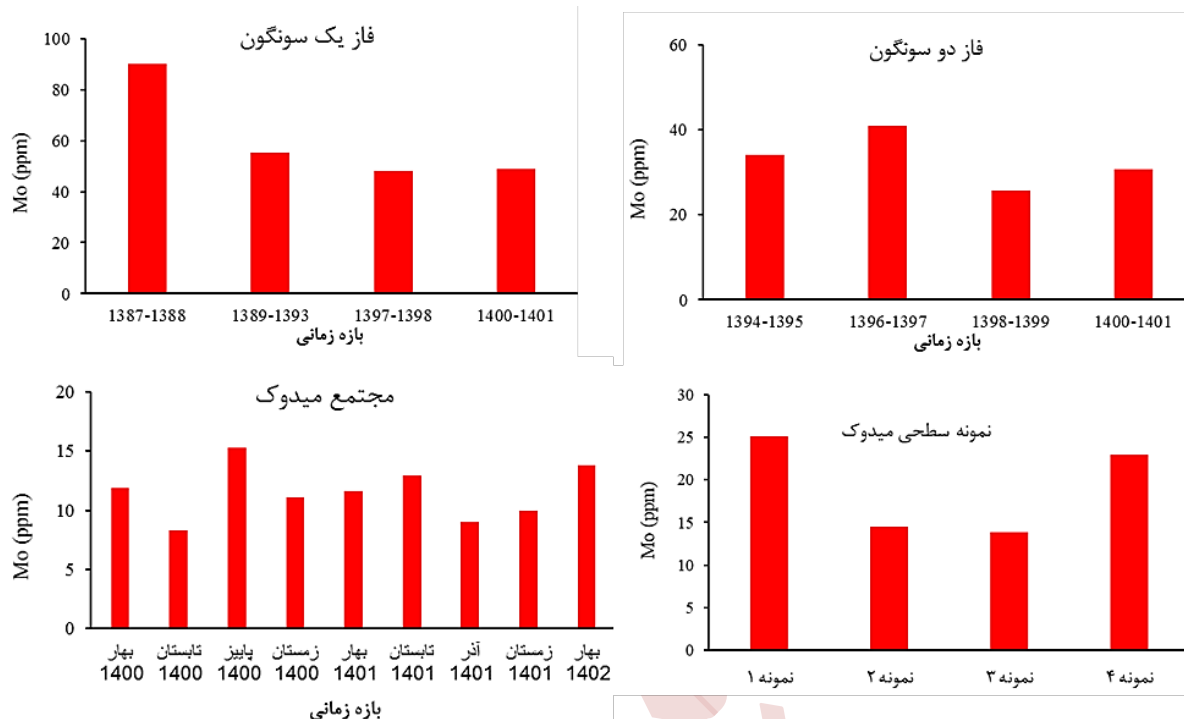
براساس نتایج شکل (۳-۱۸)، عیار متوسط کبالت در نمونه فازهای ۱ و ۲ سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه سطحی سد باطله میدوک بین ۱۵-۲۲ ppm است که نشان دهنده عدم اقتصادی بودن استخراج کبالت است. براساس نتایج شکل (۳-۱۹)، عیار متوسط کروم در نمونه فازهای یک و دو سونگون، دوره‌ای میدوک و نمونه سطحی سد باطله میدوک به ۴۲-۷۰ ppm است که نشان دهنده عدم اقتصادی بودن استخراج کروم است. شکل‌های (۳-۲۰)، (۳-۲۱)، (۳-۲۲) و (۳-۲۳) نیز به ترتیب تغییرات عیار روی، آلومینیوم، آرسنیک و عناصر نادر در نمونه‌های باطله را نشان می‌دهد.



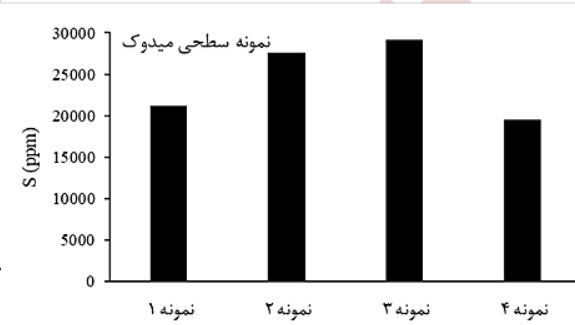
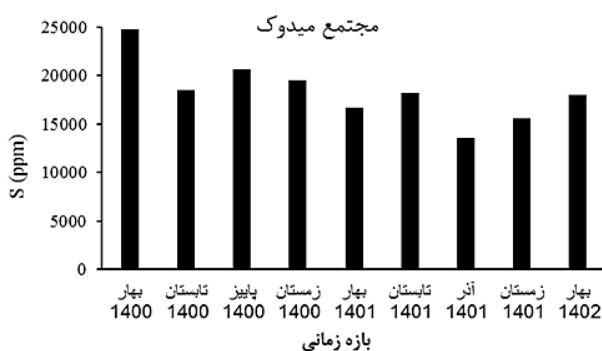
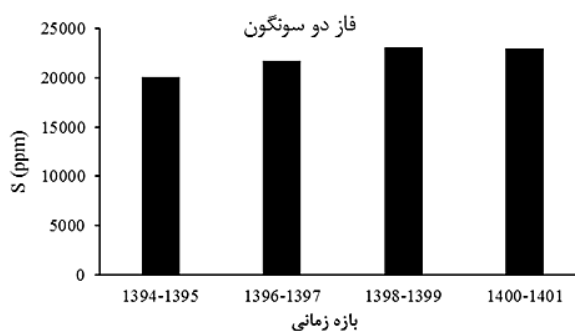
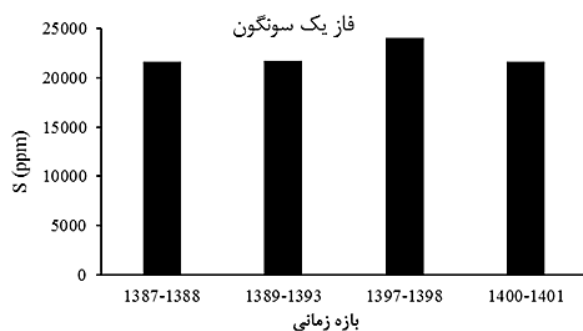
شکل (۳-۱۲) - تغییرات غبار مس در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



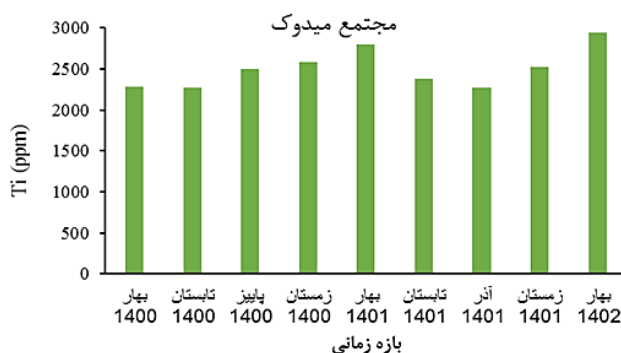
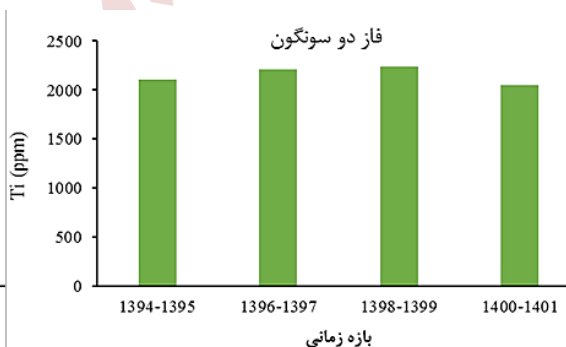
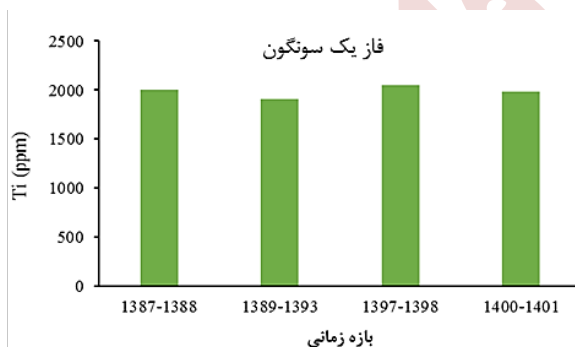
شکل (۳-۱۳) - تغییرات عیار آهن در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



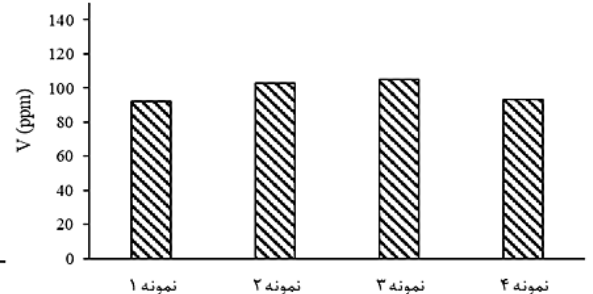
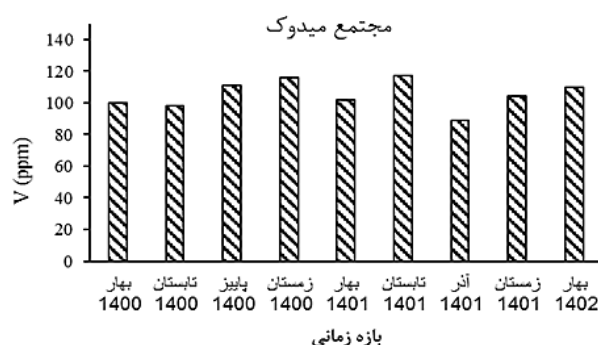
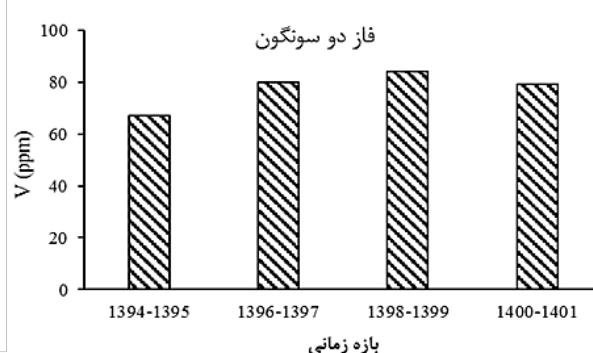
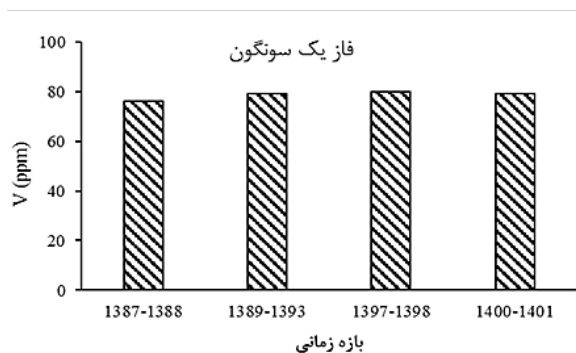
شکل (۳-۱۴) - تغییرات عیار گوگرد در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



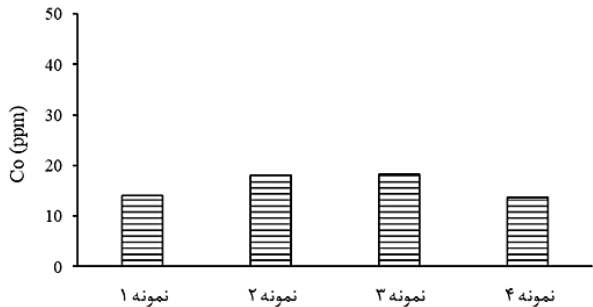
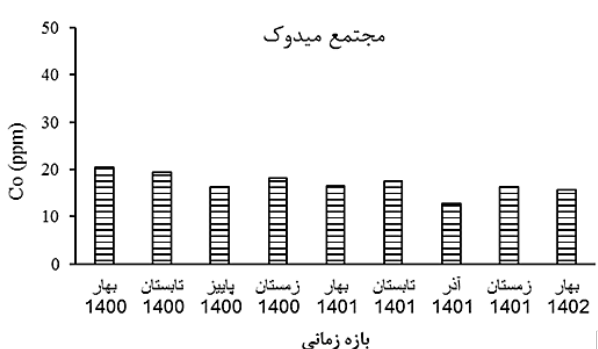
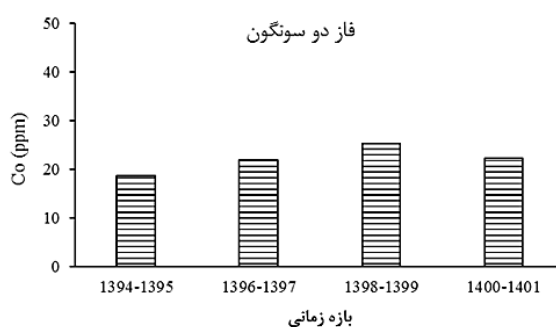
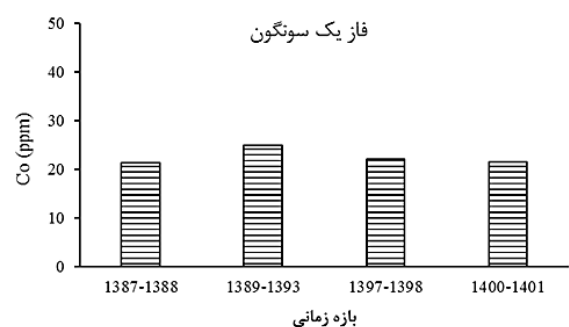
شکل (۳-۱۵) - تغییرات عیار مولیبدن در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



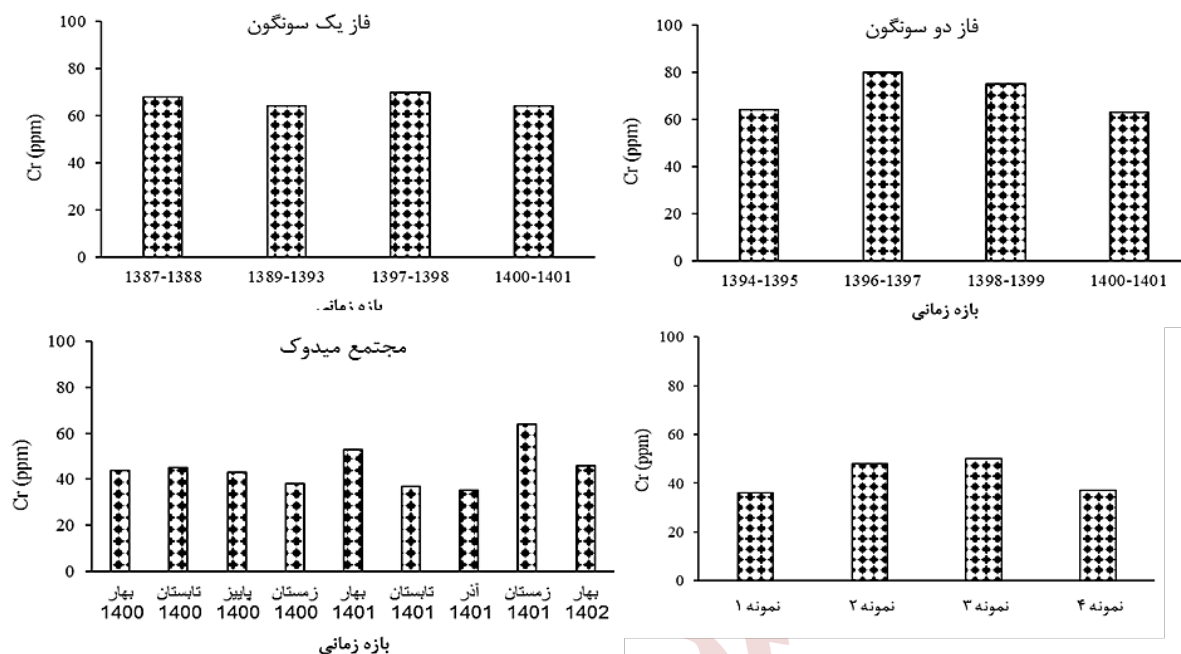
شکل (۳-۱۶) - تغییرات عیار تیتانیوم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



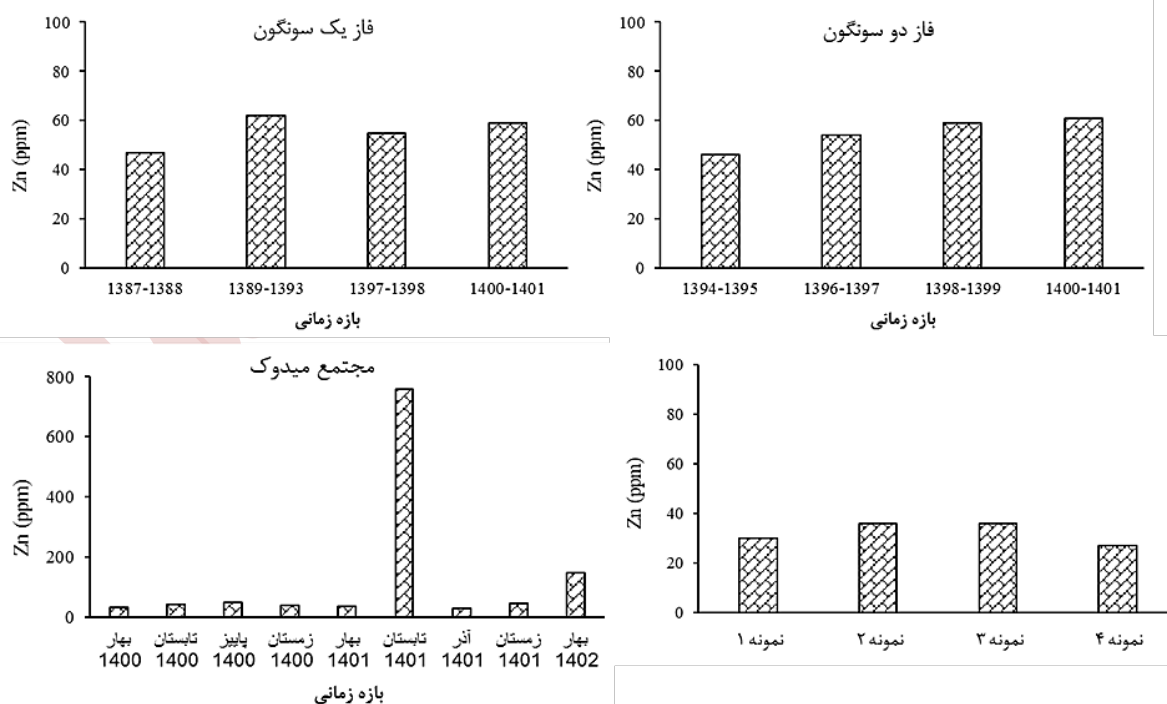
شکل (۳-۱۷) - تغییرات عیار وانادیم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



شکل (۳-۱۸) - تغییرات عیار کبالت در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP

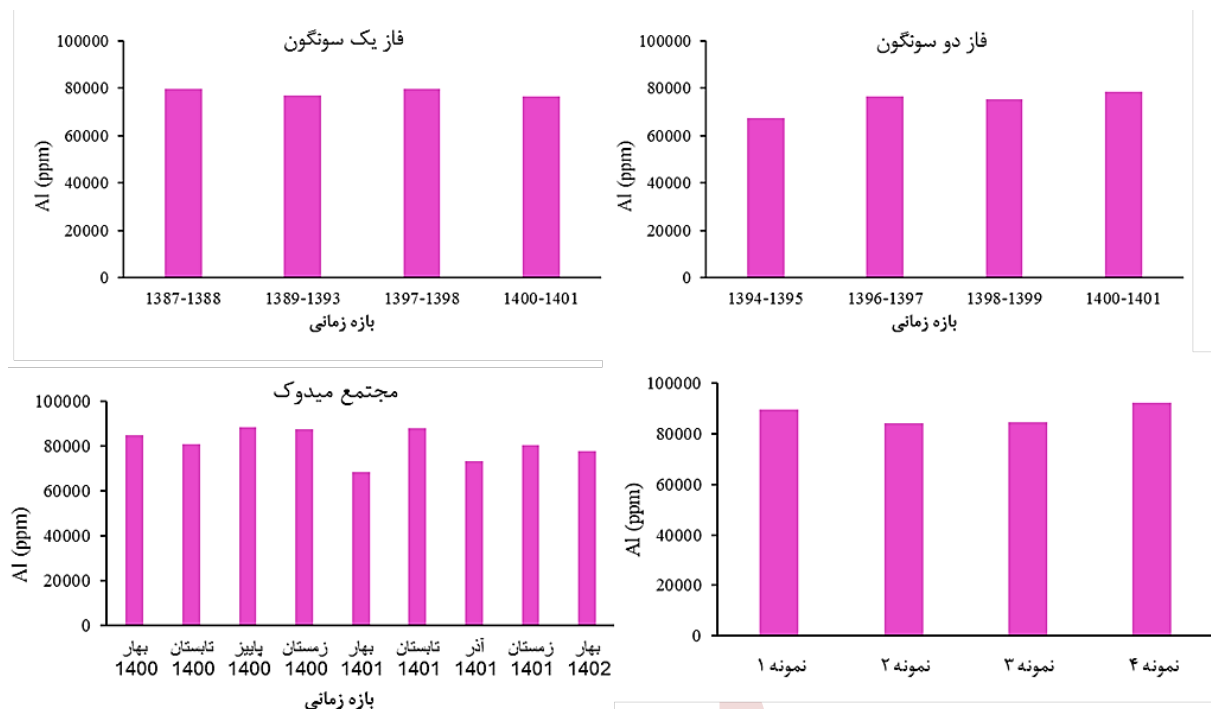


شکل (۳-۱۹) - تغییرات عیار کروم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP

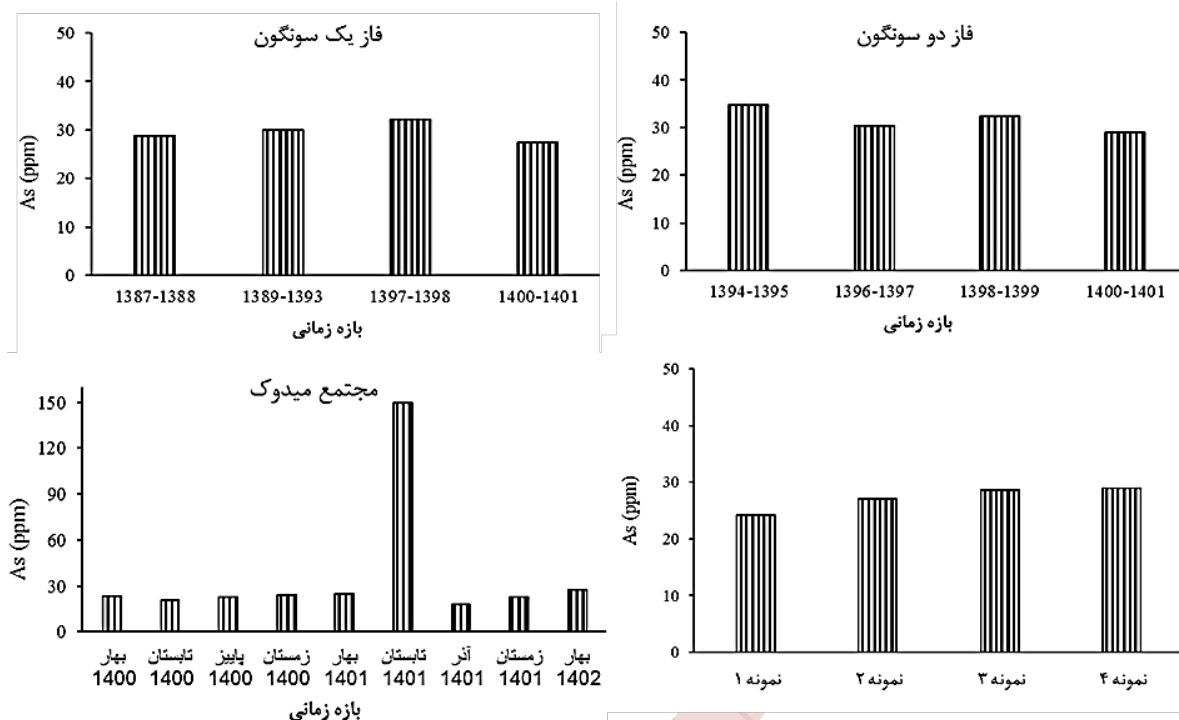


	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 117 of 200

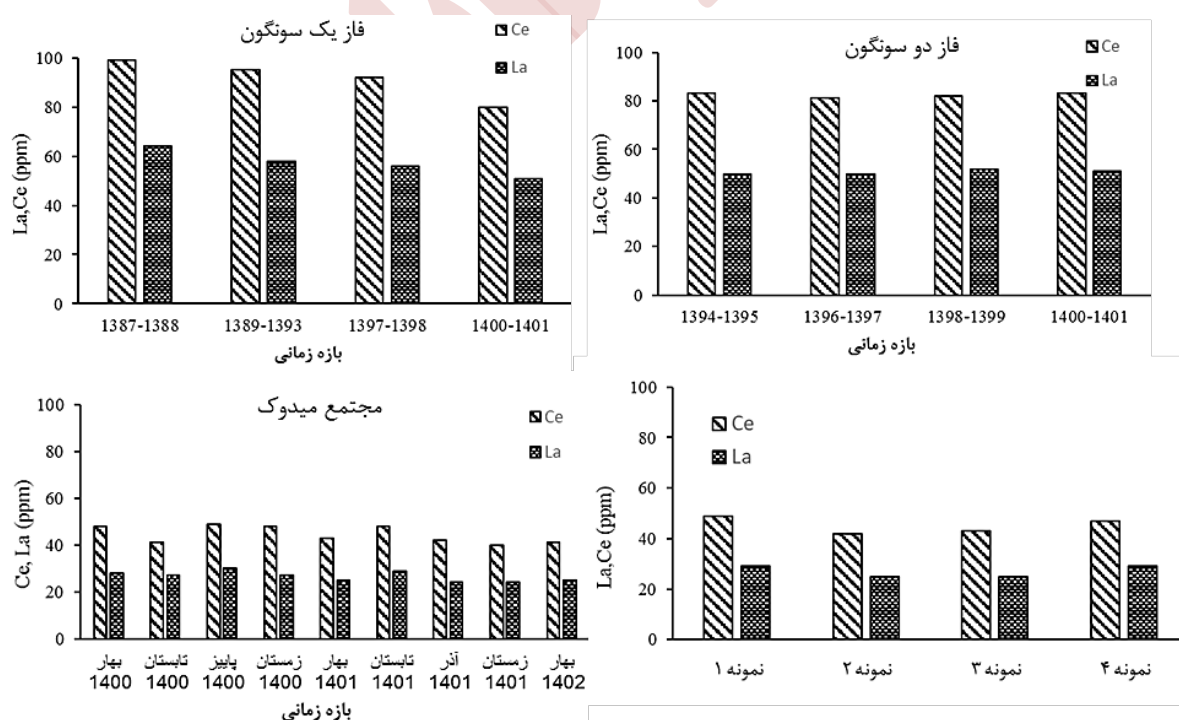
شکل (۳-۲۰) - تغییرات عیار روی در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



شکل (۳-۲۱) - تغییرات عیار آلومینیوم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



شکل (۳-۲۲) - تغییرات عیار آرسنیک در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP



 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 119 of 200

شکل (۳-۲۳) - تغییرات عیار سریم و لانتانیم در مجتمع میدوک و سونگون براساس آنالیز ICP

در مورد عنصر روی، بالاترین غلظت مربوط به باطله میدوک است که برابر ۱۳۰ ppm (میانگین) اندازه گیری شده است. عیار آن در سایر نمونه ها بسیار کم است.

جدول (۳-۲)، آنالیز ICP دو نمونه سطحی تهیه شده از سد باطله سرچشمه را نشان می دهد. همان گونه که ملاحظه می شود، ترکیب شیمیایی باطله مشابه باطله میدوک است.

جدول (۳-۲) - آنالیز ICP دو نمونه سطحی تهیه شده از سد باطله سرچشمه

	Ag ppm	Al ppm	As ppm	Ba ppm	Be ppm	Ca ppm	Cd ppm	Ce ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Fe ppm	K ppm	La ppm	Li ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Na ppm	Ni ppm
SARS1	0.53	67675	25.3	272	1.1	8594	0.34	26	32.4	40	963	50934	33745	16	18	14055	604	95.3	6843	21
SARS2	0.53	67092	35.8	265	1.2	9776	0.41	29	30.8	67	976	54073	34183	17	19	16990	695	116	7637	35

	P ppm	Pb ppm	S ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Th ppm	Ti ppm	U ppm	V ppm	Y ppm	Yb ppm	Zn ppm	Zr ppm
SARS1	771	39	>3%	1.6	16.1	99	<5	2270	<5	151	12.9	1.8	268	7
SARS2	932	38	>3%	1.72	16.3	111	<5	2663	<5	159	13.7	1.8	384	9

۳-۳-۴ - آنالیز کانی شناسی با روش XRD

جدول های (۳-۳) تا (۷-۳) نتایج آنالیز کانی شناسی به روش XRD را بیان می کند. در همه نمونه ها، کوارتز، موسکوویت و ایلیت اصلی ترین فازهای کانی است. همچنین پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات و آلبیت مهم ترین کانی های فرعی است. این امر نشان دهنده حضور ۲ دسته کانی در نمونه است. دسته اول کانی های حاوی سیلیس که احتمالاً بخش درشت دانه باطله را تشکیل می دهد و از لحاظ خردایش نیاز به صرف انرژی زیادی است. دسته دوم کانی های رسی که احتمالاً بخش ریزدانه را تشکیل می دهد. این کانی ها در فرایند فلوتاسیون سبب ایجاد دنباله روی و عدم پایداری سلول فلوتاسیون شده و در فرایند لیچینگ باعث بالارفتن عامل لیچینگ و ایجاد مشکلات اساسی در فیلتراسیون و آبگیری خواهد شد. بنابراین، یکی از مهم ترین جنبه های مورد توجه در باز فرآوری باطله بحث نرمه و کانی شناسی آن خواهد بود.

بازه زمانی	فاز اصلی	فاز فرعی
۱۳۸۷-۱۳۸۸	کوارتز، مسکوویت-ایلیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
۱۳۹۳-۱۳۸۹	کوارتز، مسکوویت-ایلیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
۱۳۹۸-۱۳۹۷	کوارتز، مسکوویت-ایلیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 120 of 200

۱۴۰۱-۱۴۰۰	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
-----------	------------------------	---

جدول (۳-۳)- آنالیز کانی‌شناسی فاز ۱ سونگون در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD

۱۴۰۱-۱۴۰۰	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
-----------	------------------------	---

جدول (۳-۴)- آنالیز کانی‌شناسی فاز ۲ سونگون در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD

بازه زمانی	فاز اصلی	فاز فرعی
۱۳۹۴-۱۳۹۵	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
۱۳۹۷-۱۳۹۶	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت، آلبیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
۱۳۹۹-۱۳۹۸	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت
۱۴۰۱-۱۴۰۰	کوارتز، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، آلبیت

جدول (۳-۵)- آنالیز کانی‌شناسی نمونه سطحی میدوک در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD

بازه زمانی	فاز اصلی	فاز فرعی
۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
۲	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، ژئپس
۳	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت، پتاسیم فلدسپات	پیریت، کائولینیت، کلرید، ژئپس
۴	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت، پتاسیم فلدسپات	پیریت، کائولینیت

جدول (۳-۶)- آنالیز کانی‌شناسی مجتمع میدوک در بازه‌های زمانی مختلف بر مبنای آنالیز XRD

بازه زمانی	فاز اصلی	فاز فرعی
بهار ۱۴۰۰	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
تابستان ۱۴۰۰	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
پاییز ۱۴۰۰	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، کلرید
زمستان ۱۴۰۰	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
بهار ۱۴۰۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت، پتاسیم فلدسپات	پیریت، کائولینیت، کلرید
تابستان ۱۴۰۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
آذر ۱۴۰۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت
زمستان ۱۴۰۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
بهار ۱۴۰۲	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپیت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 121 of 200

جدول (۳-۷) - آنالیز کانی‌شناسی نمونه سطحی سرچشمه بر مبنای آنالیز XRD

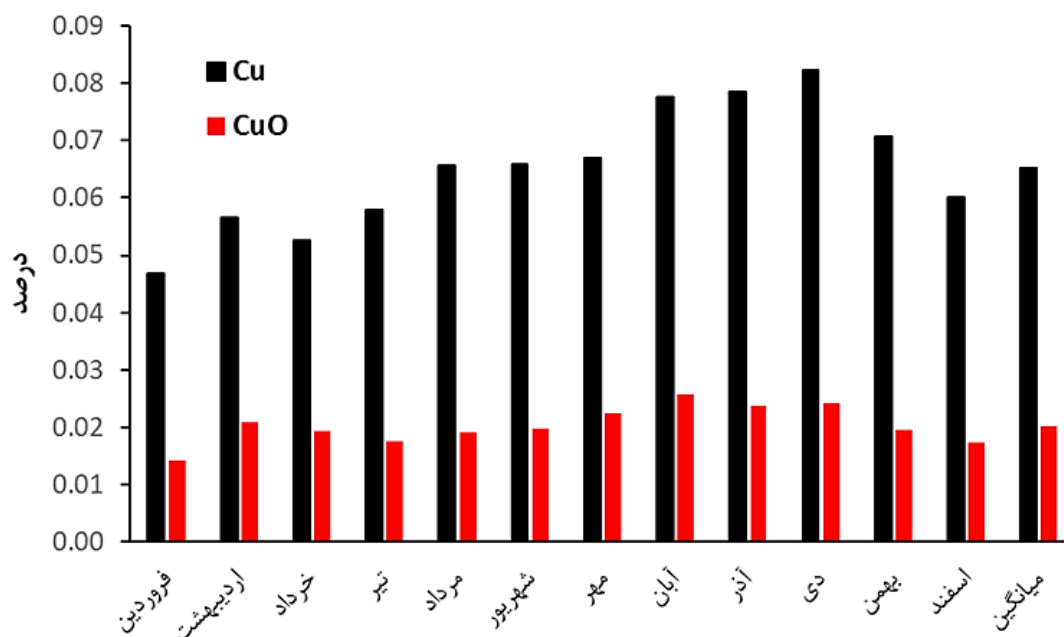
نمونه	فاز اصلی	فاز فرعی
۱	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات
۲	کوارتز، آلبیت، مسکوویت-ایلپت	پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات، ژیپس

۳-۴- بررسی داده‌های دریافتی از واحد آزمایشگاه مجتمع‌های میدوک و سونگون

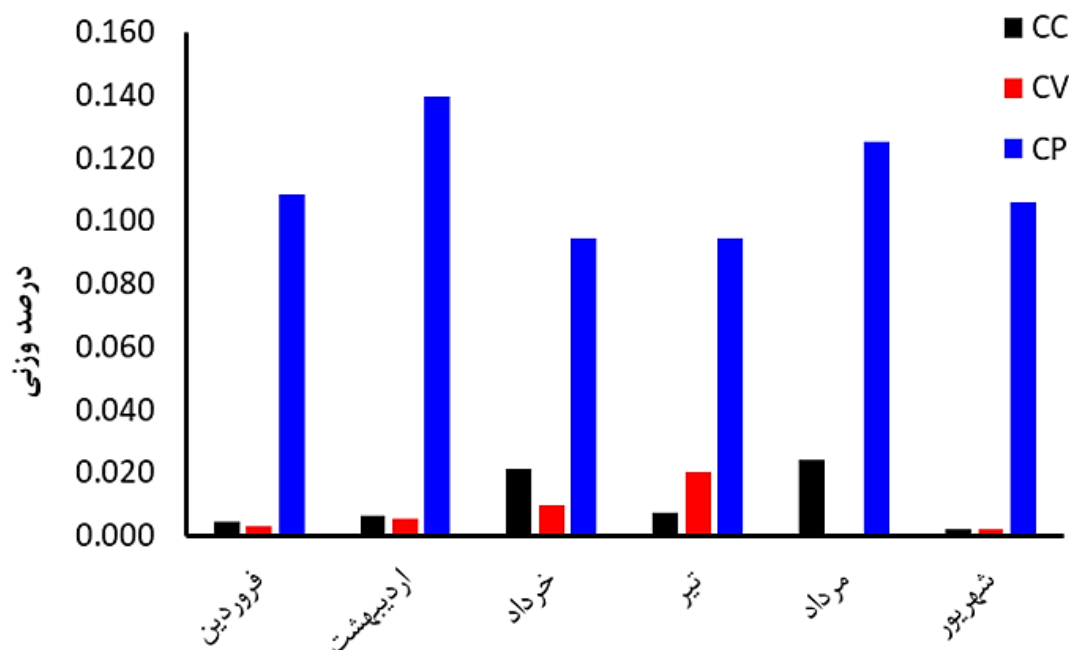
با همکاری کارشناسان امور آزمایشگاه در مجتمع‌های میدوک و سونگون، بخشی از آنالیزهای مربوط به باطله در دوره‌های زمانی مختلف دریافت شد. متأسفانه این داده‌ها کامل و منظم نیست. باین حال مقایسه داده‌های دریافتی با نتایج ارائه‌شده در بخش قبل مؤید تناسب نتایج و هم‌خوانی آن‌ها با یکدیگر است.

شکل (۳-۲۴) تغییرات عیار مس و مس اکسیدی در باطله خروجی کارخانه تغلیظ میدوک در سال ۱۴۰۱ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، عیار میانگین به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۰۲ درصد است که با نتایج قبلی هم‌خوانی دارد. همچنین درصد مس اکسیدی نمونه باطله نیز به‌طور متوسط ۳۰ درصد است.

شکل (۳-۲۵) نیز تغییرات درصد وزنی کانی‌های مس در نمونه باطله خروجی کارخانه تغلیظ میدوک در نیمه اول سال ۱۴۰۲ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، کالکوپیریت مهم‌ترین کانی حاوی مس در نمونه است. بر مبنای اطلاعات مشابه، درصد وزنی پیریت در نمونه باطله ۵ درصد گزارش شده است.



شکل (۳-۲۴) - تغییرات عیار مس در باطله خروجی کارخانه تغلیظ مجتمع میدوک در سال ۱۴۰۲



شکل (۳-۲۵) - تغییرات درصد وزنی کانی‌های مس در باطله خروجی کارخانه تغلیظ مجتمع میدوک در سال ۱۴۰۲

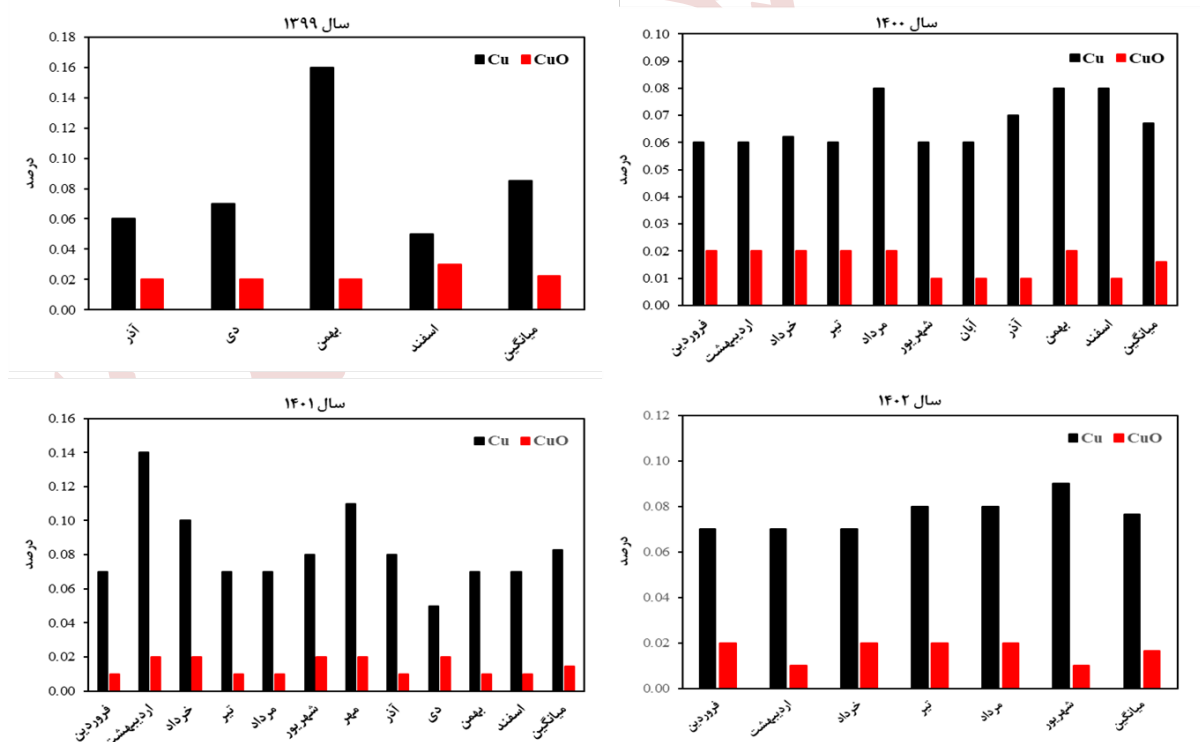
	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 123 of 200

لازم به ذکر است که به طور مشابه، داده‌های دریافتی از آزمایشگاه سونگون نیز با آنالیزهای انجام شده روی نمونه‌ها همخوانی دارد و برای ادامه تحقیق می‌توان بر داده‌های گزارش اتکا کرد.

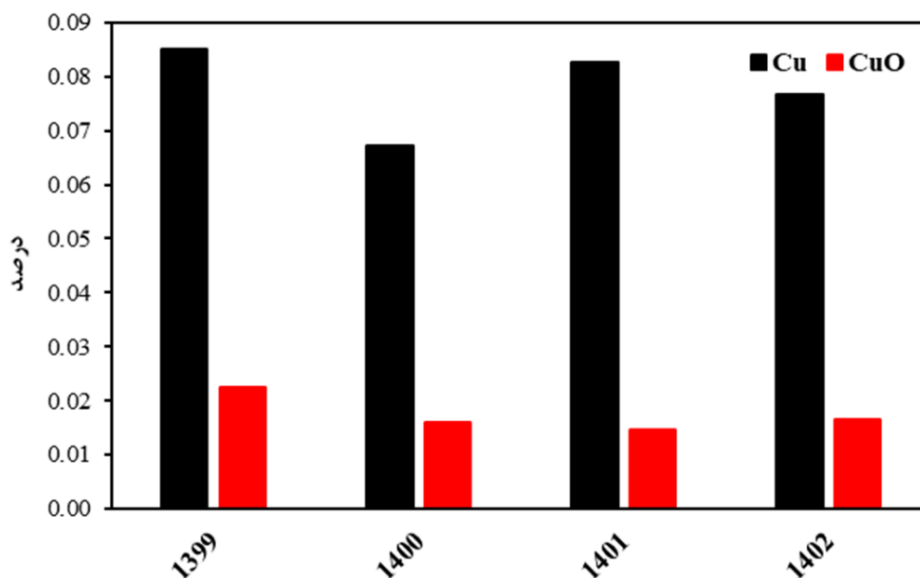
شکل‌های (۲۶-۳) و (۲۷-۳) میانگین عیار مس سولفیدی و اکسیدی در باطله فاز ۱ مجتمع مس سرچشمه در ماه‌ها و سال‌های مختلف و شکل (۲۸-۳) سهم مس به صورت اکسیدی و سولفیدی را ارائه می‌دهد. براساس نتایج، و به طور مشابه با ۲ مجتمع دیگر، بین ۲۰ تا ۳۰ درصد مس در فاز اکسیدی و مابقی در فاز سولفیدی قرار دارد.

همچنین، براساس شکل (۲۹-۳)، عیار مولیبدن در نمونه‌های باطله مجتمع مس سرچشمه از ۰/۰۰۳ به ۰/۰۰۷ درصد افزایش یافته است.

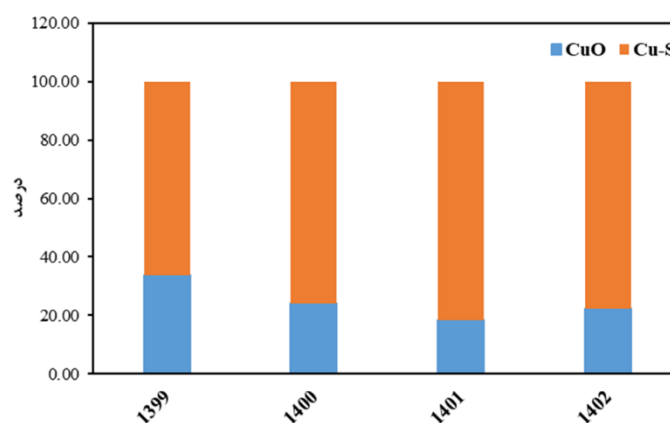
براساس مطالعات کانی‌شناسی و درجه آزادی که در آزمایشگاه مجتمع مس سرچشمه روی نمونه‌های باطله صورت گرفته است، در اکثر نمونه‌ها کالکوپیریت با گانگ درگیر بوده و درجه آزادی آن در نهایت به ۳۵ تا ۴۰ درصد رسیده است. (شکل‌های (۳۰-۳) و (۳۱-۳)). این امر بیان‌کننده نیاز مبرم به خردایش و آسیاکنی در فرایند فراوری مجدد باطله است.



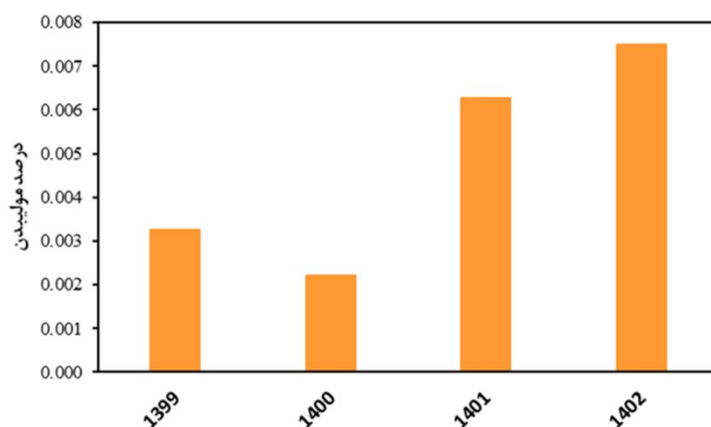
شکل (۲۶-۳) - میانگین درصد مس و اکسید مس نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در ماه‌های مختلف هر سال



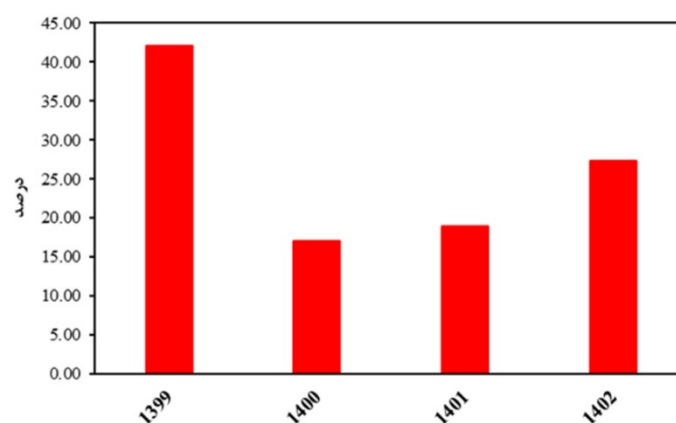
شکل (۳-۲۷) - میانگین درصد مس و اکسید مس نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف



شکل (۳-۲۸) - سهم مس سولفیدی و اکسیدی نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف

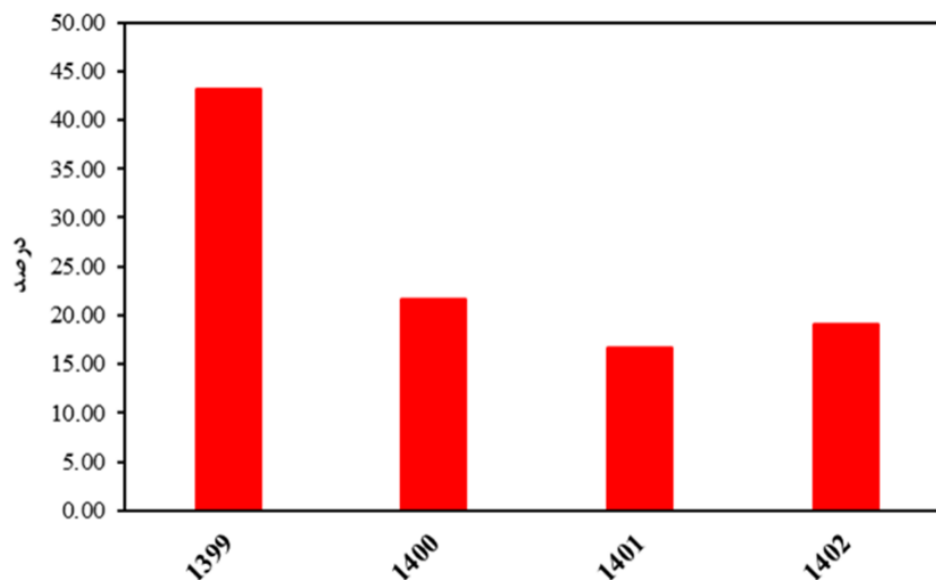


شکل (۳-۲۹) - عیار مولیبدن در نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه در سال‌های مختلف



شکل (۳-۳۰) - درجه آزادی کالکوپیریت نمونه باطله فاز ۱ سرچشمه برحسب سال

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 126 of 200



شکل (۳-۳۱) - درجه آزادی کالکوپیریت نمونه باطله فاز ۲ سرچشمه برحسب سال

۳-۵- آنالیز عناصر باارزش در نمونه‌های باطله فلوتاسیون

برای تعیین غلظت فلزات باارزش در نمونه‌های باطله فلوتاسیون، تعدادی از نمونه‌های موجود برای آنالیز به آزمایشگاه ارسال شد. با توجه به محدودیت وزن نمونه‌ها، تنها تعدادی از آن‌ها قابلیت آنالیز داشت. جدول (۳-۸) نتایج آنالیز طلا، پالادیم و پلاتین در نمونه‌های سونگون، سرچشمه و میدوک را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول (۳-۸) ملاحظه می‌شود، عیار فلزات باارزش در باطله فلوتاسیون بسیار کم و در حد ppb بوده و از این رو ارزش اقتصادی ندارد.

البته اگر طلا در داخل ساختار پیریت یا آرسنوپیریت وجود داشته باشد، ممکن است در کنسانتره پیریت تجمع یافته و قابل توجه شود که این امر باید در آزمایش‌های فلوتاسیون مورد بررسی قرار گیرد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 127 of 200

جدول (۳-۸) - نتایج آنالیز طلا، پالادیم و پلاتین در نمونه‌های سونگون، سرچشمه و میدوک

Element	Au	Pd	Pt
Unit	ppb	ppb	ppb
MIA1	10	<	<
MIA2	17	<	<
MIA3	14	<	<
MIA4	19	<	<
MIA5	15	<	<
MIA6	31	<	<
MIA7	8	<	<
MIA8	18	<	<
SUNA سونگون	30	<	<
SARS-1 سرچشمه	24	<	<
SARS-2	22	<	<

۳-۶- جدول عیار حد اقتصادی عناصر

به‌طور کلی، مواد معدنی به دودسته تقسیم‌بندی می‌شوند: مواد معدنی اولیه که از معدن استخراج شده و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد و مواد معدنی ثانویه مانند باطله‌های استخراج معدن، باطله‌های حاصل از فراوری و یا استفاده مجدد از منابع قبلی است.

در مورد منابع معدنی اولیه، عیار حد اقتصادی برای یک ماده معدنی به عوامل مختلفی مانند عیار، کانی‌شناسی عنصر باارزش، کانی‌شناسی باطله‌ها، پاراژنز سنگ و شکل و عمق ماده معدنی بستگی دارد. برحسب مورد، در برخی منابع و مراجع اعداد و ارقامی گزارش شده است. برای مثال در مورد نیکل، عیار ذخایر سولفیدی بین ۸ - ۰/۱۵ درصد گزارش شده است؛ یا در مورد مس، به عدد ۰/۴۹ درصد و در مورد تیتانیوم به ۲ درصد اشاره شده است.

در مورد منابع ثانویه، مانند باطله‌های فلوتاسیون، تعیین عیار حد آن هم به‌صورت کلی امکان‌پذیر نیست. در حقیقت، در هر مورد باید مشخصات باطله به‌دقت مطالعه شده و پس از انجام آزمایش‌های فراوری و براساس عواملی مانند پیچیدگی فلوشیت فراوری، شرایط جغرافیایی، دسترسی به زیرساخت‌ها و... اقتصادی بودن یا نبودن طرح مشخص شود.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 128 of 200

باین حال، برای ارائه یک راهنمای کلی برای فعالیتهای آینده و براساس بررسیهای انجام شده در موارد مشابه و تجربیات موجود، جدول (۳-۹) به صورت مقایسه عیار فلزات موجود در باطله فلوتاسیون و مقایسه با عیار حد اقتصادی ارائه شده است. همان گونه که ملاحظه می شود، ۲ عنصر مس و مولیبدن بیشتر پتانسیل برای استحصال از باطله به صورت اقتصادی را دارد. مجدداً تأکید می شود قضاوت دقیق تنها پس از انجام مطالعات دقیق امکان پذیر است.

جدول (۳-۹) - مقایسه عیار باطله فلوتاسیون و عیار حد برای عناصر مهم

عنصر	عیار حد (ppm)	عیار در باطله فلوتاسیون (ppm)
Ag	۱۵	۰/۷
Au	۰/۵	۰/۰۳
Co	۱۵۰	۱۵
Cu	۷۰۰	۹۰۰
Li	۵۰۰	۱۰
Mo	۱۰۰	۸۰
Ni	۱۰۰۰	۴۰
Pb	۲۰۰۰	۳۰
Pd	۲	۰/۰۰۰۱
Pt	۲	۰/۰۰۰۱
REE	۵۰۰	۱۰۰
Ti	۱۴۰۰	۲۵۰۰
V	۵۰۰	۱۰۰
Zn	۲۰۰۰	۵۰

۳-۷- جمع بندی

در این گزارش، نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی و کانی شناسی نمونه های باطله فلوتاسیون مجتمع های سرچشمه، میدوک و سونگون ارائه شد.

براساس نتایج، ترکیب اصلی باطله های فلوتاسیون SiO_2 (حدود ۶۴ درصد) و Al_2O_3 (حدود ۱۵ درصد) هست. آنالیز کانی شناسی نمونه نشان داد که کوارتز، موسکوویت و ایلیت اصلی ترین فازهای کانی است. همچنین

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 129 of 200

پیریت، کائولینیت، پتاسیم فلدسپات و آل بیت مهم ترین کانی های فرعی است.

براساس نتایج آنالیز ICP، مس و مولیبدن اصلی ترین فلزات هدف برای بازیابی از سد باطله است. با فناوری های رایج، استخراج سایر فلزات مانند تیتانیوم و وانادیوم اقتصادی نخواهد بود.

از دیدگاه فرایندی، وجود کانی های سیلیسی سبب تشکیل ژل سیلیسی و مشکلات فیلتراسیون در فرایندهای هیدرو متالورژیکی خواهد شد. همچنین، انحلال گانگ سبب ورود مقادیر زیادی ناخالصی به داخل محلول لیچینگ می شود که فرایند تغلیظ را بسیار مشکل و پرهزینه خواهد کرد.

در فرایند فلوتاسیون نیز، حضور کانی های رسی سبب ایجاد مشکلات رئولوژیکی در پالپ و کاهش راندمان فلوتاسیون می شود. ضمن اینکه انحلال یون های در آب، فرایند جذب کلکتور را پیچیده خواهد کرد.

براساس مطالعات انجام شده، و با مقایسه عیار عناصر مختلف باطله با عیار حد، تنها ۲ عنصر مس و مولیبدن دارای پتانسیل استحصال به صورت اقتصادی است.

فصل چهارم: انتخاب فرایند فراوری مجدد باطله فلوتاسیون

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 131 of 200

۴-۱- مقدمه

در این گزارش، نتیجه بررسی‌های انجام‌شده برای انتخاب فرایند مناسب برای بازفرآوری باطله فلوتاسیون در مجتمع‌های مس سونگون، میدوک و سرچشمه ارائه شده است.

در بخش اول، ابتدا ملاک‌هایی که باید در انتخاب فرایند باز فرآوری باطله کارخانه فلوتاسیون در نظر گرفته شود، تشریح شده است. در حقیقت این ملاک‌ها توصیف‌کننده مشخصات و خصوصیات باطله است.

در بخش دوم، پس از آن، بر مبنای ملاک‌های ارائه‌شده، مسیر عمومی باز فرآوری باطله شامل بازیابی محتوی فلز و تولید پسماند نهایی و استفاده از پسماند نهایی در صنایع پایین‌دستی مشخص شده است.

در بخش سوم، مسیر تولید باطله در کارخانه فلوتاسیون تشریح شده است و انواع جریان‌های باطله در کارخانه، مشخصات هریک از آن‌ها، ارتباط آن‌ها با یکدیگر و نحوه تشکیل باطله نهایی جاری و سد باطله تبیین شده است.

در بخش چهارم، براساس مطالب بخش سوم (انواع جریان‌های باطله)، سناریوهای موجود برای بازفرآوری باطله ارائه‌شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند و بهترین گزینه پیشنهاد شده است.

۴-۲- ملاک‌های انتخاب فرایند فرآوری مجدد باطله فلوتاسیون

در انتخاب فرایند فرآوری مجدد باطله، باید ملاک‌های مختلفی مانند مشخصات فیزیکی باطله، مشخصات کانی‌شناسی، ترکیب شیمیایی و عناصر موجود، تناژ تولید، فناوری‌های موجود در مقیاس صنعتی و میزان دسترسی به آن‌ها، ملاحظات فنی و در نهایت ارزیابی اقتصادی مد نظر قرار گیرد.

۴-۲-۱- مشخصات فیزیکی باطله فلوتاسیون

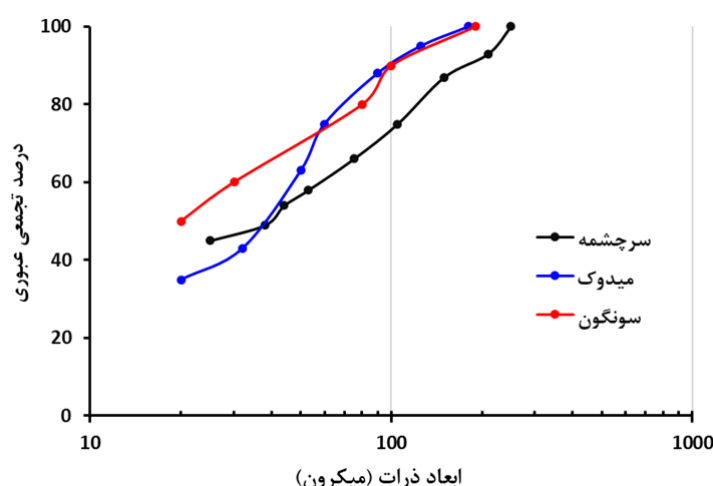
مهم‌ترین مشخصه فیزیکی باطله فلوتاسیون، ابعاد ذرات و توزیع دانه‌بندی آن است. معمولاً در باطله فلوتاسیون ۲ بخش ابعادی درشت، شامل ذرات بزرگ درگیر، و ریزدانه، که ذرات به‌صورت دنباله‌روی به باطله وارد شده است، نمود بیشتری دارد.

شکل (۴-۱) توزیع ابعادی باطله فلوتاسیون در ۳ مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، D80 نمونه بین ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون متغیر است.

البته باید به این نکته توجه شود که این نمودار فقط از یک نمونه باطله و در یک مقطع زمانی تهیه‌شده است و قطعاً طی زمان‌های مختلف شرایط دانه‌بندی باطله تغییر می‌کند.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 132 of 200

براساس نتایج شکل (۴-۱)، ابعاد ذرات باطله فلوتاسیون برای استفاده از آن به عنوان خوراک ورودی فرایندهای فلوتاسیون و تانک لیچینگ یا تانک بیولیچینگ مناسب است. با این حال، به علت ریز بودن ذرات و وجود مقدار زیاد نرمه، امکان استفاده از آن در فرایند هیپ لیچینگ وجود ندارد.



شکل (۴-۱)- نمودار توزیع ابعادی باطله فلوتاسیون در مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون

۴-۲-۲- مشخصات شیمیایی و عیاری باطله فلوتاسیون

براساس نتایج ارائه شده در گزارش فاز سوم پروژه، ترکیب اصلی باطله‌های فلوتاسیون از SiO_2 (حدود ۶۰ درصد)، Al_2O_3 (حدود ۱۴ درصد) و اکسید آهن (حدود ۵ درصد) تشکیل شده است. عیار مس در باطله‌های فلوتاسیون سه مجتمع در بازه‌های زمانی مختلف بین ۰/۳ تا ۰/۹ درصد متغیر است که معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ درصد آن در فاز اکسیدی قرار دارد. البته با گذشت زمان و اتمام ذخایر معادن در ناحیه سوپر ژن و استخراج از ناحیه هیپوژن، عیار مس اکسیدی در باطله نیز کاهش یافته است. براساس مشخصات شیمیایی، از باطله‌های فلوتاسیون می‌توان به عنوان خوراک ورودی برای فرایندهای فلوتاسیون و تانک (بیو) لیچینگ استفاده کرد. البته وجود ناخالصی‌هایی مانند آهن و سیلیسیوم سبب ایجاد چالش‌های جدی در فرایندهای هیدرو متالورژیکی مانند لیچینگ خواهد شد.

وجود سیلیسیوم سبب تشکیل ژل سیلیسی در طی فرایند انحلال شده و در نتیجه فرایندهای جداسازی جامد-مایع (مانند فیلتراسیون) با مشکلات جدی مواجه خواهد شد. همچنین به دلیل ورود مقدار زیادی عناصر ناخالصی مانند آهن و منگنز به محلول لیچینگ، استفاده از فرایندهای خالص سازی و تغلیظ محلول مانند ترسیب و استخراج با حلال (طی چند مرحله) ضروری خواهد بود که سبب پیچیده شدن فرایند و افزایش

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 133 of 200

هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و عملیاتی خواهد شد.

نکته قابل توجه این است که براساس آنالیز ICP باطله‌های فلوتاسیون (که در گزارش فاز سوم ارائه شد)، هیچ کدام از عناصر جانبی موجود در نمونه (مانند وانادیوم یا تیتانیوم) از لحاظ اقتصادی قابل استحصال نیستند که قطعاً بر اقتصاد فرایند تأثیر منفی دارد.

۴-۲-۳- مشخصات کانی‌شناسی باطله فلوتاسیون

براساس نتایج مطالعات کانی‌شناسی ارائه شده در گزارش فاز سوم پروژه، کانی‌های اصلی باطله‌های فلوتاسیون کوارتز، موسکویت و ایلیت هستند. همچنین کانی‌های پیریت، کائولینیت، فلدسپات های پتاسیم و آل بیت نیز کانی‌های فرعی نمونه است.

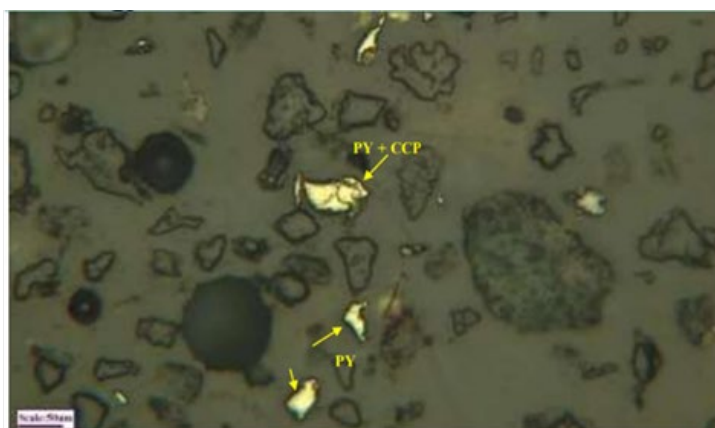
درباره ترکیب کانی‌شناسی باطله مس، و به‌ویژه نوع کانی‌های مس موجود در باطله نهایی، نکته بسیار مهمی که باید مورد توجه قرار گیرد ارتباط بین ابعاد ذرات و نوع هدرروی مس است. برای مثال در مطالعه‌ای که در سال ۱۳۹۹ توسط طهماسبی و همکاران در مورد مدار فلوتاسیون فاز ۱ سونگون انجام شد، نتایج نشان داد که از کل مس موجود در باطله، ۳۰ درصد آن در ذرات درشت‌تر از ۱۰۶ میکرون است که به‌صورت کانی کالکوپیریت درگیر با گانگ سیلیکاته هستند [۱].

به عبارت دیگر، راندمان شناوری ذرات درشت در سلول فلوتاسیون پایین است و این ذرات به علت پایین بودن درجه آزادی و سنگین بودن، به باطله منتقل شده و سبب اتلاف مس می‌شوند. از طرف دیگر، ۴۰ درصد مس موجود در باطله در ذرات ریزتر از ۳۸ میکرون قرار دارند که بخش عمده آن به‌صورت کانی اکسیدی مس و مقدار کمتری به‌صورت کانی سولفیدی هستند که به‌صورت دنباله‌روی جریان آب به باطله منتقل شده‌اند.

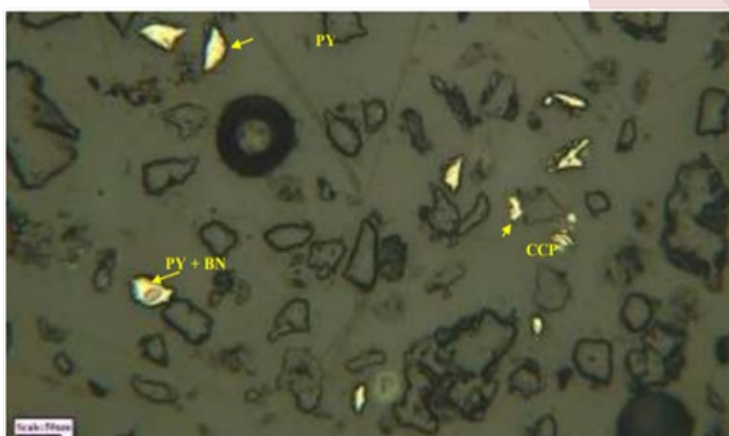
همچنین در یک تحقیق دیگر که توسط رهبری و همکاران [۲] روی باطله اسکونجر مدار فلوتاسیون سونگون انجام شد، مشخص شد که ۹۵ مس موجود در نمونه به‌صورت کانی کالکوپیریت است که این کانی نیز عمدتاً با باطله غیرفلزی سیلیکاته درگیر است. (شکل ۴-۲)

از دیدگاه فلوتاسیون، حضور کانی‌های رسی به‌صورت نرمه و البته حضور کانی‌های سولفیدی مس درشت و درگیر و یا ذرات اکسیدی نرمه بسیار اهمیت دارد. این وضعیت سبب می‌شود تا بازیابی فلوتاسیون به‌شدت تحت تأثیر قرار گیرد و برای مثال رئولوژی پالپ فلوتاسیون در اثر حضور کانی‌های رسی و ورود مقادیر زیادی کاتیون‌های فلزی به پالپ فلوتاسیون متغیر و نامطلوب باشد. [۳-۴].

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 134 of 200



فراوانی و درجه آزادی پیریت در باطله مدار اسکونجر مس - مجتمع مس سونگون (PV پیریت، CCP کالکوپیریت)



کانی‌های سولفیدی در باطله مدار اسکونجر مس - مجتمع مس سونگون (PV پیریت، CCP کالکوپیریت، BN بورنیت)

شکل (۲-۴) - مطالعات کانی‌شناسی بر روی باطله مدار اسکونجر مجتمع مس سونگون [۲]

مطالعات جرجانی و همکاران در سال ۲۰۱۱ نشان داد که حضور کانی‌های آلومینوسیلیکات مانند موسکویت و ورمیکولیت تأثیر منفی بر راندمان مدار فلوتاسیون مجتمع مس سرچشمه دارد. [۳]. براساس بررسی‌های آن‌ها، برای آزادسازی کانی‌های مس از کانی‌های آلومینوسیلیکات، خردایش بیشتر کانسنگ از ۵۳ میکرون به ۳۸ میکرون نیاز است. [۴] به همین دلیل، استفاده از سلول‌های فلوتاسیون توسعه‌یافته برای فراوری مجدد باطله که شرایط مناسب‌تری برای تفرد ذرات فراهم نموده و از لحاظ هیدرودینامیکی کارایی بالاتری دارد، ضروری است. همچنین، شناورسازی ذرات کانی‌های اکسیدی مس با ابعاد زیر ۳۰ میکرون بسیار چالشی و سخت خواهد بود.

از دیدگاه هیدرو متالورژیکی و لیچینگ، انحلال کانی‌های سولفیدی مس به‌ویژه کالکوپیریت در شرایط معمولی

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 135 of 200

دما و فشار اتمسفری امکان پذیر نیست. به همین دلیل استفاده از لیچینگ تحت فشار و یا بیولیچینگ ضروری است. اگرچه، به دلیل پایین بودن عیار مس، امکان اقتصادی بودن فرایند وجود ندارد. به علاوه، وجود کانی های رسی دو چالش اساسی در فرایند لیچینگ ایجاد خواهد کرد که عبارت است از: قابلیت فیلتراسیون بسیار ضعیف و مشکلات عملیاتی جدی به دلیل وجود ذرات ریزدانه و تشکیل ژل سیلیسی و جذب سطحی مس حل شده بر روی ذرات رسی که سبب کاهش راندمان انحلال خواهد شد.

۴-۲-۴- تناژ تولید باطله فلوتاسیون

جدول (۴-۱) نرخ تولید باطله فلوتاسیون و میزان مواد موجود در سد باطله در سه مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون را نشان می دهد. همان گونه ملاحظه می شود، سالیانه حدود ۴۸ میلیون تن باطله فلوتاسیون تولید می شود. همچنین، مجموعاً حدود ۹۰۰ میلیون تن باطله فلوتاسیون در سد باطله ها موجود است که با در نظر گرفتن عیار متوسط ۰/۸ درصد، محتوی مس آن در حدود ۷ تن برآورد می شود. با در نظر گرفتن ضریب بازیابی ۵۰ درصد و قیمت مس کاند ۸۰۰۰ دلار، ارزشی حدود ۳۰ میلیارد دلار محاسبه می شود.

جدول (۴-۱) - نرخ تولید باطله فلوتاسیون و میزان مواد موجود در سد باطله در سه مجتمع مس سرچشمه، میدوک و سونگون

نام مجتمع	نرخ تولید باطله (میلیون تن در سال)	موجودی سد باطله (میلیون تن)	محتوی مس (هزار تن)	محتوی مولیبدن (هزار تن)
سرچشمه	۳۰	۶۰۰	۴۸۰	۳۰
میدوک	۷	۱۲۰	۹۶	غیراقتصادی
سونگون	۱۱	۱۶۰	۱۲۸	۶
مجموع	۴۸	۸۸۰	۷۰۴	۲۶

۴-۳-۴- فلوجارت کلی فراوری مجدد باطله فلوتاسیون

۴-۳-۱- مسیر عمومی

بر مبنای مطالب ارائه شده در گزارش های دوم و سوم و بخش ابتدایی این گزارش، فراوری باطله فلوتاسیون باید در ۳ بخش صورت گیرد:

- کانه آریبی: شامل خردایش باطله و افزایش درجه آزادی - فلوتاسیون (یا فلوکولاسیون-فلوتاسیون)

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 136 of 200

راندمن کارخانه فلوتاسیون همواره کمتر از ۱۰۰ درصد است و از این رو بخشی از کانی‌های باارزش به باطله راه یافته است. بنابراین، ایده استفاده مجدد از باطله همواره در قدم اول شامل باز فرآوری آن و استحصال باقیمانده کانی‌های باارزش (رمق‌گیری) و تولید پسماندی است که دیگر از لحاظ محتوی فلز ارزشی نداشته باشد. از این رو در مسیر عمومی استفاده مجدد از باطله، ابتدا به روش فلوتاسیون کنسانتره مس (یا مس و مولیبدن) تولید شده و سپس باطله حاصل وارد مدار فلوتاسیون پیریت می‌شود تا پیریت بازیابی شده و کنسانتره پیریتی نیز تولید شود. باطله سیلیکاتی نیز خروجی دیگر این مرحله خواهد بود. سانتاندر و همکارش در سال ۲۰۱۹ فلوتاسیون پیریت از باطله مس را مطالعه کردند. [۵] این مطالعه در مقیاس آزمایشگاهی و صنعتی انجام شد. مدار طراحی شده شامل مراحل رافر، اسکونجر، کلینر و ری کلینر بود. ۷۰ درصد پیریت از باطله مس بازیابی شد و کنسانتره‌ای با عیار پیریت ۹۰ درصد تولید شد.

• استفاده مجدد از باطله پیریتی

کنسانتره پیریتی حاصل از فرایند فلوتاسیون را می‌توان در دو فرایند استفاده کرد:

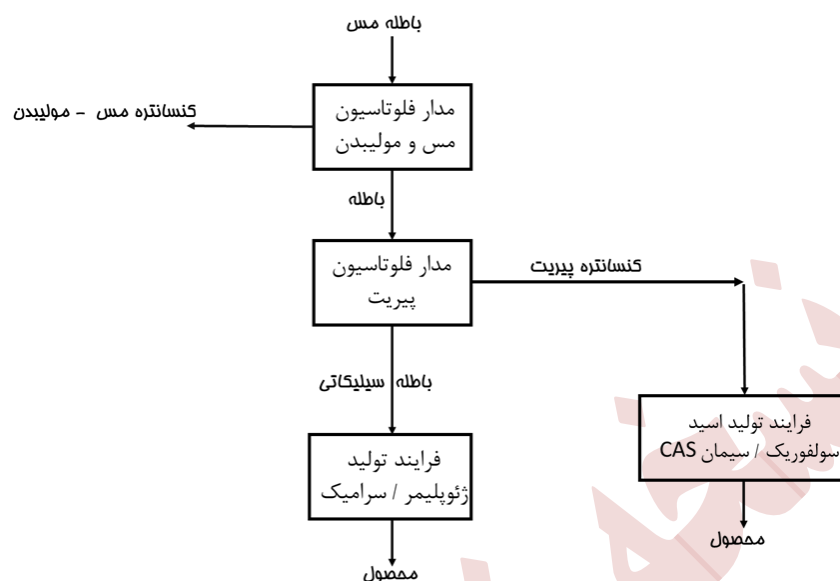
اول فرایند تولید اسیدسولفوریک شامل تشویه پیریت و تولید گازهای حاوی سولفور و تبدیل آن به اسید دوم تولید سیمان سولفوآلومینات (CAS).

• بازیابی پسماند

باطله سیلیکاتی خروجی از مرحله اول به‌عنوان ماده اولیه در فرایند تولید سیمان پلیمری و یا سرامیک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شکل (۳-۴) مسیر عمومی پیشنهادی برای استفاده مجدد از باطله فلوتاسیون را نشان می‌دهد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 137 of 200

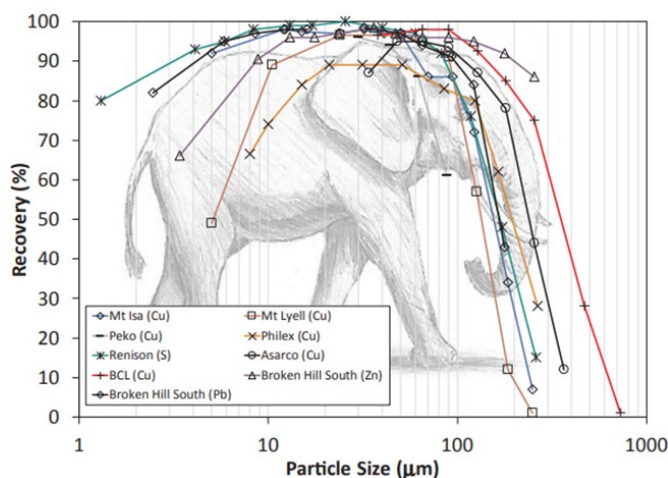


شکل (۴-۳)- مسیر عمومی پیشنهادی برای استفاده مجدد از باطله‌های فلوتاسیون

۴-۳-۲- ملاحظات فنی در استفاده از روش فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله - استفاده از فناوری‌های جدید

مدارهای رایج فلوتاسیون کانه‌های مس بر مبنای خردایش مواد تا محدوده‌ای از ابعاد است (۱۵ تا ۱۵۰ میکرون) که سلول‌های معمول فلوتاسیون برای آن‌ها کارایی مناسب دارد. در عملیات صنعتی، ذرات خارج از این محدوده معمولاً به دلایلی، مانند دنباله‌روی آب، از دست رفته و وارد باطله می‌شود. نمودار معروف به منحنی فیل^۱ محدوده بهینه برای فلوتاسیون را نشان می‌دهد. (شکل ۴-۴).

¹ Elephant Curve



شکل (۴-۴) - رابطه بین بازیابی فلوتاسیون با ابعاد ذرات در مدارهای مختلف فلوتاسیون

براساس مشخصات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی باطله فلوتاسیون، بهترین روش برای بخش کانه‌آرایی فناوری فلوتاسیون است. با این حال، پیچیده بودن خصوصیات باطله فلوتاسیون مانند وجود مقادیر زیادی مواد نرمه رسی، سبب شده است تا استفاده از تجهیزات رایج فلوتاسیون از راندمان مناسب برای فراوری مجدد باطله برخوردار نباشد و شرکت‌های پیشرو در ساخت تجهیزات کانه‌آرایی توسعه ماشین‌آلات جدید با قابلیت‌های بالاتر برای فراوری باطله را در برنامه خود قرار دهند. در ادامه به مهم‌ترین موارد یافت‌شده در این زمینه پرداخته می‌شود.

۴-۳-۲-۱- سلول فلوتاسیون HydroFloat ساخت شرکت اریتز^۱

شرکت اریتز یک شرکت فعال در زمینه ساخت تجهیزات کانه‌آرایی مانند سلول فلوتاسیون و جداکننده مغناطیسی است. دفتر مرکزی شرکت در ایالت پنسیلوانیای آمریکا قرار دارد ولی این شرکت در کشورهای مختلف جهان از جمله در هندوستان، آفریقای جنوبی و چین نمایندگی فعال دارد که مسیر همکاری با این شرکت را هموار می‌کند. [۶]

شرکت اریتز در سال ۲۰۰۰ سلول فلوتاسیون به نام HydroFloat را توسعه داده است. این سلول قابلیت شناورسازی ذراتی با ابعاد تا ۱۵۰ میکرون را داراست و به همین دلیل برای فلوتاسیون باطله‌های درشت‌دانه مس و آهن کارایی دارد. در سلول فلوتاسیون HydroFloat بهبود شناورسازی ذرات درشت با روش‌های زیر حاصل شده است:

- افزایش نرخ برخورد ذره-حباب

¹ Eriez

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 139 of 200

- افزایش زمان تماس ذره-حباب

- افزایش زمان ماند

- کاهش اختلاط

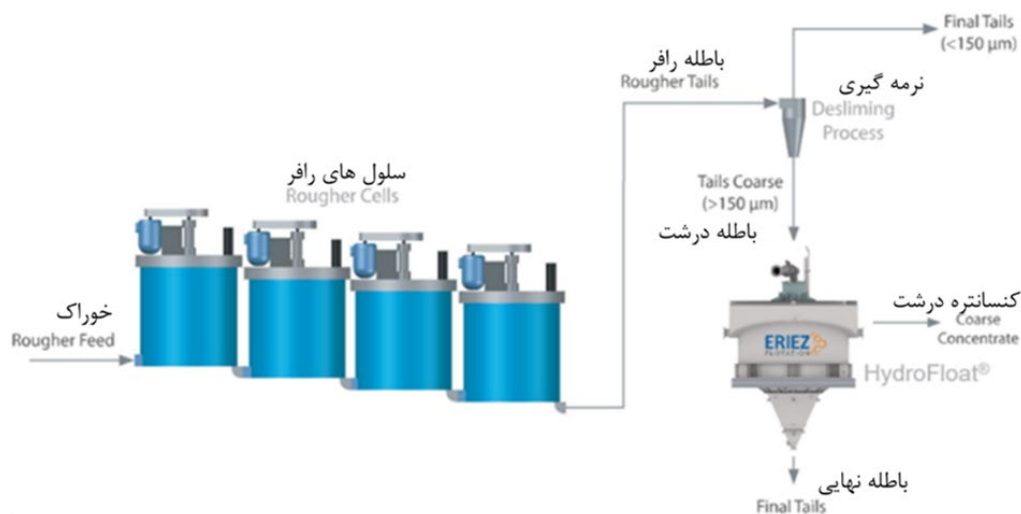
- کاهش میزان آشفته‌گی سلول و جدایش حباب-ذره

- کاهش محدودیت‌های مربوط به نیروهای داخل سیال

در حقیقت سلول HydroFloat ترکیبی از جدایش بسترسیال و فلوتاسیون معمولی است که توانسته است فلوتاسیون ذرات درشت را بهبود بخشد. شکل (۴-۵) نمای کلی سلول فلوتاسیون شرکت اریتر را نشان می‌دهد. یکی از مهم‌ترین کاربردهای سلول فلوتاسیون HydroFloat بازیابی مجدد (رمق‌گیری) از باطله مدارهای فلوتاسیون است. در این حالت، باطله خروجی از مدار معمول فلوتاسیون وارد سلول HydroFloat می‌شود. داخل این سلول، کانی‌های بارزش نیمه درگیر و یا کانی‌های بارزش درشت که به بخش باطله راه‌یافته‌اند شناور شده و از مسیر باطله خارج می‌شود که این امر سبب بهبود بازیابی کلی مدار فلوتاسیون بین ۲ تا ۶ درصد می‌شود. (شکل ۴-۶).



شکل (۴-۵) - نمای کلی سلول فلوتاسیون HydroFloat ساخت شرکت اریتر



شکل (۴-۶) - استفاده از سلول فلوتاسیون HydroFloat در مدار فلوتاسیون برای بازیابی ذرات درشت باطله همچنین، با توجه به قابلیت این سلول برای فلوتاسیون ذرات درشت، امکان افزایش ابعاد ذرات در خروجی مدار آسیاکنی و در نتیجه کاهش هزینه‌های عملیاتی وجود دارد. مزایای استفاده از سلول HydroFloat شرکت اریتز عبارت است از [۶-۷]:

- افزایش سوددهی کارخانه فلوتاسیون:

- افزایش ظرفیت ورودی کارخانه به میزان ۱۰ تا ۳۵ درصد بدون نیاز به تغییر در مدار خردایش
- افزایش میزان بازیابی کلی مس در مدار به میزان ۲ تا ۶ درصد
- کاهش هزینه‌های عملیاتی به میزان ۱۰ درصد
- فراهم آوردن امکان فراوری کانسنگ‌های سخت و کم‌عیار در ابعاد درشت
- افزایش سازگاری زیست‌محیطی:

- افزایش میزان بازیافت آب تا ۸۵ درصد و بهبود عملکرد سیستم آبگیری
- کاهش میزان مصرف انرژی از ۱۰ تا ۲۰ درصد
- افزایش ابعاد ذرات باطله نهایی که سبب بهبود سیستم حمل و دفع باطله می‌شود.
- بهبود پارامترهای اقتصادی فرایند:

- کاهش هزینه‌های عملیاتی تا ۱۰ درصد
- افزایش NPV پروژه از ۲۰ تا ۴۰ درصد با افزایش تنها ۵ تا ۱۰ درصدی در هزینه سرمایه‌گذاری برای خرید سلول‌های جدید

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 141 of 200

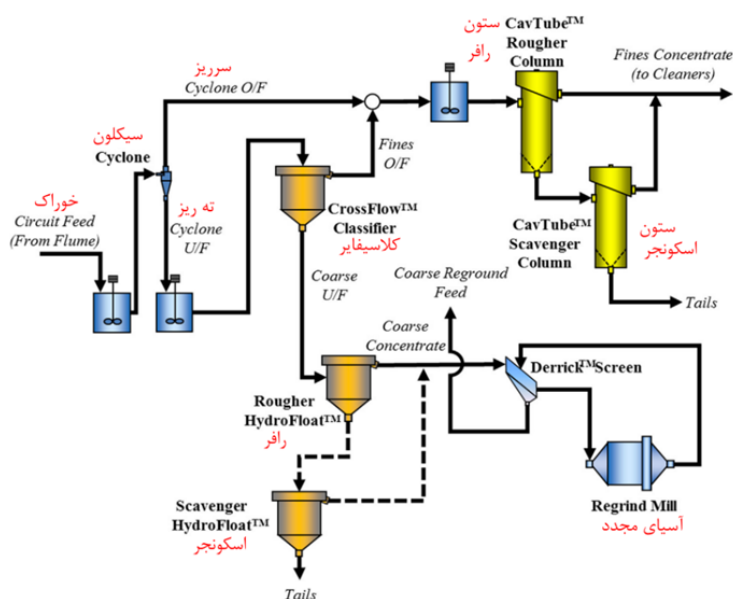
کاهش استفاده از تجهیزات معمول فلوتاسیون به میزان ۴۰ درصد

• بهبود عملکرد متالورژیکی مدار:

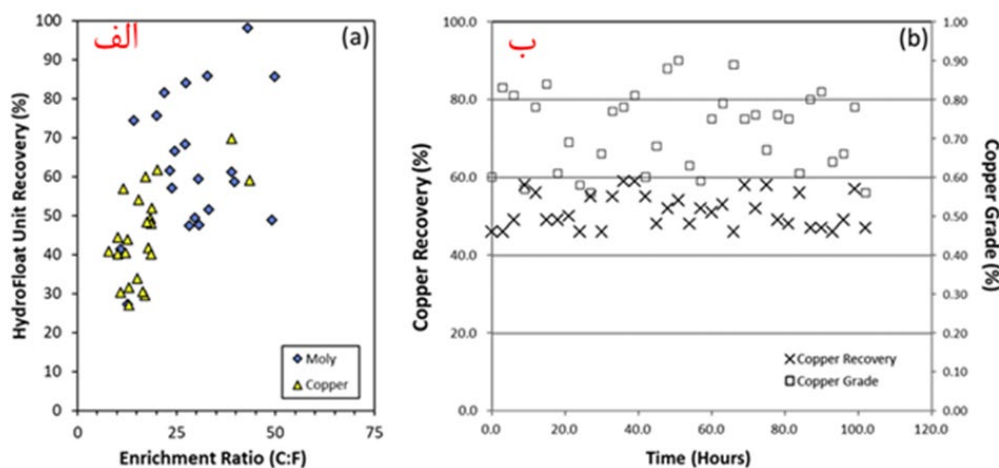
افزایش بازیابی مس به میزان ۲ تا ۶ درصد

حذف ۳۰ تا ۴۰ درصد از باطله در مراحل ابتدایی فرایند و در ابعاد درشت که سبب بهبود زمان ماند در مدار فلوتاسیون می شود.

فراوری کانسنگ های سخت و کم عیار در ابعاد درشت سبب افزایش ظرفیت کارخانه و سوددهی می شود. در یک پروژه، استفاده از سلول HydroFloat برای فلوتاسیون باطله های مدار فراوری مس در آمریکای جنوبی مورد بررسی قرار گرفت. این پروژه در مقیاس پایلوت با ظرفیت ۵ t/h انجام شد. شکل (۴-۷) مدار پایلوت را نشان می دهد. در این مدار ابتدا پالپ خوراک به داخل یک سیکلون به قطر ۲۵۰ mm وارد شد. ته ریز سیکلون وارد یک کلاسیفایر به مساحت ۰/۵ m² شد. سرریز سیکلون به همراه سرریز کلاسیفایر وارد سلول های فلوتاسیون ستونی به قطر ۰/۵ m و ارتفاع ۳ m شدند. ته ریز کلاسیفایر (بخش درشت دانه) وارد یک جفت سلول فلوتاسیون HydroFloat به قطر ۰/۳ m شد. کنسانتره حاصل از سلول فلوتاسیون HydroFloat توسط آسیای گلوله ای مجدداً خردایش شده و وارد سلول های فلوتاسیون کلینر شد. نتایج حاصل از آزمایش پایلوت در شکل (۴-۸) ارائه شده است. براساس نتایج، درحالی که حدود ۶۰ درصد مس محتوی خوراک وارد ته ریز کلاسیفایر (ذرات درشت) شده بود، ۳۵/۸ درصد کل مس در یک مرحله فلوتاسیون توسط HydroFloat بازیابی شد.



شکل (۴-۷) - مدار پابلوت با استفاده از سلول HydroFloat برای فلوتاسیون مجدد باطله مس [۷]



شکل (۴-۸) - نتایج آزمایش پابلوت با استفاده از سلول HydroFloat برای فلوتاسیون مجدد باطله مس

الف) بازیابی مس در ذرات درشت در سلول HydroFloat و ب) بازیابی در آزمایش پیوسته در زمان‌های مختلف [۷]

• مدل و ظرفیت سلول HydroFloat

سلول‌های HydroFloat ساخت شرکت اریتر در بیش از ۷۰ کارخانه فلوتاسیون در استرالیا، آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی و آفریقای جنوبی نصب شده‌اند. جدول (۴-۲) انواع مدل‌های سلول فلوتاسیون HydroFloat و ظرفیت آن‌ها را نشان می‌دهد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 143 of 200

جدول (۴-۲) - انواع مدل های سلول فلوتاسیون HydroFloat و ظرفیت آنها

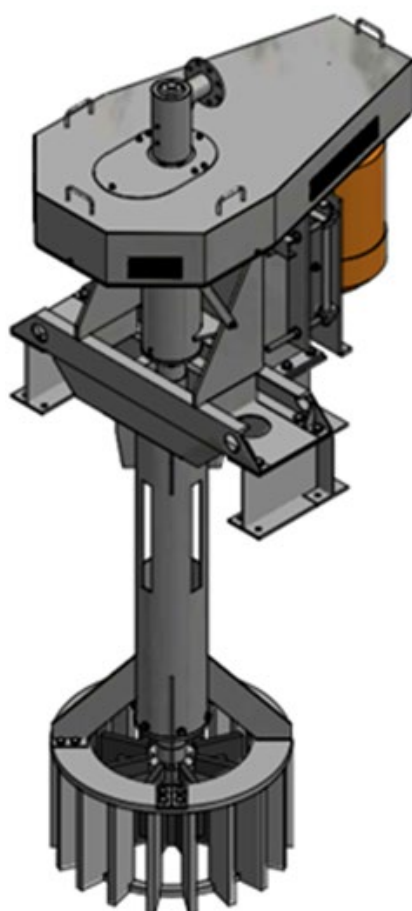
مدل	قطر داخلی مخزن (میلی متر)	ظرفیت ورودی (تن بر ساعت)
40-CPF	۱۸۰۰	۴۰
70-CPF	۲۴۰۰	۷۰
100-CPF	۳۰۵۰	۱۰۰
130-CPF	۳۳۰۰	۱۳۰
150-CPF	۳۶۵۰	۱۵۰
200-CPF	۴۲۵۰	۲۰۰
300-CPF	۵۰۰۰	۳۰۰

۴-۲-۳-۲- سلول فلوتاسیون TT'S HIGH ENERGY ساخت شرکت ماینسر^۱

شرکت ماینسر یک شرکت فعال در زمینه ساخت کارخانه های فراوری مواد معدنی و فلوتاسیون است. دفتر مرکزی شرکت در شهر دوسلدورف کشور آلمان قرار دارد. [۵].

شرکت ماینسر یک سلول فلوتاسیون به نام TT'S High Energy را توسعه داده است که برای فلوتاسیون ذرات نرمه و همچنین شناورسازی ذرات درشت که با سلول های فلوتاسیون رایج قابل بازیابی نیست، مناسب است. در این سلول، یک سیستم تزریق هوا به نحوی عمل می کند که حباب های هوای بسیار ریز تشکیل شده و در نتیجه امکان برخورد مناسب ذره-حباب فراهم شده و راندمان فلوتاسیون افزایش یابد. شکل (۴-۹) سلول فلوتاسیون TT'S High Energy ساخت شرکت ماینسر را نشان می دهد.

¹ Mineser



شکل (۴-۹) - فلوتاسیون TT'S High Energy ساخت شرکت ماینسر آلمان [۸]

۴-۳-۲-۳- سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت اف-ال-اشمیت^۱

اف-ال-اشمیت، یک شرکت مهم فعال در زمینه معدن و تجهیزات معدنی است. دفتر مرکزی این شرکت در کپنهاگ دانمارک واقع است، اما فعالیت‌های آن در سراسر جهان گسترش دارد. به‌طوری که هم‌اکنون بیش از ۱۱۰۰۰ نفر برای این شرکت کار می‌کنند. [۶]

سلول فلوتاسیون REFLUX دارای ظرفیتی بسیار بیشتر از سلول‌های فلوتاسیون رایج است. مکانیسم کار آن طوری است که با بهبود هیدرودینامیک فلوتاسیون امکان فلوتاسیون محدوده وسیعی از ذرات (۷ تا ۱۰ برابر

¹ FL-SMIDTH

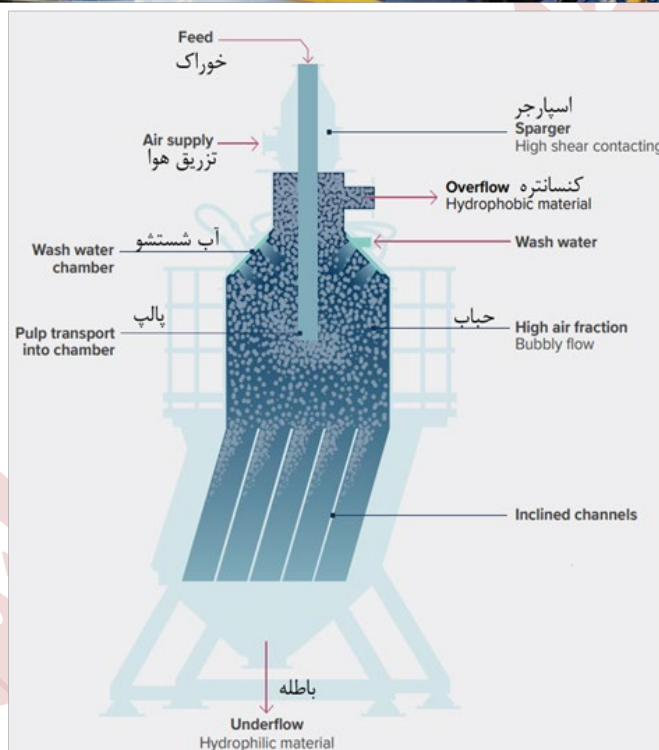
 شرکت مهندسی و توسعه صنایع ملی ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 145 of 200

بیشتر از محدوده سلول‌های فلوتاسیون معمولی) فراهم شده است. شکل (۴-۱۰) تصویر سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت FLSmidth و شکل (۴-۱۱) نحوه عملکرد آن را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۰)- تصویر سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت FLSmidth

یکی از مهم‌ترین کاربردهای این سلول باز فرآوری باطله‌های معدنی در مدارهای فراوری مس، مولیبدن، طلا و آهن است. این سلول برای موادی با محدوده ابعادی بسیار ریز (کمتر از ۴۵ میکرون) تا بسیار درشت (تا ۲ میلی‌متر) استفاده شده است. براساس اطلاعات ارائه شده در وبسایت شرکت FLSmidth امکان ارسال نمونه و انجام تست‌های آزمایشگاهی و پایلوت در این شرکت وجود دارد.



شکل (۴-۱) - نحوه عملکرد سلول فلوتاسیون REFLUX ساخت شرکت FLSmidth

۴-۳-۲-۴ - سلول فلوتاسیون NovaCell ساخت شرکت جرد^۱ در استرالیا

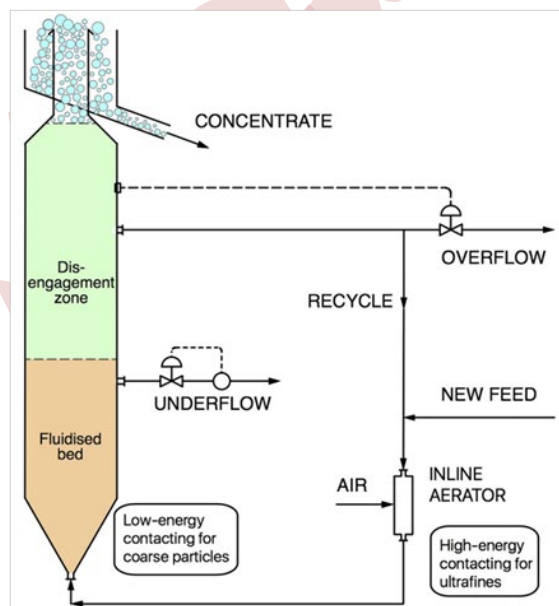
شرکت جرد یک شرکت مهم فعال در زمینه معدن و تجهیزات معدنی در استرالیا است. این شرکت سلول فلوتاسیون نسل جدید با عنوان NovaCell را به بازار ارائه کرده است که نسبت به ماشین‌های فلوتاسیون رایج

¹ Jord International Pty Ltd

 شرکت مهندسی و توسعه صنایع فلزی ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 147 of 200

قابلیت بالاتری برای فراوری مواد با محدوده ابعادی وسیع از ذرات ریز تا ذرات درشت را دارد. [۱۰-۱۱]. شکل (۱۲-۴) سلول NovaCell و شماتیک عملیاتی آن را نشان می‌دهد. مشخصات فنی این دستگاه عبارت است از:

- ظرفیت ۶۰-۱۰۰۰ تن بر ساعت جامد خشک
- دانه‌بندی خوراک ورودی: ۵ - ۸۰۰ میکرون
- چگالی پالپ ورودی: ۲۵ - ۴۰ درصد
- نسبت هوادهی به پالپ: ۱/۲ - ۰/۶



شکل (۱۲-۴) - نحوه عملکرد سلول فلوتاسیون NovaCell ساخت شرکت Jord، استرالیا [۱۰-۱۱]

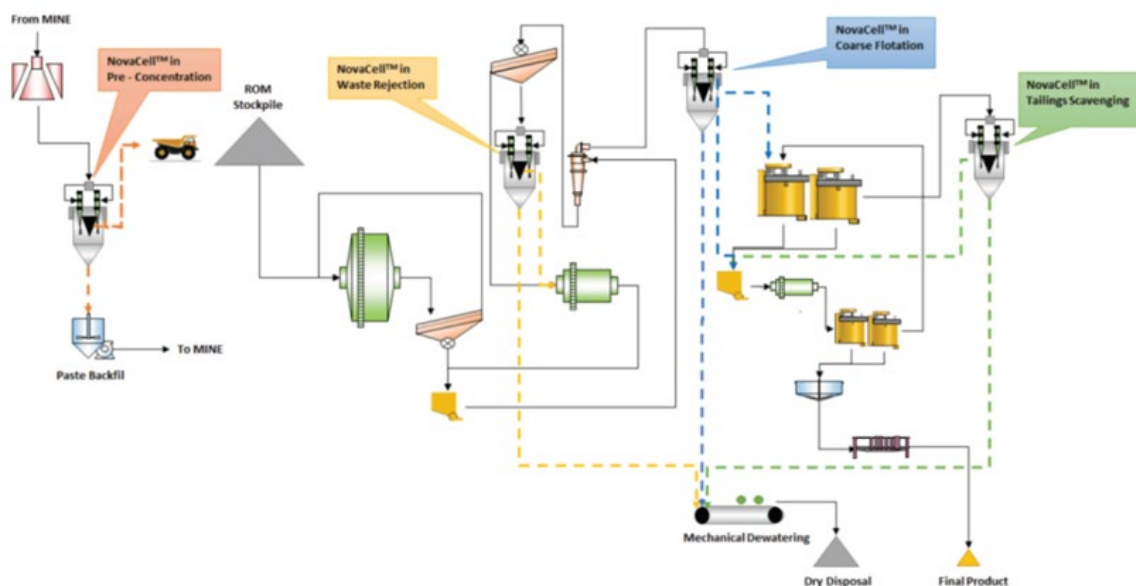
کاربردهای این دستگاه عبارت است از:

- پیش تغلیظ و حذف باطله: از این دستگاه می‌توان در مرحله اولیه فراوری جهت حذف بخشی از مواد به‌عنوان باطله استفاده کرد. بدین ترتیب با فراوری مواد در ابعاد نسبتاً درشت، بخشی از بار به‌عنوان باطله از مدار خارج‌شده و ورودی به مرحله آسیاکنی کاهش‌یافته و سبب کاهش مصرف انرژی و افزایش ظرفیت مدار آسیاکنی می‌شود.

- فلوتاسیون ذرات درشت: از این تجهیز می‌توان برای فلوتاسیون ذرات درشت در مرحله رافر استفاده کرد. این کار سبب کاهش میزان خردایش موردنیاز و در نتیجه کاهش انرژی مصرفی می‌شود. (شکل

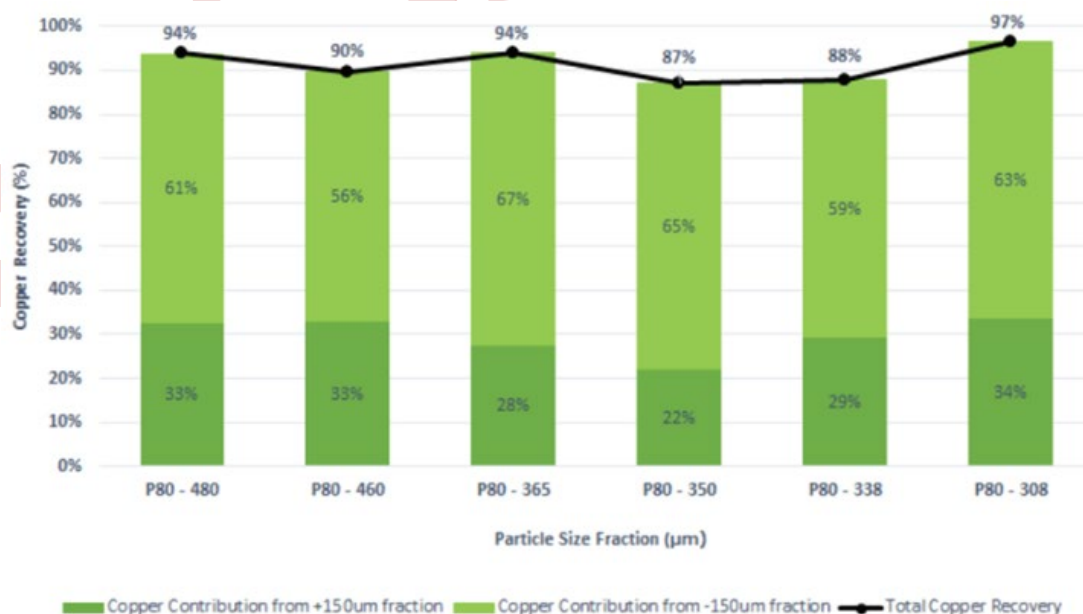
(۱۳-۴)

- از سلول NovaCell برای رمق‌گیری باطله استفاده می‌شود. (شکل ۴-۱۳). این کار به‌ویژه در کاهش تلفات فلز بارزش به سد باطله بسیار مؤثر است.



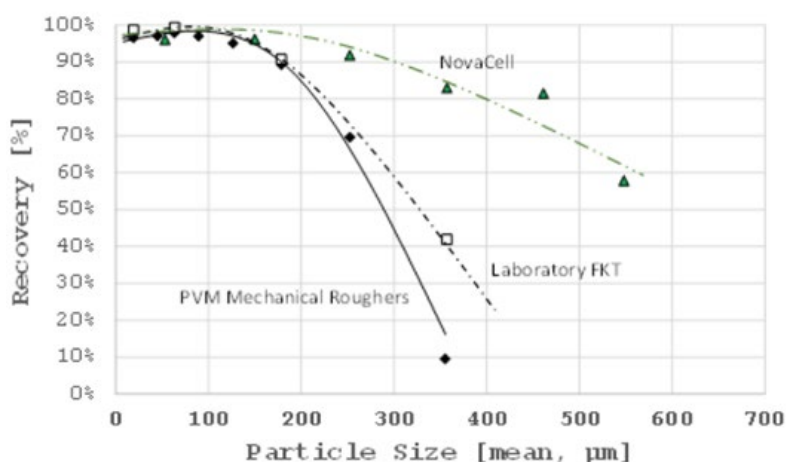
شکل (۴-۱۳)- استفاده از سلول فلوتاسیون NovaCell در فلوتاسیون ذرات درشت و یا رمق‌گیری باطله [۱۰]

شکل (۴-۱۴) میزان بازیابی مس در فلوتاسیون مواد با ابعاد مختلف با استفاده از سلول فلوتاسیون NovaCell را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بازیابی مس در محدوده ۹۷ - ۸۷ درصد حاصل شده است.



شکل (۴-۱۴) - درصد بازیابی مس از ذرات با ابعاد مختلف در سلول فلوتاسیون NovaCell [۱۰]

شکل (۴-۱۵) مقایسه کارایی سلول فلوتاسیون NovaCell با سلول‌های مکانیکی رایج برای بازیابی کالکوپریت از خوراکی با ابعاد مختلف را ارائه می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، کارایی سلول NovaCell به‌خصوص در ابعاد درشت، بهتر از کارایی سلول‌های معمول است.



شکل (۴-۱۵) - مقایسه بازیابی کالکوپریت از ذرات با ابعاد مختلف با سلول فلوتاسیون NovaCell و سلول مکانیکی [۱۰]

۴-۳-۵- شاخص انتخاب فناوری فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله‌ها

با توجه به مطالب ذکر شده، استفاده از تجهیزات جدید توسعه‌یافته مانند ماشین‌های جدید فلوتاسیون برای مدار فراوری مجدد ضروری خواهد بود. در این راستا، پیشنهاد می‌شود پس از انجام عملیات نمونه‌برداری دقیق و اصولی از باطله، نمونه‌های معرف برای انجام آزمایش‌های فراوری مجدد به شرکت‌های پیشرو ارسال شود. فهرست شرکت‌های پیشنهادی برای ارسال نمونه در جدول (۴-۳) ارائه شده است. همان‌گونه که پیش‌تر به تفصیل شرح داده شد، این شرکت‌ها تجربه‌های بسیار خوبی در زمینه فراوری مجدد باطله و توسعه ماشین‌های جدید فلوتاسیون برای باطله‌ها به‌ویژه در ابعاد درشت و ریز دارد. لازم به ذکر است، شرکت‌های ذکر شده در جدول (۴-۳) در سایر کشورها مانند آفریقای جنوبی نیز نمایندگی دارند و امکان ارتباط با آن‌ها وجود دارد.

جدول (۴-۳) - فهرست شرکت‌های پیشنهادی برای ارسال نمونه باطله و انجام آزمایش‌های فراوری مجدد

مشخصات تماس	کشور	خدمات قابل ارائه	نام شرکت
Phone: +56 2 29523400 Email: efdel@eriez.com	شیلی	آزمون‌های آزمایشگاهی و پابلوت	ERIEZ
Phone: +61 731212900	استرالیا	آزمون‌های آزمایشگاهی و پابلوت	FLSmidth Pty Limited

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 150 of 200

Email: info.australia@flsmidth.com

BGRIMM Technology Group

آزمون‌های آزمایشگاهی و پابلوت

چین

Phone: +86 1063299888

Email: DIB@bgrimm.com

Jord International Pty Ltd

آزمون‌های آزمایشگاهی و پابلوت

استرالیا

Phone: +61 2 8425 1500

E-mail: sydney@jord.com.au

اگرچه استفاده از فناوری‌های جدید سبب بهبود کارایی عملیات فلوتاسیون مجدد باطله‌ها می‌شود، بااین‌حال تصمیم‌گیری نهایی باید بر مبنای معیارهای مختلف فنی، اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و زیست‌محیطی صورت گیرد. نکته بسیار مهم این است که اساساً، در مبحث فلوتاسیون، منظور از فناوری جدید، ماشین‌آلات و تجهیزات توسعه یافته است که بر ساختار مکانیکی و عملیاتی آن‌ها با هدف بهبود کارایی جدایش توسعه داده شده و قابلیت آن‌ها برای عمل‌آوری مواد پیچیده (از نظر کانی‌شناسی، ابعاد ذرات و...) بهبود یافته است.

جدول (۴-۴) مهم‌ترین معیارهایی که باید برای انتخاب تجهیزات مناسب برای فلوتاسیون مجدد باطله در نظر گرفت را نشان می‌دهد. با توجه به اهمیت پارامترها وزن‌دهی صورت گرفته و سپس برای هر شرکت امتیازی بر مبنای سوابق شرکت، محل فعالیت و اطلاعات در دسترس در مورد محصولات ارائه شده در نظر گرفته شد.

همان‌گونه که در جدول (۴-۴) مشاهده می‌شود، اگرچه استفاده از فناوری‌های رایج و ماشین‌آلات مرسوم سهل‌الوصول‌تر و ساده‌تر است. بااین‌حال ریسک موفقیت طرح و دستیابی به موفقیت اقتصادی نسبتاً پایین است و از این رو استفاده از فناوری‌های پیشرفته‌تر مانند تجهیزات شرکت FLSmidth منطقی‌تر به نظر می‌رسد. بااین‌حال، با در نظر گرفتن شرایط سیاسی و اقتصادی کشور ایران، امکان دسترسی به این شرکت‌ها باید دقیق‌تر بررسی شود.

جدول (۴-۴) - معیارهای انتخاب فناوری‌های ارائه شده توسط شرکت‌های مختلف

امتیاز از ۱۰					
ماشین‌های FLSmidth استرالیا	ماشین‌های NovaCell استرالیا	ماشین‌های Ereiz آلمان	ماشین‌های BGIRMM چین	ماشین‌های معمول فلوتاسیون	معیار (وزن)
۱۰	۶	۶	۴	۸	سابقه شرکت (۵)
۴	۴	۶	۸	۷	دسترسی و ارتباط (۶)
۸	۸	۶	۴	۳	ریسک موفقیت (۴)
۵	۵	۵	۷	۸	هزینه سرمایه‌گذاری (۸)
۹	۸	۹	۷	۵	هزینه عملیاتی (۷)

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 151 of 200

درصد بازیابی (۱۰)	۴	۶	۸	۷	۸
مصرف آب (۳)	۴	۶	۹	۷	۸
مصرف برق (۳)	۴	۶	۷	۷	۷
مقیاس پذیری (۴)	۸	۳	۶	۵	۷
تجربه داخلی (۳)	۱۰	۲	۱	۱	۲
سهولت پیاده سازی (۳)	۸	۲	۴	۳	۴
مجموع	۳۴۳	۳۰۹	۳۶۰	۳۲۶	۳۸۰

۴-۴- مسير توليد باطله در کارخانه فلوتاسیون مس (انواع جریان باطله، انواع باطله)

در این پروژه، یکی از نکات مهم تفکیک بین ۳ مورد زیر است:

۴-۴-۱- جریان های باطله مدار کارخانه (برای مثال جریان باطله خروجی از مدار رافر یا جریان

باطله خروجی از مدار کلینر)

در هر کارخانه فلوتاسیون، چندین جریان باطله از بخش های مختلف مدار وارد تیکنر نهایی باطله می شود. این جریان های مختلف باطله از نظر تناژ، توزیع ابعادی ذرات، ترکیب شیمیایی، کانی شناسی و نحوه درگیری کانی ها و درجه آزادی با یکدیگر متفاوت است.

۴-۴-۲- جریان باطله نهایی خروجی کارخانه (به عنوان باطله جاری کارخانه)

جریان های مختلف باطله در تیکنر نهایی باطله جمع شده و باطله نهایی خروجی را تشکیل می دهد. منظور از باطله جاری، باطله ای است که هم اکنون در خط مدارهای فلوتاسیون مجتمع های مس در حال تولید است. برای مثال، در مجتمع مس سونگون، روزانه حدود ۴۰ هزار تن باطله (فاز ۱ و ۲) تولید و از ته ریز تیکنر نهایی وارد سد باطله می شود.

۴-۴-۳- باطله موجود در سد باطله

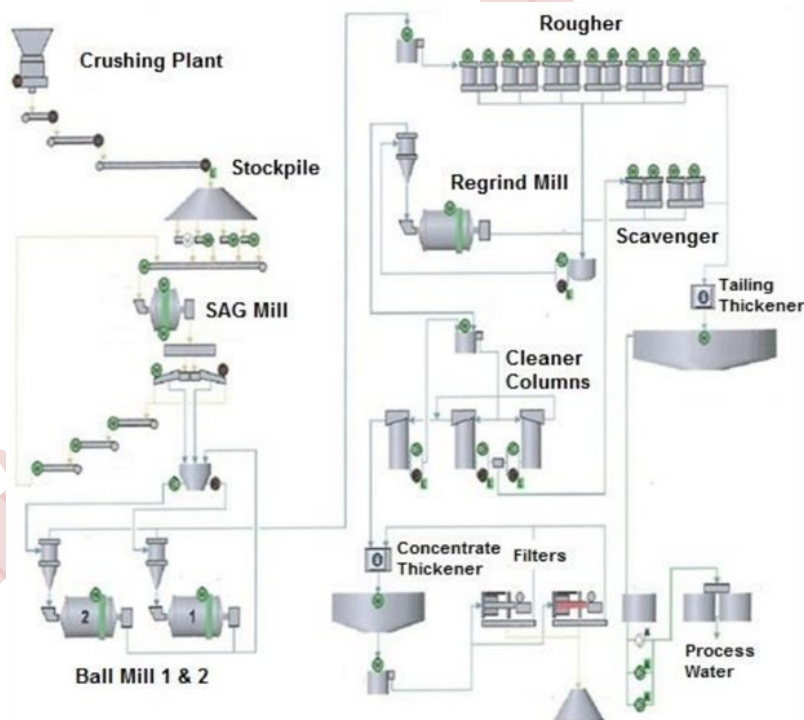
باطله سد، موادی است که از شروع فعالیت کارخانه در محل سد باطله تجمع یافته است. برای مثال، در سد باطله فلوتاسیون سرچشمه در حدود ۶۰۰ میلیون تن مواد دپو شده است.

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 152 of 200

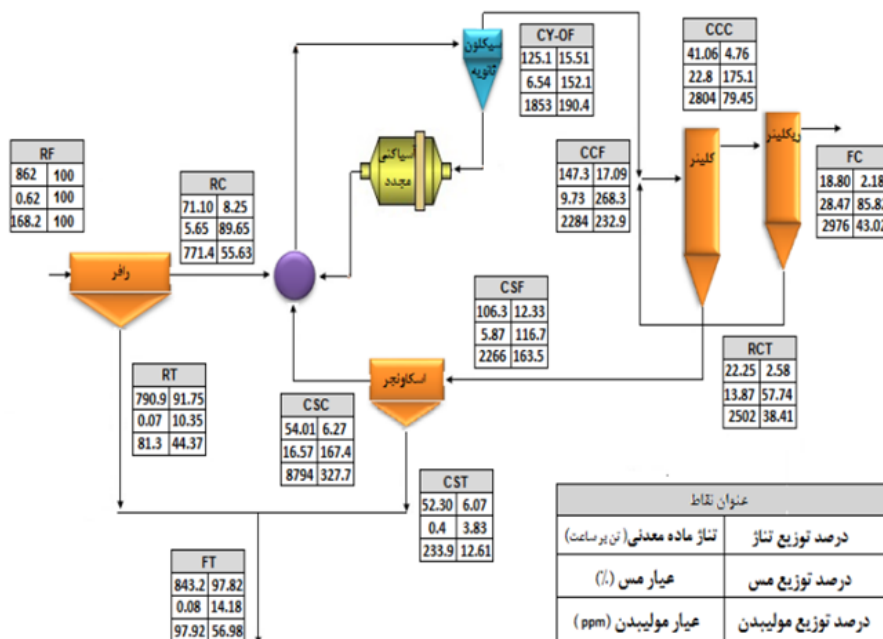
بدیهی است، مشخصات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی باطله نهایی جاری تابع مشخصات جریان‌های مختلف مدار فلوتاسیون (شامل باطله رافر و باطله کلینر) است. همچنین مشخصات باطله تجمع یافته در سد نیز تابع تغییرات مشخصات باطله جاری در طول زمان خواهد بود.

برای مثال، براساس مطالعات صبوری و همکاران [۱۲] و طهماسبی و همکاران [۱]، رابطه بین جریان‌های مختلف باطله و باطله نهایی در مجتمع مس سونگون ارائه شده است.

همان‌گونه که در شکل (۴-۱۶) و شکل (۴-۱۷) ملاحظه می‌شود، یک جریان باطله از خروجی سلول‌های رافر (۷۹۱ t/h با عیار مس ۰/۰۷ درصد و d80 حدود ۹۰ میکرون) و یک جریان باطله از سلول‌های اسکونجر واحد شست‌وشوی کنسانتره (۵۲/۳ t/h با عیار مس ۰/۴ درصد و d80 حدود ۴۵ میکرون) با یکدیگر مخلوط شده و جریان نهایی باطله (۸۴۲/۳ t/h با عیار متوسط ۰/۰۹) را تشکیل می‌دهد. جریان باطله خروجی از واحد شست‌وشوی کنسانتره، از لحاظ وزنی تنها ۶ درصد از کل جریان باطله را شامل می‌شود اما حدود ۲۷/۵ درصد از محتوی مس را دارا است. ضمن اینکه از لحاظ ابعاد ذرات بسیار ریزتر از جریان خروجی رافر است.

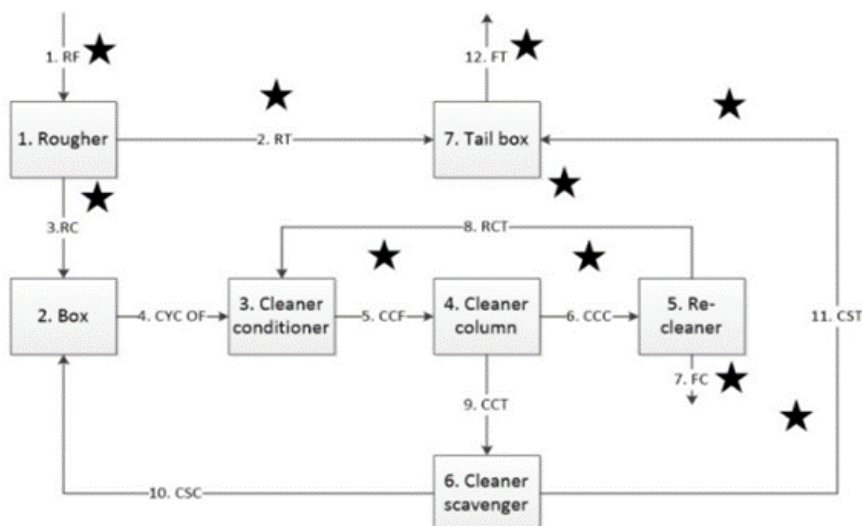


شکل (۴-۱۶) - مدار کارخانه فلوتاسیون مجتمع مس سونگون [۱۲]



شکل (۴-۱۷)- موازنه جرم مدار کارخانه فلواتاسیون مجتمع مس سونگون [۱۲]

در یک تحقیق مشابه، طهماسبی و همکاران، به نمونه‌برداری از جریان‌های مختلف مدار فلو تاسیون مس سونگون پرداختند. [۱] شکل (۴-۱۸) محل‌های نمونه‌برداری و موازنه جرم مدار را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، نتایج ارائه شده توسط صبوری و همکاران تأیید شده است. به‌نحوی که جریان باطله نهایی (FT)، ترکیبی از جریان باطله مرحله رافر (RT) با تناژ بالا و عیار پایین مس (۹/۷۷۳ t/h، ۰/۸ درصد) و جریان باطله مدار کلینر (CST) با تناژ پایین و عیار مس بالا (۰/۷۶۶ t/h، ۰/۳۱ درصد) است.



ردیف	نوع ماده	عیارهای اصلاح شده (%)		عیارهای اندازه گیری شده (%)		نوع ماده
		Fe	Cu	Fe	Cu	
۵/۶۷	۸۶۱/۷۴	۳/۵۸	۰/۶۶	۳/۴۴	۰/۶۵	RF
۰/۶۰	۷۷۳/۹۰	۲/۰۲	۰/۰۸	۲/۰۷	۰/۰۸	RT
۵/۰۷	۸۷/۸۴	۱۷/۳۴	۵/۷۷	۱۸/۳۶	۵/۸۵	RC
۸/۴۶	۱۱۴/۸۸	۲۱/۵۲	۷/۳۶	---	---	CYC OF
۱۱/۹۲	۱۳۹/۰۵	۲۲/۳۹	۸/۵۷	۲۴/۵۰	۸/۵۲	CCF
۸/۳۳	۴۵/۹۵	۲۷/۱۰	۱۸/۱۳	۳۰/۳۰	۱۸/۳۶	CCC
۴/۸۷	۲۱/۷۷	۲۷/۷۶	۲۲/۳۶	۳۱/۱۹	۲۲/۵۰	FC
۳/۴۶	۲۴/۱۷	۲۶/۵۰	۱۴/۳۳	۳۱/۵۶	۱۴/۳۷	RCT
۳/۵۹	۹۳/۱۰	۲۰/۰۷	۳/۸۶	۲۱/۲۳	۳/۸۷	CCT
۳/۳۹	۲۷/۰۳	۳۵/۱۳	۱۳/۱۴	---	---	CSC
۰/۳۰	۶۶/۰۷	۱۳/۹	۰/۳۰	۱۴/۳۸	۰/۳۱	CST
۰/۸۰	۸۳۹/۹۷	۲/۹۶	۰/۰۹۶	۲/۹۷	۰/۰۸۹	FT

شکل (۴-۱۸) - موازنه جرم مدار کارخانه فلوتاسیون مجتمع مس سونگون [۱]

۴-۵- سناریوهای ممکن برای فراوری مجدد باطله فلوتاسیون

همان گونه که در بند ۳ گزارش ذکر شد، اولین مرحله از پروژه استفاده مجدد از باطله، فراوری مجدد آن با روش فلوتاسیون است. (شکل ۴-۳) درعین حال، با توجه به مطالب ارائه شده در بند ۴ گزارش، بحث فلوتاسیون جریان های باطله در کارخانه و باطله جاری تجمعی باید از بحث سد باطله تفکیک شود.

۴-۵-۱- جریان های باطله کارخانه: بهینه سازی و یا تغییر مدار کارخانه موجود

در این حالت ایده فراوری مجدد باطله باید به دیدگاه افزایش راندمان و بازیابی در مدار و جلوگیری از اتلاف مس به جریان باطله تغییر یابد. به عبارت دیگر، قبل از اینکه جریان های باطله با خصوصیات ابعادی، عیاری، کانی شناسی و قابلیت فراوری متفاوت با یکدیگر مخلوط شود، می توان آن ها را به صورت جداگانه بررسی کرده و بازیابی را افزایش داد. برای مثال، در مجتمع مس سونگون، اختلاط باطله با دانه بندی ریز و عیار بالاتر و باطله رافر که عیار کمتر و ابعاد درشت تری دارد منطقی نبوده و سبب پیچیده شدن فرایند باز فراوری باطله می شود.

این کار نیازمند ۲ اقدام عمده است:

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 155 of 200

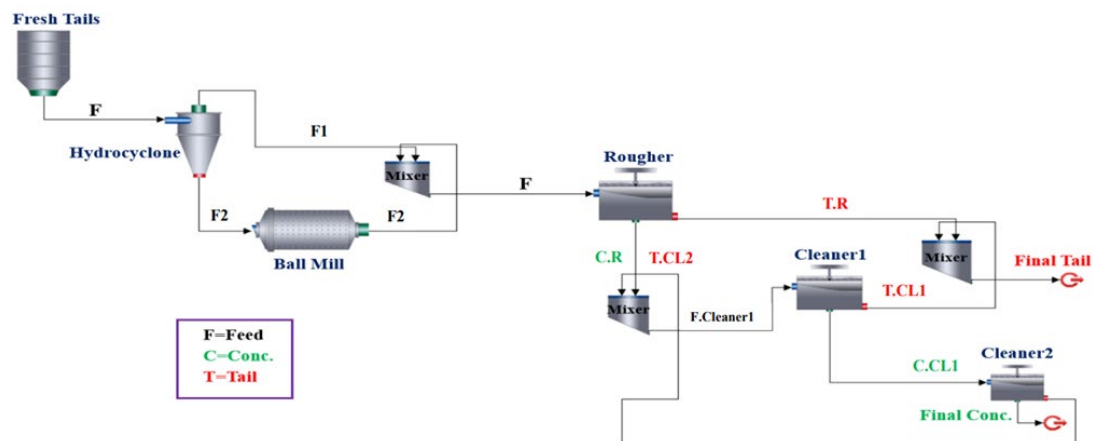
- عیب‌یابی، بهبود و اصلاح خط موجود از دیدگاه تجهیزات و مواد شیمیایی باهدف افزایش راندمان خط موجود و کاهش اتلاف مس به باطله

داخل کشور، محققین زیادی بر روی بهبود مدار فلوتاسیون در ۳ مجتمع سونگون، میدوک و سرچشمه انجام داده‌اند که نتایج آن‌ها قابل‌دسترسی است. [۳-۴] برای مثال، جرجانی و همکاران با مطالعه تأثیر کانی‌های رسی در فرایند فلوتاسیون کانسنگ مس سرچشمه، دریافتند که استفاده از مخلوط دکسترتین، سیلیکات سدیم و سدیم متافسفات بازیابی مس را ۳/۲ درصد افزایش می‌دهد و در نتیجه هدرروی مس در باطله کاهش می‌یابد. [۳] همچنین مطالعه برخورداری و همکاران نشان داد که در مدار کلینر مجتمع مس سرچشمه، خردایش بیشتر مواد تا ۹۰ درصد ریزتر از ۴۴ میکرون، سبب افزایش ۱ درصدی عیار مس در کنسانتره نهایی می‌شود. [۴]

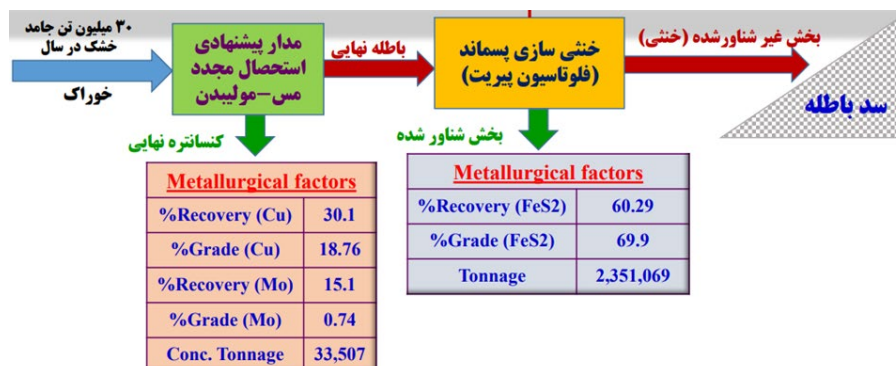
- استفاده از تجهیزات جدید و فناوری‌های توسعه‌یافته
- با این روش، تمام مس قابل استحصال از کان‌سنگ بازیابی‌شده و باطله نهایی که به سد باطله منتقل می‌شود، می‌تواند به‌عنوان خوراک ورودی به مراحل بعدی مانند فلوتاسیون پیریت و یا تولید سیمان پلیمری استفاده شود.

۴-۵-۲- احداث کارخانه جدید برای فراوری مجدد باطله جاری

سناریوی دوم احداث کارخانه جدید فراوری برای باطله جاری نهایی (تجمعی) است. در این حالت، باطله نهایی به‌عنوان خوراک کارخانه باز فراوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای احداث کارخانه باز فراوری نیز ۲ حالت وجود دارد: الف) استفاده از ماشین‌های فلوتاسیون معمول و ب) استفاده از ماشین‌های فلوتاسیون نسل جدید باطله این کارخانه می‌تواند به‌عنوان خوراک ورودی به مراحل بعدی مانند فلوتاسیون پیریت و یا تولید سیمان پلیمری استفاده شود. یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های انجام‌شده در این زمینه، پروژه باز فراوری باطله ورودی به سد مجتمع مس سرچشمه در دانشگاه کرمان است. در این پروژه، از باطله جاری نهایی (ورودی به سد باطله) نمونه‌برداری شده است و از آن در آزمایش‌های فلوتاسیون مجدد استفاده شده است. شکل (۴-۱۹) فلوشیت باز فراوری باطله جاری مس مجتمع سرچشمه و شکل (۴-۲۰) محاسبات متالورژیکی آن براساس تحقیقات انجام‌شده در دانشگاه کرمان را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱۹) - مدار فرآوری پیشنهادی توسط دانشگاه کرمان برای تولید کنسانتره مس - مولیبدن از باطله مجتمع مس سرچشمه



شکل (۴-۲۰) - محاسبات متالورژیکی برای تولید کنسانتره مس، مولیبدن و پیریت از باطله مجتمع مس سرچشمه براساس تحقیقات دانشگاه کرمان

براساس نتایج این تحقیق، به ازای فراوری سالیانه ۳۰ میلیون تن باطله با عیار اولیه مس و مولیبدن به ترتیب ۰/۰۷ و ۰/۰۵۵ درصد، ۳۳۵۰۷ تن کنسانتره با عیار مس و مولیبدن به ترتیب ۱۸/۷۶ و ۰/۷۴ درصد و بازیابی به ترتیب ۳۰/۱ و ۱۵/۱ تولید می شود. در مرحله دوم، فرایند فلوتاسیون باطله خروجی مدار قبلی منجر به تولید ۲/۳۵ میلیون تن کنسانتره پیریت با عیار FeS₂ حدود ۷۰ درصد و بازیابی حدود ۶۰ درصد می شود. براساس محاسبات انجام شده توسط مجری پروژه در دانشگاه کرمان، مجموع هزینه سرمایه گذاری ثابت طرح برابر ۴۵۱۰۰ میلیارد ریال، مجموع هزینه سرمایه گذاری عملیاتی برابر ۳۸۰۰ میلیارد ریال و مجموع سرمایه گذاری طرح ۴۸۹۰۰ میلیارد ریال برآورد شده است. از این مقدار، ۱۱۰۰۰ میلیارد ریال آن باید به صورت ارزی (معادل ۲۵ میلیون دلار) هزینه شود.

آنچه در مدار پیشنهادی مشخص است این است که نمی توان مدار حاصل را به عنوان بهینه ترین و مناسب ترین مدار در نظر گرفت چراکه بازیابی مس و مولیبدن پایین است و بخش عمده مس و مولیبدن مجدداً به سد باطله منتقل خواهد شد. براساس ارقام گزارش شده، عیار مس در باطله خروجی از سلول های رمق گیر-رافر در حدود ۰/۰۴۳ و در باطله خروجی از سلول های رمق گیر-کلینر در حدود ۰/۱۱ است. در نتیجه، باطله منتقل شده به سد باطله یا به مدار فلوتاسیون پیریت همچنان حاوی مس و مولیبدن است و مشکل اصلی پابرجاست.

در مدار فلوتاسیون پیریت نیز، حدود ۴۰ درصد پیریت در نمونه باقی می ماند و بنابراین باطله نهایی حاوی مقدار بالایی از سولفور خواهد بود. مقدار بالای سولفور سبب ایجاد محدودیت فنی در استفاده از باطله نهایی در فرایند تولید سرامیک خواهد شد چراکه سولفور سبب افزایش احتمال خوردگی و تخریب سرامیک می شود.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 158 of 200

همان گونه که در بخش ۳ گزارش اشاره شد، شرکت های پیشرو در زمینه فراوری مواد معدنی ماشین های جدید فلوتاسیون برای فراوری مجدد باطله را توسعه داده اند. جهت بررسی تأثیر این دستگاه ها بر اقتصاد فرایند، نتایج حاصل از دو پروژه مس سرچشمه (با سلول فلوتاسیون معمولی) با پروژه انجام شده توسط اریتز (با سلول HydroFloat) با یکدیگر مقایسه می شود.

در حالی که حداکثر بازیابی مس و مولیبدن در مطالعات دانشگاه کرمان برابر ۳۰ و ۱۵ درصد گزارش شده است، (شکل ۴-۲۰) در پروژه انجام شده با سلول HydroFloat، بازیابی مس بین ۵۰ تا ۶۰ درصد حاصل شده است. (شکل ۴-۸) در نتیجه، استفاده از ماشین فلوتاسیون با فناوری جدید سبب خواهد شد تا میزان تولید کنسانتره از سالیانه ۳۴ هزار تن به حدود ۵۱ هزار تن افزایش یابد. بدین ترتیب، میزان درآمد حاصل از فروش کنسانتره سالیانه ۱۳۶۰۰ میلیارد ریال بیشتر خواهد شد.

برای خرید سلول های با فناوری جدید نیاز به حداقل ۱۵ درصد سرمایه گذاری بیشتر است. از این رو میزان سرمایه گذاری ثابت کارخانه فلوتاسیون از ۴۵۱۰۰ به ۵۲۰۰۰ میلیارد ریال افزایش می یابد. با این حال، به دلیل قابلیت این سلول ها در فراوری ذرات درشت و عدم نیاز به خردایش مجدد باطله و استفاده از آسیای گلوله ای، هزینه عملیاتی و مصرف برق کاهش می یابد. سرمایه در گردش طرح با کاهش ۱۰ درصدی، از ۳۸۰۰ به ۳۴۰۰ میلیارد ریال می رسد.

استفاده از فناوری های جدید که قادر به فلوتاسیون ذرات درشت است، مانند سلول HydroFloat، سبب کاهش مصرف برق (به دلیل عدم نیاز به خردایش مجدد به وسیله آسیا) و کاهش مصرف آب (به دلیل آسان تر بودن فرایند فیلتراسیون ذرات درشت و راندمان بالاتر بازیافت آب) نیز می شود. چنانچه در حالت عادی، میزان مصرف برق برای هر تن کانسنگ ورودی حدود ۲۰ kW/t در نظر گرفته شود، سالانه ۶۰۰۰۰۰ مگاوات ساعت برق نیاز است که با جایگزینی سلول های جدید، این مقدار به ۵۲۵۰۰۰ کاهش می یابد.

در نهایت، با مقایسه بین دو بخش (۵-۱) و (۵-۲)، بهبود مدار کارخانه فعال کنونی همراه با نصب تجهیزات جدید فلوتاسیون در مسیر ۲ باطله مراحل رافر و اسکونجر و باز فراوری آن ها به صورت جداگانه، بهترین پیشنهاد برای باز فراوری باطله کارخانه فلوتاسیون است.

مقایسه این ۲ سناریو با یکدیگر از جنبه های مختلف در جدول (۴-۵) ارائه شده است.

وزن دهی ملاک های مختلف بر مبنای مطالعات انجام شده توسط محققین که در طول گزارش به آن ها اشاره شده است و تجربه مجری پروژه در طرح های مشابه انجام شده است. در بحث سرمایه گذاری، احداث کارخانه جدید

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 159 of 200

نیازمند ایجاد زیرساخت‌های کامل بوده و از این رو هزینه سرمایه‌گذاری افزایش خواهد یافت. درعین حال، استفاده از تجهیزات مدرن، نیازمند صرف هزینه بالاتری خواهد بود.

در بحث هزینه عملیاتی، بهینه‌سازی خط موجود و افزودن تجهیز در قالب کارخانه قبلی است که باعث کاهش هزینه عملیاتی می‌شود. در مورد کارخانه با تجهیزات مدرن نیز همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، راندمان بالای این تجهیزات در فراوری ذرات درشت سبب صرفه‌جویی در هزینه خردایش و مصرف آب می‌شود.

بدیهی است، مخلوط‌شدن جریان‌های باطله با مشخصات کانی‌شناسی، درجه آزادی و ابعادی بسیار متفاوت سبب پیچیده‌شدن فرایند باز فراوری و کاهش راندمان خواهد شد. طراحی مدار با استفاده از تجهیزات رایج نیازمند استفاده از ترکیب چند مرحله‌ای خردایش-دانه‌بندی-فلوتاسیون و آبگیری است و مدار پیچیده‌ای حاصل می‌شود. ولی استفاده از تجهیزات مدرن در جریان‌های باطله مدار به مراتب ساده‌تری خواهد داشت. بنابراین، گزینه مناسب‌تر این است که با بهبود خط و نصب تجهیزات جدید، بالاترین بازیابی مس از باطله حاصل‌شده و پسماند نهایی به سد باطله منتقل شود.

جدول (۴-۵) - مقایسه سناریوهای باز فراوری باطله‌های جاری

معیار	امتیاز (۱۰)			
	تفکیک جریان‌ها (بهینه‌سازی مدار موجود) (امتیاز)	احداث کارخانه برای باطله تجمعی نهایی (فناوری معمول)	احداث کارخانه برای باطله تجمعی نهایی (فناوری جدید)	
سرمایه‌گذاری ثابت (۱۰)	۸	۵	۳	
سرمایه‌گذاری جاری (۶)	۸	۶	۵	
پیچیدگی مدار و تعدد تجهیزات (۸)	۸	۳	۶	
راندمان (۱۰)	۵	۳	۸	
مجموع امتیاز	۲۴۲	۱۴۰	۱۸۸	

۴-۵-۳- احداث کارخانه باز فراوری برای سد باطله

برای باز فراوری مواد سد باطله، تنها سناریوی موجود احداث یک کارخانه فراوری مجزا است. باین حال، این کارخانه می‌تواند از لحاظ تجهیزات با استفاده از ماشین‌های معمول فلوتاسیون و یا با استفاده از سلول‌های فلوتاسیون مدرن احداث شود. مقایسه این دو حالت از دیدگاه اقتصادی و راندمان در بخش (۵-۲) انجام شد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 160 of 200

و با توجه به مشابه بودن خصوصیات باطله تجمعی جاری با باطله موجود در سد، مباحث مطرح شده در اینجا نیز صادق است.

با این حال، احداث کارخانه مجزا برای فراوری مواد سد باطله با ۳ چالش جدی مواجه است:

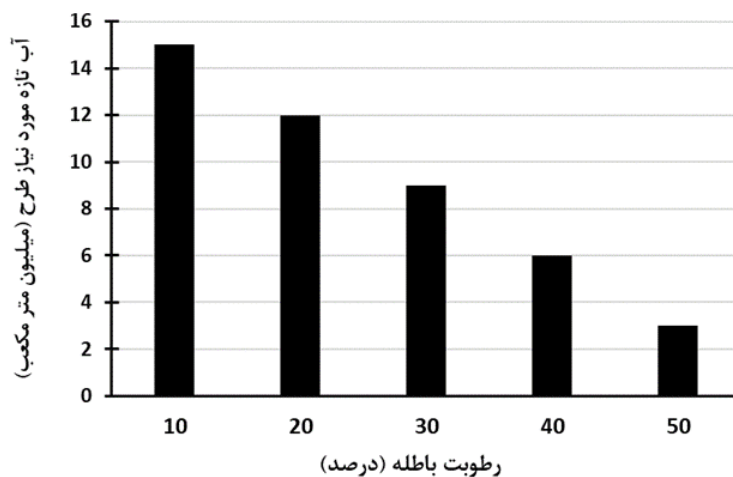
- تهیه نمونه معرف از سد باطله
- انجام آزمون‌های فراوری با تجهیزات نوین
- تأمین آب مورد نیاز فرایند

مواد دپوشده در سد باطله طی سال‌های مختلف و در مدت‌زمان طولانی تجمع یافته است. در این مدت، تغییرات ماده معدنی استخراج شده از معدن، تغییرات عملکرد و راندمان کارخانه و البته تغییرات آب‌وهوایی و شرایط اقلیمی سبب شده است تا حجم زیادی از مواد با ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی بسیار پیچیده و متغیر بر روی یکدیگر انباشته شود. به علاوه در طول زمان به خاطر پدیده‌هایی مانند هوازدگی، بخش زیادی از مواد تجمع یافته اکسید شده و دچار تغییر شده است. از این رو، هرگونه طراحی کارخانه فراوری نیازمند انجام یک عملیات نمونه‌برداری دقیق، علمی و سامان‌مند از سد باطله است به نحوی که نمونه یا نمونه‌هایی معرف از توده تهیه شده و برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی و پایلوت مورد استفاده قرار گیرد. در مرحله بعد نمونه‌های معرف تهیه شود باید به شرکت‌های صاحب فناوری و پیشرو در زمینه باز فرآوری باطله ارسال و آزمایش‌های فلوتاسیون روی آن‌ها انجام گیرد و راندمان متالورژیکی و شرایط بهینه عملیاتی تعیین شود. نمونه این شرکت‌ها در جدول (۴-۳) ارائه شده است.

نکته مهم در بازفرآوری باطله تأمین آب مورد نیاز کارخانه است. برای فلوتاسیون هر تن ماده معدنی معمولاً ۲/۵ متر مکعب آب وارد مدار می‌شود. در عین حال در مرحله بازیافت آب، معمولاً ۷۰ تا ۸۰ درصد آب بازیافت شده و به مدار برمی‌گردد. از این رو میزان آب مصرفی به‌ازای هر تن خوراک ورودی حدود ۰/۵ تا ۰/۷ متر مکعب برآورد می‌شود. چنانچه ظرفیت کارخانه باز فرآوری سد باطله ۳۰ میلیون تن در سال در نظر گرفته شود، میزان آب مصرفی سالیانه که باید به مدار تزریق شود حدود ۱۸ میلیون متر مکعب برآورد می‌شود. با توجه به اینکه مواد تجمع یافته در سد باطله دارای رطوبت هستند، بخشی از آب مورد نیاز در خود خوراک ورودی وجود دارد و از آب موجود در خاک تأمین می‌شود. برای مثال، اگر رطوبت باطله ۲۰ درصد در نظر گرفته شود، محتوی آب خوراک ورودی کارخانه ۶ میلیون تن است و از این رو مابه‌التفاوت آن یعنی ۱۲ میلیون تن آب مورد نیاز خواهد بود. شکل (۴-۲۱) رابطه بین رطوبت اولیه باطله سد با میزان آب مورد نیاز

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 161 of 200

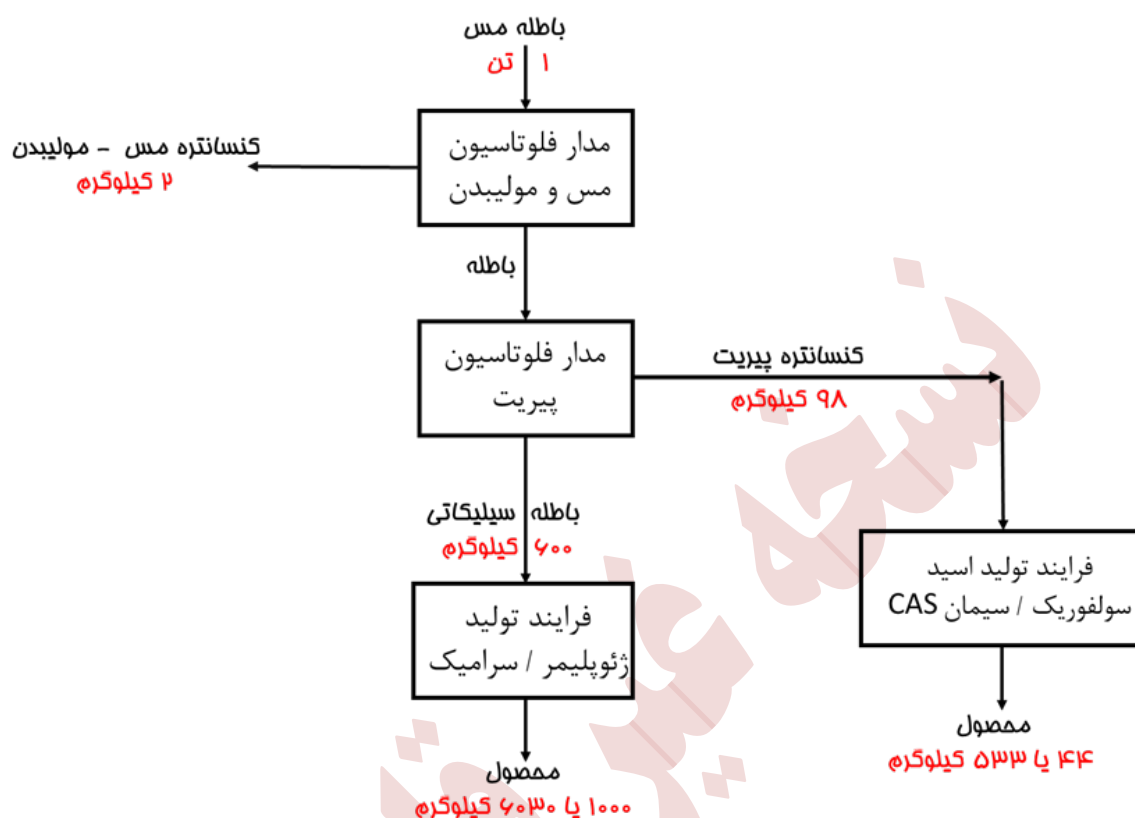
کارخانه‌ای با ظرفیت ۳۰ میلیون تن خوراک ورودی را نشان می‌دهد. هرچه رطوبت مواد سد باطله بیشتر باشد، آب موردنیاز کمتر خواهد بود.



شکل (۴-۲۱) - رابطه بین رطوبت اولیه باطله سد با میزان آب موردنیاز کارخانه باز فرآوری سد باطله با ظرفیت ۳۰ میلیون تن خوراک ورودی

۴-۶- بررسی زیست‌محیطی فرایند پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله

بررسی زیست‌محیطی فرایند بازیابی مجدد باطله بر مبنای فلوچارت ارائه شده در شکل (۴-۲۲) انجام شد. این فلوچارت شامل دو مرحله فلوتاسیون (برای استحصال کنسانتره فلوتاسیون و پیریت) و سپس فرایندهای تولید اسیدسولفوریک، سرامیک و سیمان پلیمری است. برای بررسی اثرات زیست‌محیطی، ۲ مرحله فلوتاسیون سولفیدها به صورت یک مدار فلوتاسیون واحد در نظر گرفته شده است.



شکل (۴-۲۲) - موازنه جرم در مسیر پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله‌های فلوتاسیون

موازنه جرم ارائه شده در شکل (۴-۲۲) بر مبنای مطالعات انجام شده در مجتمع مس سرچشمه بر روی نمونه‌های باطله جاری مدار فلوتاسیون انجام شده است. این پروژه در دانشگاه کرمان به انجام رسیده است که طی آن ضمن تعیین شرایط بهینه برای تولید کنسانتره مس و پیریت، موازنه جرمی آن نیز به دست آمده است. همان گونه که در شکل (۴-۲۲) ملاحظه می شود، از هر ۱ تن باطله (با رطوبت اولیه ۳۰ درصد)، مقدار ۷۰۰ کیلوگرم جامد خشک حاصل می شود. در مدارهای فلوتاسیون مس و پیریت به ترتیب ۲ و ۹۸ کیلوگرم کنسانتره مس و پیریت تولید شده و مقدار ۶۰۰ کیلوگرم باطله سیلیکاتی از مدار خارج می شود. از ۹۸ کیلوگرم کنسانتره پیریتی می توان ۴۴ کیلوگرم اسید سولفوریک و یا ۵۳۳ کیلوگرم سیمان سولفوآلومینات تولید کرد. همچنین از ۶۰۰ کیلوگرم باطله سیلیکاتی نیز می توان ۱ تن سیمان پلیمری و یا ۶ تن سرامیک تولید کرد. جزییات مدار تولید در ادامه گزارش ارائه شده است.

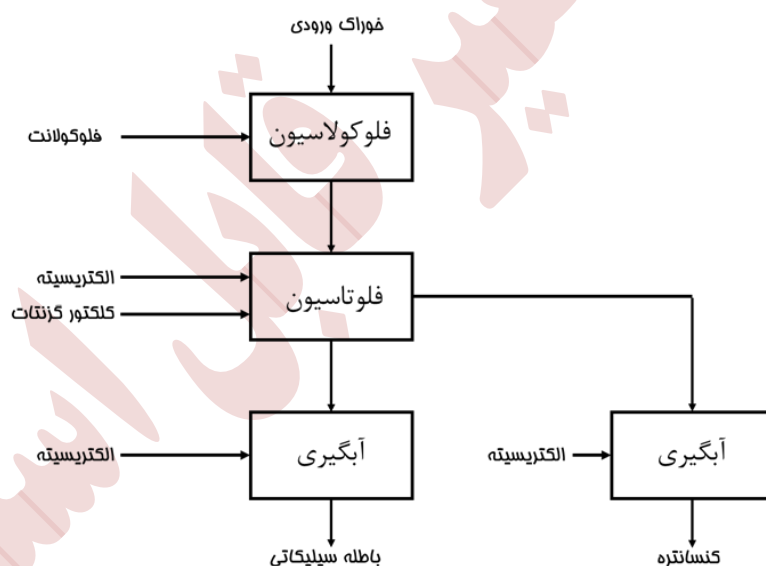
برای ارزیابی زیست محیطی لازم است تا ابتدا زیر فرایندهای مربوط به هر مرحله تعیین شود. سپس آثار زیست محیطی هر کدام مورد تحلیل و آنالیز قرار گیرد. در این گزارش، اطلاعات ارائه شده درباره مصرف مواد

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 163 of 200

شیمیایی و یا میزان مصرف انرژی و گرما در فرایندهای مختلف از مراجع مختلف و مقالات مرتبط با ارزیابی زیست محیطی (از جمله مرجع [۱۳]) اخذ شده و مورد استفاده قرار گرفته است. برای انجام ارزیابی، ابتدا پارامترهای ورودی برای هر فرایند و زیر فرایند مربوط به آن تعیین و سپس براساس موازنه جرم، متغیرهای زیست محیطی مربوط محاسبه شده است.

۴-۶-۱- ارزیابی مدار فلوتاسیون

فلوچارت کلی فرایند فلوتاسیون در شکل (۴-۲۳) نشان داده شده است. در این مدار یک مرحله فلوکولاسیون نیز در نظر گرفته شده است که ممکن است برای بهبود فرایند فلوتاسیون مورد نیاز باشد. جدول (۴-۶) پارامترهای فرایند فلوتاسیون را نشان می دهد. براساس جدول (۴-۶)، متغیرهای زیست محیطی مدار فلوتاسیون براساس جدول (۴-۷) است. همان گونه که در جدول (۴-۷) ملاحظه می شود، به ازای هر یک تن باطله ورودی، مقدار ۲۶ kWh برق و ۰/۱۳ کیلوگرم مواد شیمیایی مصرف می شود.



شکل (۴-۲۳)- فلوچارت شماتیک فرایند فلوتاسیون

جدول (۴-۶)- پارامترهای فرایند فلوتاسیون مجدد باطله

واحد	مقدار	پارامتر فرایند
Kg	۱۰۰۰	وزن باطله ورودی
درصد	۳۰	رطوبت باطله
Kg	۷۰۰	محتوی جامد باطله
Kg / ton	۰/۰۲۵	فلوکولانت مصرفی
kWh / ton	۶	برق مصرفی فلوتاسیون
Kg / ton	۰/۱	کلکتور
kWh / ton	۲۰	برق مصرفی آبگیری
Kg	۱۰۰	وزن کنسانتره سولفیدی
Kg	۶۰۰	وزن باطله سیلیکاتی

جدول (۴-۷) - متغیرهای زیست محیطی فرایند فلوتاسیون مجدد باطله

متغیر	جریان	مقدار	واحد
ورودی	الکتریسیته	۲۶	kWh
	فلوکولانت	۰/۰۳	Kg
	گزنات	۰/۱۰	Kg
خروجی	باطله سیلیکاتی	۶۰۰	Kg
	کنسانتره سولفیدی	۱۰۰	Kg
باطله خروجی	پساب	۳۰۰	Kg

مهم ترین ماده شیمیایی مورد استفاده در فرایند فلوتاسیون کلکتور گزنات است. تولید گزنات با استفاده از دی سولفید کربن انجام می شود. بنابراین در ارزیابی زیست محیطی باید متغیرهای مربوط به فرایند تولید گزنات نیز در نظر گرفته شود. جدول (۴-۸) متغیرهای مربوطه را نشان می دهد.

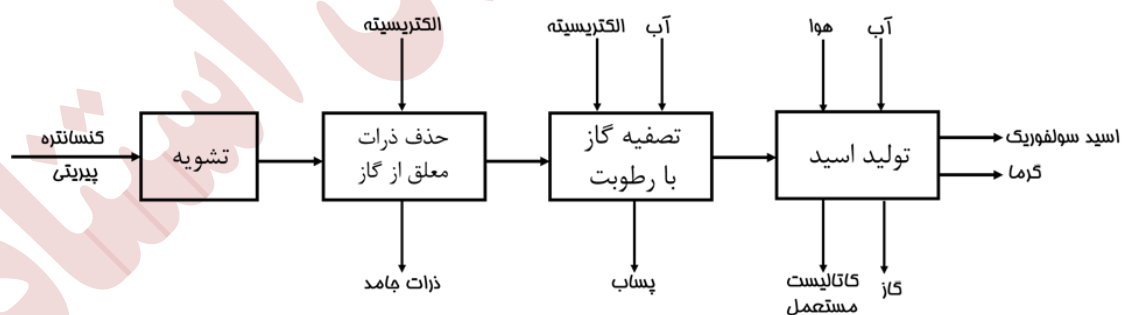
جدول (۴-۸) - متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید ۱ تن کلکتور گزنات

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 165 of 200

متغیر	جریان	مقدار	واحد
ورودی	دی سولفید کربن	۰/۵۳	ton
	الکتریسیته	۱۶۴	kWh
	آب	۱۵۸۰	Kg
	هیدروکسید سدیم	۲۸۰	Kg
	اتانول	۳۲۰	Kg
	نیتروژن مایع	۲۸	kg
خروجی	گزنتات	۱	ton

۴-۶-۲- ارزیابی فرایند تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی

در حالت اول، کنسانتره پیریتی حاصل از مرحله فلوتاسیون می تواند وارد فرایند تولید اسیدسولفوریک شود. شکل (۴-۲۴) فلوچارت تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۴)- فلوچارت تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی

در این فرایند تشویه حرارتی پیریت منجر به تولید گاز دی اکسید گوگرد می شود (واکنش های ۴-۱ تا ۴-۳). گاز تولیدی پس از طی مراحل تصفیه وارد کارخانه تولید اسیدسولفوریک شده و تبدیل به اسیدسولفوریک

می شود.



جدول (۹-۴) پارامترهای فرایند تولید اسیدسولفوریک را نشان می دهد. بر مبنای داده های جدول (۹-۴) متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریتی محاسبه و در جدول (۱۰-۴) ارائه شد.

جدول (۹-۴) - پارامترهای فرایند تولید اسیدسولفوریک

واحد	مقدار	پارامتر فرایند
Kg / ton tailing	۷۰	ورودی SO ₂ از واحد تشویه
Kg / ton tailing	۴	ورودی SO ₃ از واحد تشویه
Kg / ton H ₂ SO ₄	۴۰	الکتریسیته
Kg / ton tailing	۹۰	هوا
Kg / ton tailing	۶۳	آب
Kg / ton tailing	۴۰	پساب تولیدی
Kg / ton tailing	۰/۳۳	SO ₂ خروجی به اتمسفر
Kg / ton tailing	۴/۴	ذرات معلق خروجی

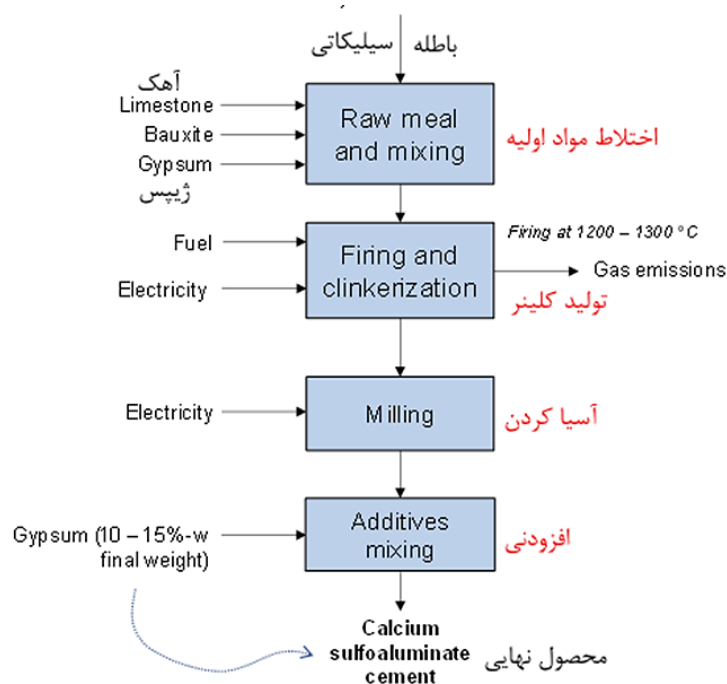
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 167 of 200

جدول (۴-۱۰) - متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید اسیدسولفوریک

متغیر	جریان	مقدار	واحد
	الکتریسیته	۱/۷۶	kWh
ورودی	هوا	۴.۸	m ³
	آب	۲۵.۲	Kg
خروجی	اسیدسولفوریک	۴۴	Kg
	گرما	۷۳/۲	MJ
باطله خروجی	پساب	۱۵/۲	Kg
	SO ₂	۰/۱۳۲	Kg

۴-۶-۳- ارزیابی فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات (CAS) از کنسانتره پیریتی

در حالت دوم، کنسانتره پیریتی حاصل از مرحله فلوتاسیون می تواند وارد فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات شود. شکل (۴-۲۵) فلوچارت تولید سیمان سولفو آلومینات CAS با استفاده از باطله سیلیکاتی را نشان می - دهد. همچنین در جدول (۴-۱۱) پارامترهای فرایند و در جدول (۴-۱۲) متغیرهای زیست محیطی ارائه شده است.



شکل (۴-۲۵) - فلوچارت تولید سیمان سولفوآلومینات (CAS) از باطله سیلیکاتی

جدول (۴-۱۱) - پارامترهای فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات از باطله سیلیکاتی

پارامتر فرایند	مقدار	واحد
کنسانتره پیریتی	۱۸۴	kg/ ton CAS
آهک	۴۷۲	kg/ ton CAS
بوکسیت	۴۷۲	kg/ ton CAS
ژپس	۳۳۵	kg/ ton CAS
آب	۴۳	kg/ ton CAS
گازوئیل	۰/۰۵	kg/ ton CAS
الکتریسیته	۵۲	kWh/ ton CAS

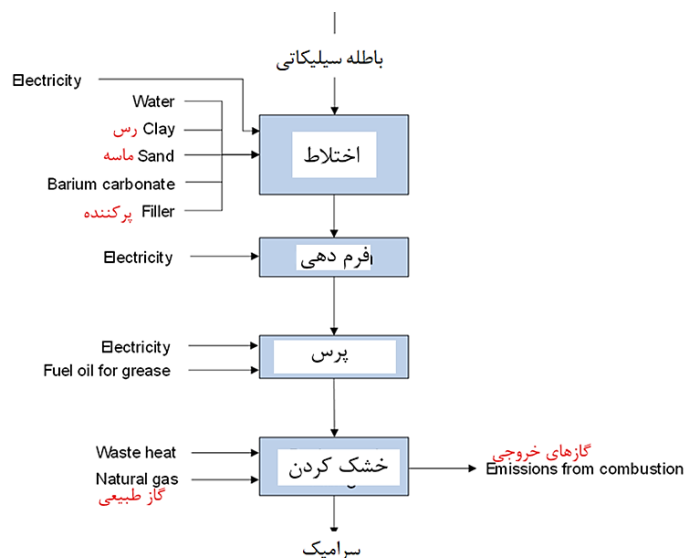
 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازآوری باطله فلوتاسیون	Page 169 of 200

جدول (۴-۱۲) - متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید سیمان سولفوآلومینات از باطله سرامیکی

متغیر	جریان	مقدار	واحد
ورودی	کنسانتره پیریتی	۹۸	kg
	آهک	۲۵۰	kg
	بوکسیت	۲۵۰	kg
	ژئیس	۱۸۰	kg
	آب	۸۰	kg
	گازوئیل	۰/۰۲۵	kg
	الکتریسیته	۹۸	kWh
خروجی	سیمان CAS	۵۳۳	Kg

۴-۶-۴- ارزیابی فرایند تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی

باطله سیلیکاتی خروجی از مدار فلوتاسیون می تواند جهت تولید سرامیک مورد استفاده قرار گیرد. شکل (۴-۲۶) فلوچارت تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی را نشان می دهد. بر این اساس پارامترهای فرایند تولید سرامیک براساس جدول (۴-۱۳) است. براساس محاسبات، متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی مطابق جدول ۴-۱۴ است. از هر ۱ تن باطله فلوتاسیون، ۶۰۰ کیلوگرم باطله سیلیکاتی و سپس ۶۰۳۰ کیلوگرم سرامیک تولید خواهد شد.



شکل (۴-۲۶) - فلوچارت تولید سیمان ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی

جدول (۴-۱۳) - پارامترهای فرایند تولید سرامیک از باطله سیلیکاتی

واحد	مقدار	پارامتر فرایند
kg	۶۰۰	باطله سیلیکاتی
kg	۳۰	کربنات باریم
kg	۹۰۰	ماسه
kg	۲۵۰۰	رس
kg	۲۰۰۰	پرکننده
kWh/ kg ceramic	۰/۳۱	الکتریسیته

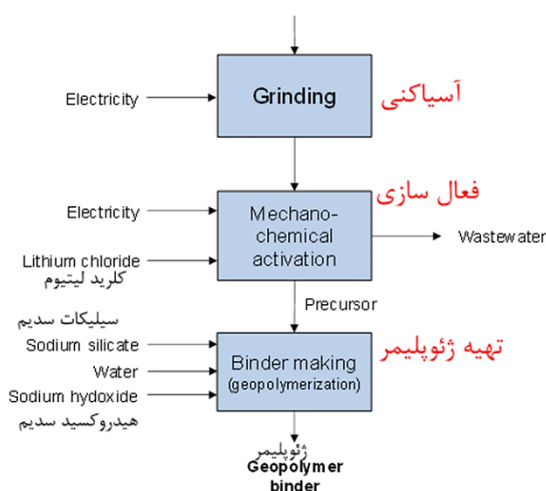
جدول (۴-۱۴) - متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید سرامیک از باطله سرامیکی

متغیر	جریان	مقدار	واحد
ورودی	الکتریسیته	۱۸۷۰	kWh
	گرما	۳۳۵۹۰	MJ
خروجی	سرامیک	۶۰۳۰	Kg

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 171 of 200

۴-۶-۵- ارزیابی فرایند تولید سیمان پلیمری از باطله سیلیکاتی

باطله سیلیکاتی خروجی از مدار فلوتاسیون می تواند برای تولید سیمان پلیمری استفاده شود. شکل (۴-۲۷) فلوچارت تولید سیمان ژئوپلیمر با استفاده از باطله سیلیکاتی را نشان می دهد. همچنین در جدول (۴-۱۵) پارامترهای فرایند تولید و در جدول (۴-۱۶) متغیرهای زیست محیطی ارائه شده است.



شکل (۴-۲۷)- فلوچارت تولید سیمان ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی
جدول (۴-۱۵)- پارامترهای فرایند تولید ژئوپلیمر از باطله سیلیکاتی

واحد	مقدار	پارامتر فرایند
kg/ ton Geop	۶۰۰	باطله سیلیکاتی
kg/ ton Geop	۳۹۴	آب
kg/ ton Geop	۱۴/۴	کلرید لیتیوم
kg/ ton Geop	۷۲	سیلیکات سدیم
kg/ ton Geop	۱۴/۴	هیدروکسید سدیم
kWh/ ton Geop	۴۷/۵	الکتریسیته

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 172 of 200

جدول (۴-۱۶) - متغیرهای زیست محیطی فرایند تولید ژئوپلیمر از باطله سرامیکی

متغیر	جریان	مقدار	واحد
	باطله سیلیکاتی	۶۰۰	kg
ورودی	آب	۳۹۴	kg
	کلرید لیتیوم	۱۴/۴	kg
	سیلیکات سدیم	۷۲	kg
	هیدروکسید سدیم	۱۴/۴	kg
	الکتریسیته	۴۷/۵	kWh
	ژئوپلیمر	۱۰۰۰	Kg
خروجی	پساب	۰/۰۲	m ³

۴-۷- جمع بندی

مشخصات فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی باطله مهم ترین ملاک برای انتخاب فناوری باز فرآوری باطله های فلوتاسیون مس است. براساس آنالیز شیمیایی تنها امکان استحصال عناصر مس و مولیبدن به صورت اقتصادی وجود دارد. از دیدگاه کانی شناسی، مهم ترین کانی های حاوی مس و مولیبدن سولفیدها است. همچنین باطله خروجی مدار فلوتاسیون دانه ریز بوده و ابعاد ذرات زیر ۲۰۰ میکرون است. در نتیجه بهترین روش برای استحصال مس و مولیبدن از این باطله ها فلوتاسیون است. با این حال، کانی شناسی پیچیده باطله از جمله وجود مقادیر زیادی کانی های رسی نرمه باعث می شود تا سلول های فلوتاسیون معمولی، راندمان پایینی داشته باشد. از این رو استفاده از سلول های توسعه داده شده برای باز فرآوری باطله توسط شرکت های پیشرو ضروری است. یکی از محصولات حاصل از فلوتاسیون کنسانتره پیریت است که می تواند برای تولید اسید سولفوریک و یا سیمان سولفوآلومینات مورد استفاده قرار گیرد. همچنین باطله نهایی سیلیکاتی که ترکیب اصلی آن از اکسید آلومینیوم و سیلیس است می تواند در فرایند تولید سرامیک و یا سیمان پلیمری مصرف شود.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 173 of 200

۴-۸- انتخاب مسیر برای محاسبات فنی و اقتصادی

براساس آنچه در گزارش ارائه شد، مسیر نهایی انتخاب شده برای باطله فلوتاسیون در شرکت ملی مس ایران به صورت زیر است:

- باطله جاری: سناریو تفکیک جریان های باطله در کارخانه فعلی و اصلاح، بهینه سازی و نوسازی مدار با تجهیزات مدرن
- سد باطله: احداث یک کارخانه جدید با استفاده از سلول های فلوتاسیون مدرن

منابع فصل چهارم

[۱] طهماسبی، وحید، عبدالحی، محمود، خالصی، محمدرضا، دانش، ابوالفضل، بررسی امکان بهبود عملکرد مدار فلوتاسیون کارخانه فاز ۱ مس سونگون، نشریه علمی مهندسی معدن، سال ۱۳۹۹، دوره ۱۵، شماره ۴۹، صفحه ۱ تا ۱۱.

[۲] رهبری، مهسا، بهرامی، عطا اله، دانش، ابوالفضل، عزیز افشاری، فرهاد، میرمحمدی، میر صالح، کاظمی، فاطمه، مطالعات کانی شناسی فرایند جهت بهبود عملکرد فلوتاسیون مدار اسکونجر مس سونگون، دومین همایش ملی بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۵ تا ۱۶ بهمن ماه ۱۳۹۹.

[3] Jorjani, E., Barkhordari, H. R., Khorami, M. T., & Fazeli, A. (2011). Effects of aluminosilicate minerals on copper-molybdenum flotation from Sarcheshmeh porphyry ores. *Minerals Engineering*, 24(8), 754-759.

[4] Barkhordari, H. R., Jorjani, E., Eslami, A., & Noaparast, M. (2009). Occurrence mechanism of silicate and aluminosilicate minerals in Sarcheshmeh copper flotation concentrate. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 16(5), 494-499.

[5] Santander, M., & Valderrama, L. (2019). Recovery of pyrite from copper tailings by flotation. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), 4312-4317.

[6] <https://www.eriez.com/NA/EN/Flotation/HydroFloat-Flotation.htm>

[7] Michael, J. Mankosa, Jaisen N. Kohmuench, Lance Christodoulou, Gerald H. Luttrell, Recovery of values from a porphyry copper tailings stream, IMPC Conference.

[8] <https://mineser.de/eng/page/68/tailing-technology-high-energy-key-to-the-highest-recovery/>. 2024

[9] <https://www.flsmidth.com/en-gb/products/flotation-and-attrition/reflux->

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 174 of 200

flotation-cell.2024

- [10] NovaCell coarse and fine particle flotation in one device | Jord, 2024
- [11] Jameson, G. J., & Emer, C. (2019). Coarse chalcopyrite recovery in a universal froth flotation machine. *Minerals Engineering*, 134, 118-133.
- [۱۲] صبوری، حسین، بهینه‌سازی عیار و بازیابی مولیبدن در مدار فلوتاسیون مس-مولیبدن، مطالعه موردی مجتمع مس سونگون، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۳.
- [13] Adrianto, L. R., & Pfister, S. (2022). Prospective environmental assessment of reprocessing and valorization alternatives for sulfidic copper tailings. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106567.

Document No.

Reprocessing of Flotation Tailings

Page

28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071

گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری
باطله فلوتاسیون

Page 175 of 200

فصل پنجم: ارائه مسیر به منظور راه اندازی فرایند پیشنهادی

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 176 of 200

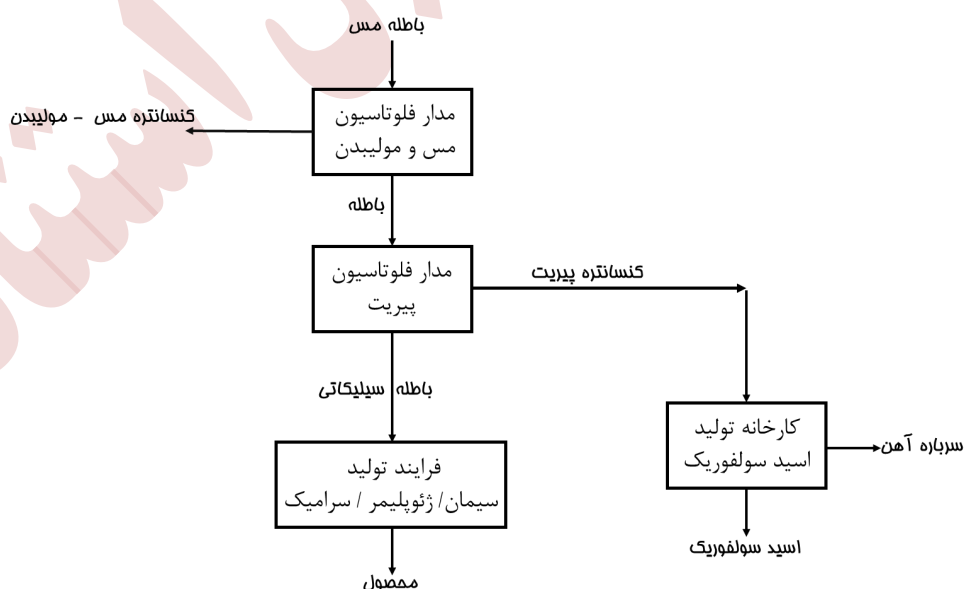
۵-۱- مقدمه

در این گزارش، مسیر مناسب جهت باز فرآوری باطله فلوتاسیون در مجتمع‌های مس سونگون، میدوک و سرچشمه ارائه شده است.

در این پروژه، یکی از نکات مهم تفکیک بین باطله جاری فلوتاسیون و باطله موجود در سد باطله است. منظور از باطله جاری، باطله‌ای است که هم‌اکنون در خط مدارهای فلوتاسیون مجتمع‌های مس در حال تولید است. برای مثال، در مجتمع مس سونگون، روزانه حدود ۴۰ هزار تن باطله تولید و از تهریز تیکنر نهایی وارد سد باطله می‌شود. باطله سد، موادی است که از شروع فعالیت کارخانه در محل سد باطله تجمع یافته است. برای مثال، در سد باطله فلوتاسیون سرچشمه در حدود ۶۰۰ میلیون تن مواد دپو شده است.

۵-۲- مسیر کلی بازیافت باطله کارخانه فلوتاسیون

براساس شکل (۵-۱) مسیر کلی بازیافت باطله کارخانه‌های فلوتاسیون بدین‌صورت است که ابتدا با روش فلوتاسیون باقیمانده مس و مولیبدن موجود در باطله بازیابی شده و کنسانتره مس-مولیبدن تولید می‌شود. باطله خروجی این مرحله وارد مرحله فلوتاسیون پیریت می‌شود که حاصل آن کنسانتره پیریت و باطله سیلیکاتی است. از کنسانتره پیریتی می‌توان به‌عنوان خوراک ورودی برای کارخانه تولید اسیدسولفوریک استفاده کرد و باطله سیلیکاتی نیز به‌عنوان خوراک ورودی برای کارخانه تولید سیمان / ژئوپلیمر / سرامیک در نظر گرفته شده است.



 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 177 of 200

شکل (۵-۱)- مسیر پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله فلوتاسیون و موازنه جرم محصولات قابل انتظار

در دنیا پروژه‌ای که به صورت مجموع و یکجا کل این فرایند به انجام برسد وجود ندارد. اما برخی از موارد آن به صورت جداگانه وجود دارد. برای مثال، کمپانی اتوتک^۱ طی ۶۰ سال اخیر فعالیت‌های زیادی در راستای توسعه فناوری تولید اسید از تشویه پیریت انجام داده است. بزرگ‌ترین ظرفیتی که با این روش کار می‌کرد برابر روزانه ۱۱۳۰ تن پیریت (خوراک ورودی) بود که در ادامه به ۱۸۰۰ تن پیریت در روز توسعه پیدا کرد. [۱] پسماند حاصل از این فرایند (سرباره آهن) از ۵۸ درصد آهن تشکیل شده است و ۸۰ درصد ذرات آن کوچک‌تر از ۵۰ میکرون است و لذا ماده اولیه مناسب برای صنعت سیمان است.

از مهم‌ترین کارخانه‌های تولید اسیدسولفوریک از پیریت در دنیا می‌توان به باندیرما^۲ در ترکیه با ظرفیت تولید ۷۵۰ تن اسید در روز و تونگولینگ^۳ در چین با ظرفیت تولید ۱۲۰۰ تن در روز اشاره کرد. [۱] فلوتاسیون پیریت، یک روش معمول برای حذف گوگرد از کانسنگ‌های آهن و همچنین یک روش معمول برای پرعیارسازی طلا است، چون طلا معمولاً در داخل پیریت و آرسنوپیریت وجود دارد. بنابراین این روش از لحاظ صنعتی قابل اجرا است. برای مثال می‌توان به کارخانه فلوتاسیون پیریت شرکت فرسنیلو^۴ در مکزیک اشاره کرد که روزانه ۱۴۰۰۰ تن باطله فلوتاسیون شده و کنسانتره پیریت تولید می‌شود. [۲] همچنین کارخانه فلوتاسیون پیریت نیژده^۵ متعلق به شرکت گوموستاس^۶ در ترکیه با ظرفیت ۱۵۰ هزار تن در سال برای جدایش پیریت از کانسنگ سولفیدی احداث شده است. [۳]

کارخانه‌های تولید ژئوپلیمر در نقاط مختلف دنیا وجود دارند. با این حال هیچ‌گونه گزارش صنعتی مستقل از پروژه‌ای که مشخصاً استفاده از باطله معدنی در فرایند تولید را بیان نموده باشد، یافت نشد.

۵-۳- باز فراوری باطله جاری کارخانه فلوتاسیون

براساس مطالب ارائه شده در گزارش فاز چهارم، برای بازیابی مس از باطله جاری کارخانه ۲ سناریو موجود است:

- بهینه‌سازی خط کنونی کارخانه و نصب تجهیزات مدرن فلوتاسیون در مسیرهای باطله به صورت جداگانه

¹ Outotec

² Bandirma

³ Tongling

⁴ Fresnillo

⁵ Nigde

⁶ Gumustas

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 178 of 200

- نصب کارخانه جدید فلوتاسیون برای باطله نهایی کارخانه (باطله جاری ورودی به سد باطله)

براساس استدلال‌های انجام‌شده در فصل چهارم، گزینه منتخب برای بازیابی مس از باطله جاری، بهینه‌سازی خط کنونی کارخانه و نصب تجهیزات مدرن فلوتاسیون در مسیرهای باطله به‌صورت جداگانه است. در ادامه بررسی فنی و اقتصادی این پیشنهاد بررسی می‌شود.

۵-۳-۱- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد جریان باطله رافر

محققان مختلفی مطالعات زیادی با اهداف مختلف بر روی مدار فلوتاسیون مس در مجتمع‌های شرکت ملی انجام داده‌اند. از این گزارش‌ها چنین برمی‌آید که در جریان رافر، از لحاظ وزنی، حدود ۵۰ درصد مواد دارای ابعاد درشت و ۵۰ درصد دارای ابعاد ریز است. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که حدود ۳۰ درصد از مس موجود در باطله رافر در فراکسیون درشت‌دانه (بزرگ‌تر از ۱۰۶ میکرون) و ۴۰ درصد از مس در فراکسیون ریزدانه (کمتر از ۳۸ میکرون) هدر می‌رود. هدرروی مس در ابعاد درشت به دلیل درگیری کانی‌های مس با گانگ و عدم توانایی کف برای حمل ذرات آزاد درشت کالکوپیریت است. هدرروی مس در بخش ریزدانه نیز بیشتر به دلیل حضور کانی‌های اکسیدی و حمل شدن ذرات ریز سولفیدهای مس توسط آب به بخش باطله است.

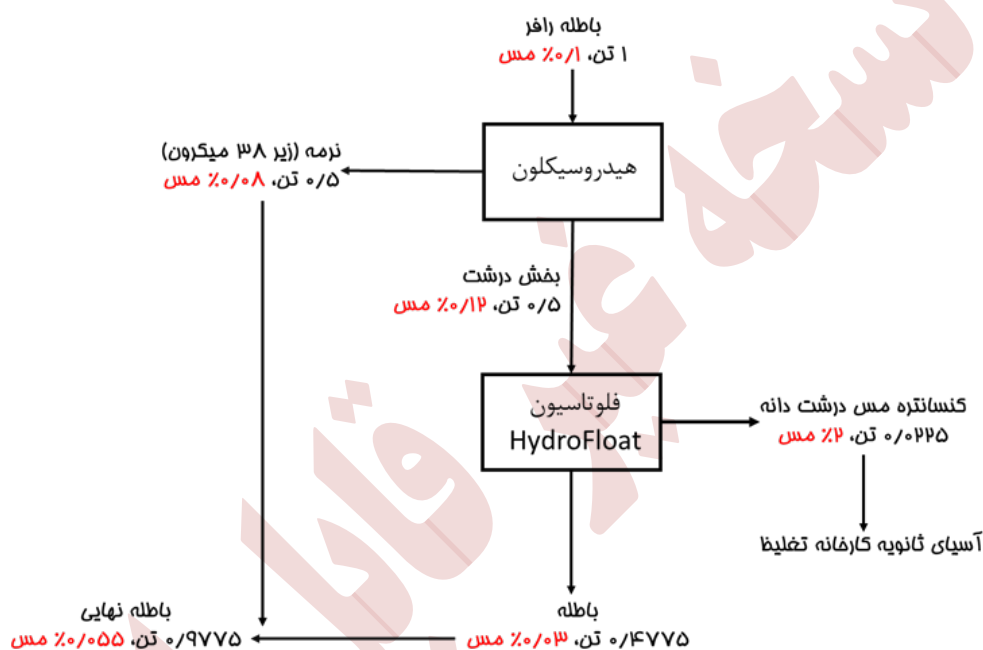
بر این اساس، مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله رافر با استفاده از سلول‌های مدرن و فناوری جدید فلوتاسیون به‌صورت شکل (۵-۲) پیشنهاد می‌شود.

در شکل (۵-۲)، ابتدا با استفاده از هیدروسیکلون، بخش دانه‌ریز باطله از آن جدا می‌شود. با توجه به اینکه عمده تلفات مس در بخش دانه‌ریز به‌صورت کانی‌های اکسیدی مس است، بازیابی آن‌ها به‌صورت اقتصادی امکان‌پذیر نبوده و به باطله نهایی منتقل می‌شود. ۵۰ درصد وزن باطله به بخش ته‌ریز هیدروسیکلون (درشت‌دانه) منتقل می‌شود که حاوی ۶۰ درصد مس محتوی است. ته‌ریز هیدروسیکلون وارد سلول فلوتاسیون با فناوری توسعه داده‌شده برای ذرات درشت (برای مثال Hydrofloat) می‌شود. [۴] با در نظر گرفتن بازیابی ۷۵ درصد برای مس، کنسانتره‌ای با عیار ۲ درصد تولید و در نهایت باطله‌ای با عیار ۰/۰۵۵ درصد به‌عنوان باطله نهایی به سمت مرحله بعد (فلوتاسیون پیریت) خارج خواهد شد. بازیابی کلی مس برابر ۴۵ درصد خواهد بود.

براساس اطلاعات ارائه‌شده در گزارش فاز چهارم، حجم کل باطله تولیدشده در مجتمع‌های سرچشمه، میدوک و سونگون به ترتیب ۳۰، ۷ و ۱۳ میلیون تن است. این باطله ترکیبی از باطله رافر و باطله کلینر است. به لحاظ

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 179 of 200

وزنی، حدود ۸۵ تا ۹۰ درصد باطله از جریان رافر و ۱۰ تا ۱۵ درصد از جریان کلینر است. با توجه به ظرفیت بالای مجتمع مس سرچشمه، محاسبات فنی و اقتصادی بر مبنای ظرفیت باطله جاری سالانه ۳۰ میلیون تن انجام شد. با در نظر گرفتن ۳۳۰ روز کاری، مشخصات جریان‌های باطله به شرح جدول (۱-۵) در نظر گرفته شد. بر این اساس، مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر با ظرفیت ورودی سالیانه ۲۷/۷۲ میلیون تن با عیار مس متوسط ۰/۱ تحلیل و بررسی خواهد شد.



شکل (۲-۵) - مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله رافر با استفاده از سلول‌های مدرن

جدول (۱-۵) - مشخصات جریان‌های باطله جاری در نظر گرفته شده برای بررسی فنی و اقتصادی

نوع جریان	دبی جامد (تن بر ساعت)	عیار متوسط مس (درصد)	ابعاد ذرات (میکرون)	درصد جامد	کانی‌های اصلی مس
باطله رافر	۳۵۰۰	۰/۱	۹۰	۱۷	کالکوپریت، مس اکسیدی
باطله کلینر	۳۵۰	۰/۴	۴۵	۱۷	کالکوپریت

جدول‌های (۲-۵) تا (۴-۵) به ترتیب مشخصات جریان‌های خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر، هزینه سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه عملیاتی سالیانه را نشان می‌دهد.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 180 of 200

جدول (۵-۲) - مشخصات جریان‌های خروجی از فلوتاسیون مجدد باطله رافر

نوع جریان	دبی جامد (تن بر ساعت)	عیار متوسط مس (درصد)
کنسانتره باز فراوری جریان رافر	۷۸/۷۵	۲
باطله باز فراوری جریان رافر	۳۴۲۱/۲۵	۰/۰۵۵

جدول (۵-۳) - مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر

نوع تجهیز	مشخصات	تعداد	قیمت واحد (میلیارد ریال)	قیمت مجموع (میلیارد ریال)
هیدروسیکلون	قطر ۹۰۰ میلی‌متر	۶۴	۱۰	۶۴۰
سلول فلوتاسیون	ظرفیت ۳۰۰ تن بر ساعت جامد، قطر ۵ متر، مدل HydroFloat، شرکت Eriez	۱۵	۲۰۰۰	۳۰۰۰۰
برای باطله رافر				
مخازن آماده‌سازی و مواد شیمیایی				۲۰
پایپینگ				۳۰۰۰
برق و ابزار دقیق				۳۰۰۰
ساخت سوله، نصب و راه‌اندازی				۵۰۰۰
مجموع				۴۱۶۶۰

جدول (۵-۴) - هزینه عملیاتی سالیانه برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر

نوع هزینه	مقدار	قیمت واحد	مجموع (میلیارد ریال)
کلکتور	۱۵۰۰ تن	۷۵۰ میلیون ریال	۱۱۲۵
کف‌ساز	۹۰۰ تن	۱۵۰۰ میلیون ریال	۱۳۵۰
سایر مواد شیمیایی			۹۰۰
(تنظیم‌کننده pH و ...)			
تعمیر و نگهداری	۱۵ درصد هزینه تجهیزات		۶۰۰۰
مصرف انرژی (برق)	۱۳ Kwh بر تن خوراک	۵۴۷۲ ریال بر KWh	۱۹۷۲

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 181 of 200

نیروی انسانی ۲۲۰۰
مجموع ۱۳۵۴۷

درآمد مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر در جدول (۵-۵) ارائه شده است. محاسبه قیمت کنسانتره ۲/۵ درصد بر مبنای مس محتوی، و براساس قیمت‌های درج شده در سامانه انجمن مس ایران [۵] که به صورت روزانه قیمت انواع مواد اولیه مس در آن اعلام می‌شود، محاسبه شده است. در این وبگاه، قیمت کلوخه مس سولفیدی ۱/۵ درصد ۱۷/۸ میلیون ریال بر تن ذکر شده است. بر این اساس، قیمت کلوخه ۲ درصد ۲۴ میلیون ریال بر تن محاسبه می‌شود. به دلیل اینکه کنسانتره تولیدی نسبت به کلوخه ریزتر است و هزینه خردایش ندارد، و یک مرحله فراوری شده است و با توجه به محتوی مولیبدن آن، قیمت آن برابر ۳۰ میلیون ریال بر تن تخمین زده می‌شود. لازم به ذکر است که این یک روش معمول برای تخمین قیمت کلوخه و کنسانتره مس است. محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر در جدول (۵-۶) ارائه شده است. براساس محاسبات انجام شده نرخ بازگشت سرمایه ۱۷/۵ درصد و مدت زمان بازگشت سرمایه ۵/۷ سال است.

جدول (۵-۵)- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر

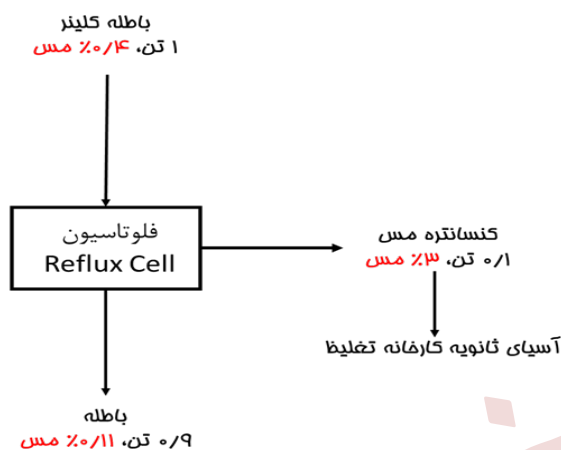
عنوان محصول	تولید سالیانه (تن)	قیمت واحد (میلیون ریال)	مجموع (میلیارد ریال)
کنسانتره مس-مولیبدن (۲ درصد)	۶۹۴۹۸۰	۳۰	۲۰۸۴۹/۴

جدول (۵-۶)- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر

میزان فروش سالیانه	۲۰۸۴۹/۴ میلیارد ریال
مجموع هزینه عملیاتی سالیانه	۱۳۵۴۷ میلیارد ریال
سود ناخالص سالیانه	۷۳۰۲/۴ میلیارد ریال
نرخ بازگشت سرمایه	۱۷/۵ درصد
مدت زمان بازگشت سرمایه	۵/۷ سال

۵-۳-۲- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد جریان جاری کلینر

براساس مراجع مختلف، باطله رمق گیر (باطله مرحله کلینر) ریزدانه بوده (زیر ۴۵ میکرون)، عیار آن کمابیش بالا (۰/۴ درصد مس) و تناژ آن ۱۰ الی ۱۵ درصد کل باطله خروجی کارخانه است. با توجه به ریزدانه بودن این جریان، استفاده از سلول‌های مدرن باقابلیت فراوری ذرات نرمه، برای مثال سلول Reflux ساخت شرکت FLSmidth ضروری است. [۶] بر این اساس، مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله کلینر با استفاده از سلول‌های مدرن و فناوری جدید فلوتاسیون به صورت شکل (۵-۳) پیشنهاد می‌شود:



شکل (۳-۵) - مدار پیشنهادی برای بازیابی مس از جریان باطله کلینر

در مدار شکل (۳-۵)، باطله خروجی از مرحله (رمق گیر) کلینر وارد سلول فلوتاسیون جدید (برای مثال Reflux) شده و حدود ۷۵ درصد مس موجود در آن به صورت کنسانتره‌ای با عیار مس ۳ درصد بازیابی می‌شود و باطله‌ای با عیار مس ۰/۱۱ درصد تولید می‌شود.

براساس جدول (۱-۵)، مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر با ظرفیت ورودی سالیانه ۲/۷۷ میلیون تن با عیار مس متوسط ۰/۴ تحلیل و بررسی خواهد شد.

جدول (۷-۵)، جدول (۸-۵) و جدول (۹-۵) به ترتیب مشخصات جریان‌های خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر، هزینه سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه عملیاتی سالیانه را نشان می‌دهند. درآمد مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر در جدول (۱۰-۵) ارائه شده است.

جدول (۷-۵) - مشخصات جریان‌های خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر

نوع جریان	دبی جامد (تن بر ساعت)	عیار متوسط مس (درصد)
کنسانتره باز فراوری جریان کلینر	۳۵	۳
باطله باز فراوری جریان کلینر	۳۱۵	۰/۱۱

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 183 of 200

جدول (۵-۸)- مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه گذاری ثابت برای مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر

نوع تجهیز	مشخصات	تعداد	قیمت واحد (میلیارد ریال)	قیمت مجموع (میلیارد ریال)
سلول فلوتاسیون برای باطله کلینر مخازن آماده سازی و مواد شیمیایی پایپینگ برق و ابزار دقیق ساخت سوله، نصب و راه اندازی مجموع	سلول Reflux به قطر ۲ متر، شرکت FLSmidth	۱۲	۱۵۰۰	۱۸۰۰۰
			۵	
			۱۸۰۰	
			۱۸۰۰	
			۲۵۰۰	
			۲۴۱۰۵	

جدول (۵-۹)- هزینه عملیاتی سالیانه مدار فلوتاسیون مجدد باطله های کلینر

نوع هزینه	مقدار	قیمت واحد	مجموع (میلیارد ریال)
کلکتور	۲۰۰ تن	۷۵۰ میلیون ریال	۱۵۰
کف ساز	۱۰۰ تن	۱۵۰۰ میلیون ریال	۱۵۰
سایر مواد شیمیایی (تنظیم کننده pH و...)			۱۰۰
تعمیر و نگهداری	۱۵ درصد هزینه تجهیزات		۳۵۰۰
مصرف انرژی (برق)	۱۳ Kwh بر تن خوراک	۵۴۷۲ ریال بر KWh	۲۴۰
نیروی انسانی			۱۵۰۰
مجموع			۵۶۴۰

جدول (۵-۱۰)- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر

عنوان محصول	تولید سالیانه (تن)	قیمت واحد (میلیون ریال)	مجموع (میلیارد ریال)
-------------	--------------------	-------------------------	----------------------

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 184 of 200

۱۲۷۵۱/۲	۴۶	۲۷۷۲۰۰	کنسانتره مس-مولیبیدن (۳ درصد)
---------	----	--------	-------------------------------

جدول (۱۱-۵) - محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر

میزان فروش سالیانه	۱۲۷۵۱/۲ میلیارد ریال
مجموع هزینه عملیاتی سالیانه	۵۶۴۰ میلیارد ریال
سود ناخالص سالیانه	۷۱۱۱/۲ میلیارد ریال
نرخ بازگشت سرمایه	۲۹/۵ درصد
مدت زمان بازگشت سرمایه	۳/۴ سال

محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر در جدول (۱۱-۵) ارائه شده است. براساس محاسبات انجام شده نرخ بازگشت سرمایه ۲۹/۵ درصد و مدت زمان بازگشت سرمایه ۳/۴ سال است. همان گونه که ملاحظه می شود، در فرایند فراوری مجدد باطله کلینر، به دلیل پایین بودن ظرفیت ورودی در مقایسه با مدار فراوری مجدد باطله رافر، محاسبات اقتصادی ۲ طرح تقریباً شبیه هم شده است.

۳-۳-۵- بررسی فنی و اقتصادی فلوتاسیون مجدد باطله رافر و کلینر (احداث هر دو مدار به صورت هم زمان)

در صورتی که ۲ مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر و باطله کلینر به صورت هم زمان احداث شود، محاسبات فنی و اقتصادی آن براساس جدول های جدول (۱۲-۵) تا جدول (۱۶-۵) خواهد بود.

جدول (۱۲-۵) - مشخصات جریان های خروجی از فلوتاسیون مجدد جریان های باطله جاری (جدول ۱-۵)

نوع جریان	دبی جامد (تن بر ساعت)	عیار متوسط مس (درصد)
کنسانتره باز فراوری جریان رافر	۷۸/۷۵	۲
باطله باز فراوری جریان رافر	۳۴۲۱/۲۵	۰/۰۵۵
کنسانتره باز فراوری جریان کلینر	۳۵	۳
باطله باز فراوری جریان کلینر	۳۱۵	۰/۱۱
مجموع کنسانتره تولیدی	۱۱۳/۷۵	۲/۳
مجموع باطله تولیدی	۳۷۳۶/۲۵	۰/۰۶

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 185 of 200

جدول (۵-۱۳)- مشخصات تجهیزات و هزینه سرمایه گذاری ثابت برای مدارهای فلوتاسیون باطله های جاری رافر و کلینر

نوع تجهیز	مشخصات	تعداد	قیمت واحد (میلیارد ریال)	قیمت مجموع (میلیارد ریال)
هیدروسیکلون	قطر ۹۰۰ میلی متر	۶۴	۱۰	۶۴۰
سلول فلوتاسیون برای باطله رافر	ظرفیت ۳۰۰ تن بر ساعت جامد، قطر ۵ متر، مدل HydroFloat، شرکت Eriez	۱۵	۲۰۰۰	۳۰۰۰۰
سلول فلوتاسیون برای باطله کلینر	سلول Reflux به قطر ۲ متر، شرکت FLSmidth	۱۲	۱۵۰۰	۱۸۰۰۰
مخازن آماده سازی و مواد شیمیایی				۲۰
پایپینگ				۳۰۰۰
برق و ابزار دقیق				۳۰۰۰
ساخت سوله، نصب و راه اندازی				۵۰۰۰
مجموع				۵۹۶۶۰

جدول (۵-۱۴)- هزینه عملیاتی سالیانه برای مدارهای فلوتاسیون باطله های جاری رافر و کلینر

نوع هزینه	مقدار	قیمت واحد	مجموع (میلیارد ریال)
کلکتور	۱۷۰۰ تن	۷۵۰ میلیون ریال	۱۲۷۵
کف ساز	۱۰۰۰ تن	۱۵۰۰ میلیون ریال	۱۵۰۰
سایر مواد شیمیایی (تنظیم کننده pH و ...)			۱۰۰۰
تعمیر و نگهداری	۱۵ درصد هزینه تجهیزات		۹۰۰۰
مصرف انرژی (برق)	۱۳ Kwh بر تن خوراک	۵۴۷۲ ریال بر KWh	۲۱۳۴
نیروی انسانی			۲۵۰۰
مجموع			۱۷۴۰۹

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 186 of 200

جدول (۵-۱۵)- برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌های جاری رافر و کلینر

عنوان محصول	تولید سالیانه (تن)	قیمت واحد (میلیون ریال)	مجموع (میلیارد ریال)
کنسانتره مس-مولیبدن (۲ درصد)	۶۹۴۹۸۰	۳۰	۲۰۸۴۹/۴
کنسانتره مس-مولیبدن (۳ درصد)	۲۷۷۲۰۰	۴۶	۱۲۷۵۱/۲
مجموع			۳۳۶۰۰/۶

جدول (۵-۱۶)- محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌های جاری رافر و کلینر

میزان فروش سالیانه	۳۳۶۰۰/۶ میلیارد ریال
مجموع هزینه عملیاتی سالیانه	۱۷۴۰۹ میلیارد ریال
سود ناخالص سالیانه	۱۶۱۹۱/۶ میلیارد ریال
نرخ بازگشت سرمایه	۲۷/۱۴ درصد
مدت زمان بازگشت سرمایه	۳/۷ سال

۵-۴- فلوتاسیون مجدد باطله سد

همان‌گونه که در گزارش فاز چهارم اشاره شد، حدود ۹۰۰ میلیون تن باطله در سدهای باطله دیو شده است که با عیار متوسط ۰/۰۸ درصد محتوی مس آن حدود ۷۲۰ هزار تن است. باز فراوری این باطله‌ها هم از دیدگاه زیست‌محیطی و هم از دیدگاه اقتصادی حائز اهمیت است.

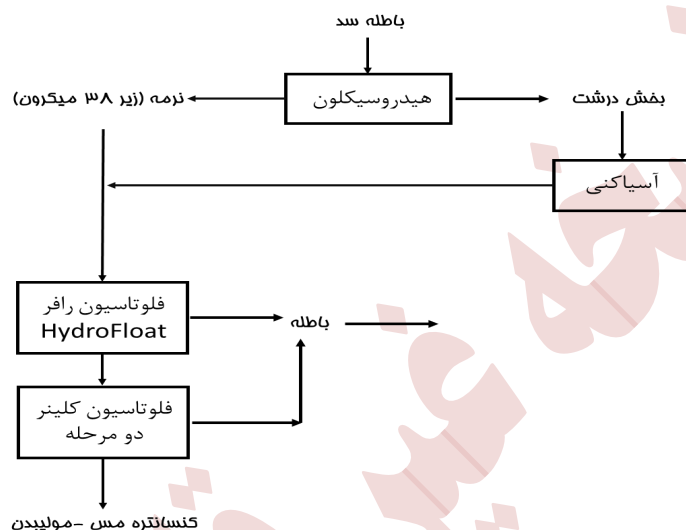
نکته‌ای که باید دقت شود این است که بحث باز فراوری باطله، نخست، یک طرح جامع و کامل است که نیازمند نمونه‌برداری دقیق و مهندسی از سد باطله و انجام آزمایش‌های طراحی کامل است و دوم، بی‌شک باید با ارسال نمونه به شرکت‌های صاحب فناوری آزمایش‌ها با دستگاه‌های جدید که برای باز فراوری باطله توسعه داده شده است، انجام شود.

براساس بررسی‌های انجام‌شده و بر مبنای اطلاعات دریافتی از کارفرما، شرکت نیپک، منسجم‌ترین مطالعه آزمایشگاهی درباره باز فراوری باطله‌های فلوتاسیون، تحقیق انجام‌شده در دانشگاه کرمان است. از این رو نتایج این تحقیق با انجام اصلاحاتی، مانند استفاده از ماشین‌های جدید فلوتاسیون، برای انجام محاسبات فنی و اقتصادی استفاده شد.

همان‌گونه که در گزارش فاز چهارم اشاره شد، برای فراوری مجدد باطله سد استفاده از ماشین‌های جدید فلوتاسیون ضروری است. از این رو مدار فلوتاسیون بر مبنای استفاده از ماشین‌های HydroFloat شرکت Ereiz محاسبه شده است. شکل (۵-۴) دیاگرام بلوکی مدار فلوتاسیون مس-مولیبدن از باطله سد و جدول (۵-۱۷)

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 187 of 200

موازنه جرم کلی مدار را نشان می‌دهد. مدار فلوتاسیون مس-مولیبدن شامل مراحل رافر، کلیئر و رمق‌گیر است. لیست تجهیزات اصلی مدار فلوتاسیون در جدول (۵-۱۸)، هزینه عملیاتی در جدول (۵-۱۹)، هزینه سرمایه‌گذاری ثابت در جدول (۵-۲۰) و برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد در جدول (۵-۲۱) آمده است.



شکل (۵-۴) - دیاگرام بلوکی مدار فلوتاسیون باطله برای تولید کنسانتره مس-مولیبدن و کنسانتره پیریت

جدول (۵-۱۷) - موازنه جرم مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد

نام جریان	وزن %	عیار Cu%	عیار Mo%	بازیابی Cu%	بازیابی Mo%
خوراک ورودی (مدار مس-مولیبدن)	۱۰۰	۰/۰۷۰	۰/۰۰۵۵	۱۰۰	۱۰۰
کنسانتره رافر (ورودی کلیئر ۱)	۳/۳	۱/۵	۰/۱۱۶	۷۵	۷۵
باطله رافر	۹۶/۷۰	۰/۰۲۱	۰/۰۰۱۷	۲۵	۲۵
کنسانتره کلیئر ۱	۰/۴۰	۱۰	۰/۷۶	۸۰	۸۰
باطله کلیئر ۱	۲/۹	۰/۳۴	۰/۰۲۶	۲۰	۲۰
کنسانتره کلیئر ۲ (کنسانتره نهایی)	۰/۲	۱۸	۱	۹۰	۷۰
باطله کلیئر ۲ (ورودی کلیئر ۱)	۰/۲	۲	۰/۴۵۶	۱۰	۳۰

جدول (۵-۱۸) - لیست تجهیزات اصلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد و مشخصات آن‌ها

نوع تجهیز	مشخصات	تعداد	قیمت واحد	قیمت مجموع
-----------	--------	-------	-----------	------------

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 188 of 200

(میلیارد ریال)	(میلیارد ریال)	
۶۴۰	۱۰	۶۴ قطر ۹۰۰ میلی متر هیدروسیکلون
۴۰۰	۲۰۰	۲ طول آسیا ۵/۵ متر، قطر آسیا ۳/۵ متر آسیای گلوله ای
۳۰۰۰۰	۲۰۰۰	۱۵ ظرفیت ۳۰۰ تن بر ساعت جامد، قطر ۵ متر سلول فلوتاسیون HydroFloat
۶۳۰۰	۷۰۰	۹ حجم ۱۳۰ متر مکعب، مرحله اول سلول فلوتاسیون
۴۰۰	۲۰۰	۲ حجم ۲۰ متر مکعب، مرحله دوم کلینر سلول فلوتاسیون
۱۰۰	۱۰۰	۱ تیکنر کنسانتره
۲۰۰	۲۰۰	۱ تیکنر باطله
۱۰۰	۲۵	۴ فیلتر پرس
۵۰۰۰		مخازن آماده سازی و مواد شیمیایی
۱۵۰۰۰		برق و ابزار دقیق
۱۵۰۰۰		پایپینگ
۱۰۰۰۰		نصب و راه اندازی
۱۰۰۰۰		ساختمان و فونداسیون
۷۸۱۴۰		مجموع

جدول (۵-۱۹) - هزینه عملیاتی سالیانه برای کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله

مجموع (میلیارد ریال)	قیمت واحد	مقدار	نوع هزینه
۴۰۰۰			آماده سازی و انتقال مواد
۱۲۷۵	۷۵۰ میلیون ریال	۱۷۰۰ تن	کلکتور
۱۵۰۰	۱۵۰۰ میلیون ریال	۱۰۰۰ تن	کف ساز
۱۰۰۰			سایر مواد شیمیایی
			(تنظیم کننده pH و...)
۱۱۰۰۰		۱۵ درصد هزینه تجهیزات	تعمیر و نگهداری
۲۱۳۴	۵۴۷۲ ریال بر KWh	۱۳ Kwh بر تن خوراک	مصرف انرژی (برق)
۲۵۰۰			نیروی انسانی
۲۳۴۰۹			مجموع

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 189 of 200

جدول (۵-۲۰) - هزینه سرمایه‌گذاری ثابت کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله

نوع هزینه	مجموع (میلیارد ریال)
خرید، ساخت و نصب کارخانه	۷۸۱۴۰
نمونه‌برداری از سد باطله	۵۰۰۰
انجام آزمایش‌های طراحی مهندسی	۴۰۰۰
مجموع	۸۷۱۴۰

جدول (۵-۲۱) - برآورد درآمد کلی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد

عنوان محصول	تولید سالانه (تن)	قیمت واحد (میلیون ریال)	مجموع (میلیارد ریال)
کنسانتره مس-مولیبدن	۴۰۰۰۰	۸۰۰	۳۲۰۰۰

جدول (۵-۲۲) - محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد

میزان فروش سالانه	۳۲۰۰۰ میلیارد ریال
مجموع هزینه عملیاتی سالانه	۲۳۴۰۹ میلیارد ریال
سود ناخالص سالانه	۸۵۹۱ میلیارد ریال
نرخ بازگشت سرمایه	۹/۸ درصد
مدت زمان بازگشت سرمایه	۱۰ سال

محاسبات اقتصادی مدار فلوتاسیون مجدد باطله سد در جدول (۵-۲۲) ارائه شده است. براساس محاسبات انجام‌شده، نرخ بازگشت سرمایه ۹/۸ درصد و مدت زمان بازگشت سرمایه ۱۰ سال است.

۵-۵- باز فرآوری و استفاده مجدد از خروجی مدار فلوتاسیون مجدد باطله‌ها

باطله نهایی خروجی از کارخانه فلوتاسیون مجدد باطله (تولید کنسانتره مس) وارد مدار فلوتاسیون پیریت خواهد شد. کنسانتره پیریتی به‌عنوان خوراک وردی کارخانه تولید اسیدسولفوریک و باطله سیلیکاتی به‌عنوان ماده اولیه برای کارخانه بتن پلیمری استفاده خواهد شد.

  شرکت مهندسی و توسعه صنایع مس ایران	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	 شرکت ملی صنایع مس ایران
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 190 of 200

۵-۵-۱- مدار فلوتاسیون پیریت

فلوتاسیون پیریت در صنعت مرسوم است [۸]. محاسبات مربوط به واحد فلوتاسیون پیریت در جدول (۵-۵) - (۲۳)، جدول (۵-۲۴) و جدول (۵-۲۵) ارائه شده است.

نسخه غیر قابل استناد

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 191 of 200

جدول (۵-۲۳) - مشخصات جریان‌های واحد فلوتاسیون پیریت

نوع جریان	دبی جامد (تن بر ساعت)	عیار متوسط پیریت (درصد)
خوراک ورودی	۳۷۳۶/۲۵	۱۰
کنسانتره پیریت	۴۶۰	۶۵
باطله	۳۲۷۶/۲۵	۲/۲۸

جدول (۵-۲۴) - مشخصات تجهیزات موردنیاز برای مدار فلوتاسیون پیریت

نوع تجهیز	مشخصات	تعداد	قیمت واحد (میلیارد ریال)	قیمت مجموع (میلیارد ریال)
سلول فلوتاسیون	سلول فلوتاسیون دنور ۲۰۰ متر مکعبی	۲۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰۰
تیکنر باطله	بتنی	۱	۲۰۰	۲۰۰
فیلتر پرس		۴	۲۵	۱۰۰
مخازن آماده‌سازی و مواد شیمیایی				۲۰
پایپینگ				۳۰۰۰
برق و ابزار دقیق				۳۰۰۰
ساخت سوله، نصب و راه‌اندازی				۵۰۰۰
مجموع				۳۱۳۲۰

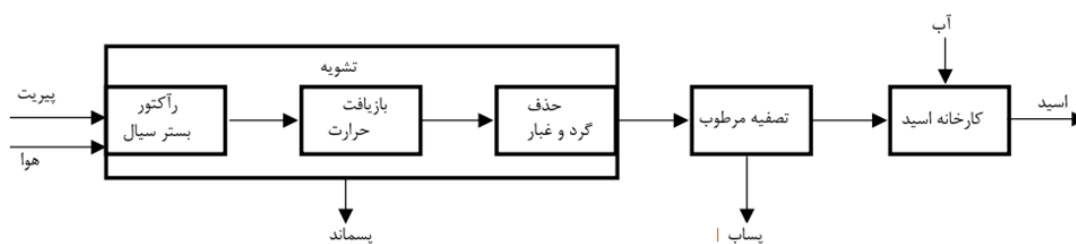
جدول (۵-۲۵) - هزینه عملیاتی سالیانه برای مدار فلوتاسیون پیریت

نوع هزینه	مقدار	قیمت واحد	مجموع (میلیارد ریال)
کلکتور	۱۵۰۰ تن	۷۵۰ میلیون ریال	۱۱۲۵
کف‌ساز	۸۰۰ تن	۱۵۰۰ میلیون ریال	۱۲۰۰
سایر مواد شیمیایی			۶۰۰
(تنظیم‌کننده pH و...)			
تعمیر و نگهداری	۱۵ درصد هزینه تجهیزات		۴۷۰۰
مصرف انرژی (برق)	۱۳ Kwh بر تن خوراک	۵۴۷۲ ریال بر KWh	۱۹۰۰
نیروی انسانی			۲۵۰۰
مجموع			۱۲۰۲۵

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 192 of 200

۵-۵-۲- تولید اسیدسولفوریک از کنسانتره پیریت

کنسانتره خروجی از کارخانه فلوتاسیون پیریت به عنوان خوراک ورودی کارخانه تولید اسیدسولفوریک مورد استفاده قرار خواهد گرفت. شکل (۵-۵) دیاگرام فرایند تولید اسیدسولفوریک از پیریت بر مبنای فناوری SFB را نشان می‌دهد. [۱] مراحل اصلی فرایند عبارت است از تشویه پیریت، تصفیه گاز و تولید اسیدسولفوریک. شرایط عملیاتی کارخانه تولید اسیدسولفوریک در جدول (۵-۲۶) و هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌گذاری آن در جدول (۵-۲۷) و جدول (۵-۲۸) ارائه شده است.



شکل (۵-۵)- فلوجارث تولید اسیدسولفوریک از پیریت (فناوری SFB) [۸]

جدول (۵-۲۶)- شرایط عملیاتی فرایند تولید اسیدسولفوریک از پیریت [۸ و ۱۲]

مقدار	پارامتر
۱۱۰۰۰	خوراک ورودی (تن در روز)
۹۰۰	دمای تشویه (درجه سانتی‌گراد)
۷۹۰	بخار تولیدی (تن در روز)
۴۲۵	پسماند تولیدی (تن در روز)
۱۱۰۰۰	تولید اسید (تن در روز)

جدول (۵-۲۷)- برآورد هزینه عملیاتی کارخانه تولید اسیدسولفوریک از پیریت [۸ و ۱۲]

عنوان	مقدار سالیانه	قیمت واحد	هزینه (میلیارد ریال)
کنسانتره پیریت	۳/۳۶ میلیون تن	۱۱/۹ میلیون ریال	۴۰۰۰۰
گاز طبیعی			۳۰۰۰
برق	۱۱۰۰ Gwh	۵۴۷۲ ریال بر Kwh	۶۰۰۰
آب	۲ میلیون متر مکعب	۲ میلیون ریال	۴۰۰۰

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 193 of 200

۱۰۰	نیروی انسانی
۵۴۰۰	سایر
۵۸۵۰۰	مجموع

جدول (۵-۲۸) - برآورد هزینه سرمایه‌گذاری کارخانه تولید اسیدسولفوریک از پیریت [۸ و ۱۲]

هزینه	عنوان
۲۴۰	هزینه سرمایه‌گذاری ثابت (میلیون یورو)
۲۲۰۰۰	هزینه سرمایه‌گذاری ثابت (میلیارد ریال)
۱۷۸۰۰۰	مجموع سرمایه‌گذاری ثابت (میلیارد ریال)
۲۵	هزینه عملیاتی (یورو بر تن اسیدسولفوریک تولیدی)
۳۶۰۰۰۰	ظرفیت تولید سالانه اسیدسولفوریک (تن)
۹۰	مجموع هزینه عملیاتی (میلیون یورو)
۵۸۵۰۰	مجموع هزینه عملیاتی (میلیارد ریال)
۲۳۶۵۰۰	مجموع سرمایه‌گذاری (میلیارد ریال)

۵-۵-۳- تولید بتن پلیمری از باطله سیلیکاتی

باطله خروجی از کارخانه فلوتاسیون را می‌تواند در تولید سیمان، سرامیک و یا بتن ژئوپلیمری استفاده کرد. براساس بررسی‌های انجام‌شده، به نظر می‌رسد فرایند تولید سرامیک به خوراک اولیه حساس‌تر بوده و استفاده از باطله معدنی در ساخت آن با چالش‌های فنی جدی‌تری روبه‌رو است. افزون‌بر، با توجه به فراوانی منابع معدنی لازم برای تولید سرامیک، اغلب تولیدکنندگان سرامیک و کاشی علاقه‌ای به ریسک در این مورد نداشته و ترجیح می‌دهد فرایند معمول خود را دنبال کنند. در بیشتر مراجع و منابعی که مطالعه شد، استفاده از باطله در ساخت بتن بیشتر مورد توجه بود. بر این اساس، پیشنهاد شد که ادامه فرایند با تولید بتن ژئوپلیمری تکمیل شود.

باطله خروجی از کارخانه فلوتاسیون پیریت وارد کارخانه تولید بتن ژئوپلیمری می‌شود. شکل (۵-۱۰) دیاگرام بلوکی فرایند تولید بتن ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی را نشان می‌دهد.

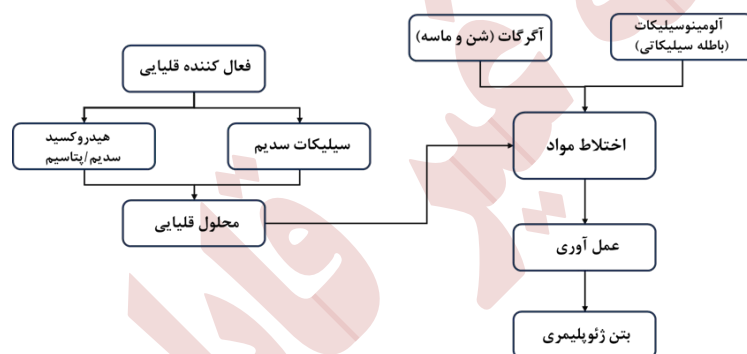
براساس جدول (۵-۲۳)، در هر ساعت ۳۲۷۶ تن باطله سیلیکاتی با عیار پیریت ۲/۲۸ درصد تولید می‌شود که به‌عنوان خوراک ورودی کارخانه بتن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنا بر محاسبات انجام‌شده، به‌ازای هریک تن

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 194 of 200

باطله سیلیکاتی، حدود ۱/۷ تن بتن پلیمری تولید می‌شود. [۱۰-۱۲]

بنابراین اگر خوراک ورودی کارخانه بتن ۲۵ میلیون تن در سال در نظر گرفته شود، ظرفیت تولیدی آن ۴۱/۵ میلیون تن خواهد بود که عدد بسیار بزرگی است. بنابراین محاسبات انجام شده بر مبنای ظرفیت تولید روزانه ۱۰۰۰ تن سیمان پلیمری در نظر گرفته شد.

براساس اطلاعات جدول (۵-۲۹)، برای تولید سالانه ۳۳۰ هزار تن سیمان پلیمری، حدود ۲۰۰ هزار تن باطله سیلیکاتی مورد نیاز است. محاسبات هزینه سرمایه‌گذاری بر مبنای مراجع و مقالات منتشر شده انجام شده است. [۱۰-۱۳] برای مثال، هزینه عملیاتی برای تولید هریک تن بتن ژئوپلیمری بین ۸۵ تا ۹۵ دلار برآورد شده است. بالا بودن هزینه تولید به دلیل مصرف بالای مواد اولیه گران قیمت مانند هیدروکسید سدیم است. (جدول ۵-۳۰ و جدول ۵-۳۱)



شکل (۵-۶) - دیاگرام بلوکی فرایند تولید بتن ژئوپلیمری از باطله سیلیکاتی حاصل از باز فرآوری باطله فلوتاسیون

جدول (۵-۲۹) - مواد مصرفی در فرایند تولید بتن ژئوپلیمری [۱۱-۱۳]

جریان	مقدار	واحد
باطله سیلیکاتی	۲۰۰	هزار تن
آب	۱۲۸	هزار تن
کلرید لیتیوم	۵	هزار تن
سیلیکات سدیم	۲۴	هزار تن
هیدروکسید سدیم	۴/۸	هزار تن
محصول ژئوپلیمر	۳۳۰	هزار تن

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 195 of 200

جدول (۵-۳۰)- برآورد هزینه عملیاتی کارخانه تولید بتن ژئوپلیمری [۱۱-۱۳]

عنوان	هزینه (میلیارد ریال)
مواد شیمیایی	۹۰۰۰
مصالح ساختمانی تکمیلی	۴۰۰۰
گاز طبیعی	۸۰۰
برق	۲۰۰۰
آب	۱۰۰۰
نیروی انسانی	۳۰۰۰
مجموع	۱۹۸۰۰

جدول (۵-۳۱)- برآورد هزینه سرمایه‌گذاری کارخانه تولید بتن ژئوپلیمری

عنوان	هزینه
هزینه ماشین‌آلات و تجهیزات (میلیارد ریال)	۴۵۰۰
مجموع سرمایه‌گذاری ثابت (میلیارد ریال)	۱۰۰۰۰
هزینه عملیاتی (میلیون ریال بر تن)	۶۰
هزینه عملیاتی کل (میلیارد ریال)	۱۹۸۰۰
مجموع سرمایه‌گذاری موردنیاز (میلیارد ریال)	۲۹۸۰۰

جدول (۵-۳۲)- برآورد هزینه سرمایه‌گذاری ثابت کلی طرح استفاده مجدد باطله‌ها

عنوان	هزینه ثابت (میلیارد ریال)
کارخانه فلوتاسیون پیریت	۳۱۳۲۰
کارخانه تولید اسیدسولفوریک	۱۷۸۰۰۰
کارخانه بتن ژئوپلیمر	۱۰۰۰۰
مجموع	۲۱۹۳۲۰

جدول (۵-۳۳)- برآورد هزینه عملیاتی سالیانه طرح استفاده مجدد باطله‌ها

عنوان	(میلیارد ریال)
کارخانه فلوتاسیون پیریت	۱۲۰۲۵
کارخانه تولید اسیدسولفوریک	۵۸۵۰۰
کارخانه بتن ژئوپلیمر	۱۹۸۰۰

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 196 of 200

مجموع	۹۰۳۲۵
-------	-------

جدول (۵-۳۴) - برآورد درآمد کلی طرح استفاده مجدد باطله‌ها

عنوان محصول	تولید سالانه (تن)	قیمت واحد (میلیون ریال)	مجموع (میلیارد ریال)
اسیدسولفوریک	۳۶۰۰۰۰	۱۰	۳۶۰۰۰
سیمان پلیمری	۳۳۰۰۰	۴۰۰	۱۳۲۰۰۰
مجموع			۱۶۸۰۰۰

جدول (۵-۳۵) - محاسبات اقتصادی طرح استفاده مجدد باطله‌ها

مورد	مقدار
میزان فروش سالانه	۱۶۸۰۰۰ میلیارد ریال
مجموع هزینه عملیاتی سالانه	۹۰۳۲۵ میلیارد ریال
سود ناخالص سالانه	۷۷۶۷۵ میلیارد ریال
نرخ بازگشت سرمایه	۳۵ درصد
مدت زمان بازگشت سرمایه	۳ سال

۶-۵- جمع‌بندی

در این گزارش، مسیرهای پیشنهادی برای فراوری مجدد باطله جاری فلوتاسیون (جریان‌های باطله) و باطله سد در مجتمع‌های مس شرکت ملی صنایع مس ایران مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

- استراتژی ارائه‌شده برای باز فراوری باطله‌های در مجتمع‌های شرکت ملی صنایع مس ایران شامل ۲ گام اساسی است: گام اول استحصال مس (و مولیبدن) موجود در باطله به روش فلوتاسیون و گام دوم استفاده مجدد از باطله خروجی و تولید محصولات مانند اسیدسولفوریک و بتن پلیمری
- براساس بررسی‌های انجام‌شده، بهترین سناریو برای باطله جاری، بهینه‌سازی خط کارخانه تغلیظ و نصب سلول‌های نسل جدید فلوتاسیون برای باز فراوری باطله‌های رافر و کلیئر و افزایش راندمان کارخانه است.
- براساس بررسی‌های انجام‌شده، برای سد باطله احداث کارخانه جدید باید بر مبنای تهیه نمونه معرف از سد باطله (بر مبنای محاسبات دقیق و انجام عملیات حفاری) و انجام آزمایش‌های دقیق با سلول‌های فلوتاسیون جدید که برای باز فراوری باطله توسعه داده‌شده‌اند، انجام‌شده و در طراحی و ساخت

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 197 of 200

کارخانه از فناوری‌های جدید بهره گرفته شود.

- در مورد باطله جاری، محاسبات فنی و اقتصادی برای احداث مدار فلوتاسیون مجدد برای باطله رافر و کلینر به صورت جداگانه انجام شد. براساس نتایج، اگرچه ظرفیت ورودی مدار فلوتاسیون مجدد باطله رافر ۱۰ برابر مدار فلوتاسیون مجدد باطله کلینر و هزینه سرمایه‌گذاری ثابت آن نیز ۱/۷ برابر است، با این حال نرخ بازگشت سرمایه و مدت زمان بازگشت سرمایه برای طرح باطله کلینر مناسب‌تر و پارامترهای اقتصادی جذاب‌تری مورد انتظار است. علت این امر بالاتر بودن عیار مس در باطله کلینر نسبت به باطله رافر (۰/۴ در برابر ۰/۱)، راندمان بهتر و هزینه سرمایه‌گذاری کمتر است.
- احداث کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله از جذابیت اقتصادی کمتری برخوردار است. نیاز ضروری این طرح به انجام عملیات نمونه‌برداری سامان‌مند و همچنین عملیات استخراج مواد از سد باطله، تهیه پالپ و انتقال آن به کارخانه و همچنین مصرف بالاتر آب، سبب افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی طرح و در نهایت کاهش جذابیت پارامترهای اقتصادی طرح شده است.
- احداث کارخانه فلوتاسیون مجدد برای سد باطله با دو چالش اساسی روبه‌رو است: چالش اول تهیه نمونه معرف از سد باطله است. تغییرات شدید کانی‌شناسی، ترکیب شیمیایی، ابعاد ذرات و رطوبت در مناطق مختلف سد باطله، تهیه نمونه معرف از آن را با چالش جدید روبه‌رو کرده است. چالش دوم، تأمین آب مورد نیاز برای کارخانه فلوتاسیون مجدد سد باطله است. این مطلب در گزارش چهارم به تفصیل بررسی شده است.
- یکی از چالش‌های مهم این پروژه بحث عرضه و فروش اسیدسولفوریک است. در حقیقت اسیدسولفوریک به صورت یک محصول اجباری برای صیانت از محیط‌زیست برشمرده می‌شود که بدون تولید آن در عمل توسعه پایدار روی نمی‌دهد. یعنی بسیاری از باطله‌های صنایع و معادن ترکیبات سولفیدی جامد یا گازی است که باید برای حفظ محیط‌زیست به اسیدسولفوریک تبدیل شود. در برخی کشورها مانند آلمان، به دلیل صنعتی بودن، بخش اعظم اسیدسولفوریک تولیدی در صنایع پایین‌دستی مصرف می‌شود اما برخی کشورهای دیگر مانند ژاپن، یا اسید را صادر می‌کنند یا با سایر محصولات کشورهایی مانند شیلی تهاتر می‌کنند. بنابراین، برای فروش محصول اسیدسولفوریک تولیدی ۲ راه وجود دارد: اول افزایش کیفیت اسید و صادرات آن و دوم توسعه صنایع پایین‌دستی مصرف‌کننده اسیدسولفوریک مانند صنایع تولید کود شیمیایی. به هر حال، بحث عرضه و تقاضای

	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 198 of 200

اسیدسولفوریک یک بحث جامع و ملی و منطقه‌ای است.

- در مورد کارخانه تولید بتن پلیمری نیز دو چالش وجود دارد. از لحاظ پژوهشی، مطالعات زیادی برای تولید بتن پلیمری از باطله معدنی به انجام رسیده است. باین حال، هیچ گونه گزارشی مبنی بر اجرای طرح با مقیاس صنعتی مشاهده نشده است. از این رو، انجام بررسی‌های بیشتر در این زمینه ضروری است. از لحاظ اقتصادی، بحث ظرفیت تولید و عرضه محصول باید مد نظر قرار گیرد. به نظر می‌رسد، میزان ظرفیت تولید اشاره شده در طرح بسیار بیشتر از نیاز داخل کشور است و باید بحث صادرات مورد توجه قرار گیرد.

۵-۷- اولویت‌بندی ادامه مطالعات بر روی باز فراوری باطله

با توجه به نتایج حاصل از گزارش حاضر، اولویت ادامه مطالعات برای باز فراوری باطله به شرح ذیل پیشنهاد می‌شود:

اول) فلوتاسیون مجدد باطله کلینر: پایش مدار کلینر، عیب‌یابی و بهینه‌سازی مدار برای تولید باطله با کمترین هدرروی مس، بررسی فراوری مجدد باطله کلینر با فناوری‌های جدید

دوم) فلوتاسیون مجدد باطله رافر: پایش مدار رافر، عیب‌یابی و بهینه‌سازی مدار برای تولید باطله با کمترین هدرروی مس، بررسی فراوری مجدد باطله رافر با فناوری‌های جدید

سوم) فلوتاسیون مجدد سد باطله: نمونه‌برداری سامان‌مند، بررسی فراوری مجدد باطله سد با فناوری‌های جدید

چهارم) مطالعات بازار تولید اسیدسولفوریک و بتن پلیمری از باطله فلوتاسیون

۵-۸- مسیر بهینه برای انجام مطالعات باز فراوری باطله

در این پروژه مطالعات جامعی در مورد وضعیت و حجم تولید باطله فلوتاسیون مس در ایران، مشخصات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها، مسیرهای مختلف برای باز فراوری آن‌ها و مهم‌ترین فناوری‌های موجود به انجام رسید. با نمونه‌برداری از سدهای باطله مجتمع‌های مس اصلی موجود در کشور، آنالیزهای شیمیایی و کانی‌شناسی بر روی آن‌ها انجام شد و عناصر هدف که می‌تواند در فرایند باز فراوری استحصال شود، مشخص شد. روش‌های متداول برای باز فراوری باطله از دیدگاه کارایی، راندمان، نوع محصول، فناوری‌های موجود و قابلیت دسترسی بررسی شد. در نهایت، بهترین مسیرهای ممکن مشخص و از دیدگاه فنی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده و بهینه‌ترین حالت پیشنهاد شده است.

به‌منظور انجام یک تحقیق عملیاتی باهدف باز فراوری باطله فلوتاسیون در مجتمع‌های شرکت ملی صنایع مس

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 199 of 200

ایران، مراحل زیر ضروری است:

- نمونه برداری سامان مند: نمونه برداری اصولی، علمی و سامان مند از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. برای انجام تحقیق در مورد باز فرآوری باطله، چه از جریان های باطله جاری و چه از سد باطله، باید عملیات نمونه برداری دقیقی طرح ریزی و انجام شود. بدیهی است اعتبار مطالعات بعدی منوط به صحت و دقت این مرحله است.
- انجام مطالعات شناسایی: نمونه های تهیه شده باید با مدرن ترین روش های موجود آنالیز شده و ترکیب شیمیایی و کانی شناسی و توزیع دانه بندی آن ها به صورت دقیق تعیین شود. استفاده از دستگاه های پیشرفته مانند کانی شناسی QEMScan به شدت توصیه می شود.
- انجام مطالعات آزمایشگاهی و پایلوت: مطالعات آزمایشگاهی ناپیوسته و پیوسته با استفاده از تجهیزات مدرن مانند سلول های فلوتاسیون توسعه یافته برای باز فرآوری باطله ها ضروری است. بدیهی است انجام تحقیق تنها با سلول های آزمایشگاهی رایج نتیجه مطلوبی را به دست خواهد داد. در این راستا ارسال نمونه های معرف به شرکت های دارای فناوری (براساس فصل چهارم) گامی اساسی در راستای تحقق اهداف خواهد بود.
- انجام مطالعات فنی و مهندسی: با استفاده از تجربه ارزشمند کارکنان فعال در صنعت مس، الزامات اجرایی طرح مانند تأمین آب، برق، امکان سنجی انتقال مواد و امکان تأمین تجهیزات مدرن از خارج کشور بررسی شده و ملاحظات فنی و اجرایی طرح در کمیته های تخصصی مورد بحث قرار گیرد.
- انجام مطالعات اقتصادی: براساس نتایج حاصل از مراحل قبل، تحلیل اقتصادی طرح مجدد بازبینی شده و پارامترهای اقتصادی آن مانند نرخ و مدت زمان بازگشت سرمایه مشخص شود.

 	National Iranian Copper Industries Company (NICICO)	
Document No.	Reprocessing of Flotation Tailings	Page
28Z0-M-3NP-TRP-099-GN-071	گزارش نهایی شامل فایل نهایی و اصلاح شده فازهای پنج گانه بازفرآوری باطله فلوتاسیون	Page 200 of 200

منابع فصل پنجم

- [1] Runkel, M., & Sturm, P. (2009). Pyrite roasting, an alternative to sulphur burning. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 109(8), 491-496.
- [2] <https://www.fresnilloplc.com/portfolio/mines-in-operation/saucito/pyrites-plant/>
- [3] www.gumustasmaden.com.tr
- [4] Awatey, B., Thanasekaran, H., Kohmuench, J. N., Skinner, W., & Zanin, M. (2013). Optimization of operating parameters for coarse sphalerite flotation in the HydroFloat fluidised-bed separator. *Minerals Engineering*, 50, 99-105.
- [5] <https://cu-ir.com/copper-day-price>
- [6] Jiang, K., Dickinson, J. E., & Galvin, K. P. (2019). The kinetics of fast flotation using the reflux flotation cell. *Chemical Engineering Science*, 196, 463-477.
- [7] Rinne, A., & Peltola, A. (2008). On lifetime costs of flotation operations. *Minerals Engineering*, 21(12-14), 846-850.
- [8] Santander, M., & Valderrama, L. (2019). Recovery of pyrite from copper tailings by flotation. *Journal of Materials Research and Technology*, 8(5), 4312-4317.
- [9] Abbas, R., Khereby, M. A., Ghorab, H. Y., & Elkhoshkhany, N. (2020). Preparation of geopolymer concrete using Egyptian kaolin clay and the study of its environmental effects and economic cost. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22, 669-687.
- [10] Oyeibisi, S. O. L. O. M. O. N., Ede, A. N. T. H. O. N. Y., Olutoge, F. E. S. T. U. S., Ofuyatan, O. L. A. T. O. K. U. N. B. O., & Alayande, T. O. L. U. L. O. P. E. (2019, May). Building a sustainable world: Economy index of geopolymer concrete. In 10th International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-10) (pp. 20-25).
- [11] Scaratti, G., Wermuth, T. B., Arcaro, S., Montedo, O. R. K., de Oliveira, E. M., de Oliveira, E. M., ... & De Noni Junior, A. (2021). Conceptual design and cost analysis of a large - scale plant for converting red mud into building materials. *International Journal of Ceramic Engineering & Science*, 3(6), 279-286.
- [12] Adrianto, L. R., & Pfister, S. (2022). Prospective environmental assessment of reprocessing and valorization alternatives for sulfidic copper tailings. *Resources, Conservation and Recycling*, 186, 106567.
- [13] Thaarrini, J., & Dhivya, S. (2016). Comparative study on the production cost of geopolymer and conventional concretes. *International Journal of Civil Engineering Research*, 7(2), 117-124.