چهارمین کنگره و نمایشگاه بین المللی معدن و صنایع معدنی ایران
ششمین کنفرانس مهندسی معدن ایران
آبان ماه ۱۳۹۵ - تهران

بررسی اثرات استفاده از پساب بر فلوتاسیون گالن

محمدرضا باقری[۱]، محمودرضا شاهوردی[۱]، احمد خدادادی دربان[۱*]، محمود عبدالهی[۱]؛

[۱*] دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی معدن، akdarban@modares.ac.ir

چکیده

در سال‌های اخیر بحران کمبود آب، به یکی از بزرگ‌ترین مشکلات کشور تبدیل شده که صنایع معدنی نیز از این امر مستثنی نیستند. از طرفی، ورود پساب‌های معدنی به محیط‌زیست نیز با مقررات سخت گیرانه‌تری از طرف سازمان‌های حامی محیط‌زیست روبه رو است. صنایع معدنی برای فائق آمدن بر این مشکل به بازیافت آب روی آورده‌اند. استفاده مجدد از آب منجر به ورود ناخالصی‌هایی در آب فرایند می‌گردد. این ناخالصی‌ها با فعال کردن و یا بازداشت کردن برخی کانی‌ها، کارایی فرآیندهایی نظیر فلوتاسیون را دچار مشکل می‌کنند. در این مطالعه با استفاده از خوراک معدن باما، مشکلات استفاده از پساب در فلوتاسیون گالن بررسی‌شد. از پساب و آب فرآیندی در قسمت‌های مختلف کارخانه نمونه‌برداری به‌عمل‌آمد و سپس با انجام آزمایش‌هایی نوع و مقدار ناخالصی‌های موجود در آنها شناسایی شد. در ادامه مطالعات آزمایش‌های فلوتاسیون مشابه فرایند کارخانه با استفاده از پساب انجام‌شد. استفاده از پساب منجر به کاهش عیار به میزان ۶ درصد و افزایش بازیابی به‌میزان ۱ درصد نسبت به آب شیرین ورودی شد.

واژه‌های کلیدی

گالن، پساب، فلوتاسیون، آب فرآیندی

۱ - مقدمه

فرایند فلوتاسیون روشی موثر در پر عیار سازی کانه‌های کم عیار است. در این روش حجم بسیار زیادی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این روش، می‌توان کانی‌های سولفیدی مس، سرب، روی و ... را به‌طور انتخابی بازیابی کرد.

در این روش براساس تفاوت در خواص شیمی فیزیکی سطوح، کانی‌ها از یکدیگر جدا می‌شوند. از آنجا که عملیات فلوتاسیون بر اساس این خواص سطحی استوار است کارآیی آن به‌شدت به کیفیت آب مصرف شده در فرآیند بستگی دارد.

با توجه به کمبود منابع آب و افزایش تقاضای آب در بخش‌های مختلف بی‌شک یکی از مشکلات در صنایع معدنی به‌خصوص بخش‌های مربوط به فراوری مواد معدنی کمبود آب است. در ایران، ۱/۱ میلیارد متر مکعب آب در بخش معادن استفاده می‌شود که ۵۴ درصد آن از آبهای زیرزمینی تامین می‌شود. کمبود منابع آبی همواره به‌عنوان یک عامل محدود کننده فعالیت‌ها در سطح کشورمطرح بوده است[۱]. مدیریت منابع آب در این زمینه یک نگرانی مهم جهانی است. این امر به‌دلیل ارتباط نزدیک محیط زیست و زندگی انسان است. بنابراین استفاده مجدد از آب یک راه حل عملی برای مدیریت کمبود آب است. از آنجایی که یکی از بزرگترین مصرف کنندگان آب‌های زیر زمینی، صنعت معدن کاری است لذا به‌نظر می‌رسد تنها راه حل در مناطقی با منابع محدود آب تازه، استفاده از آب دریا و آب‌های الکترولیتی برگشتی از کارخانه در عملیات فرآوری مواد معدنی است.

در کارخانه‌های فراوری که به شیوه تر کار می‌کنند، باطله‌های خارج شده از این کارخانه‌ها به‌صورت پالپ بوده و میزان زیادی آب در آنها وجود دارد. این صنایع تا زمانی که

دچار کمبود آب نشوند و یا تحت فشار قوانین زیست محیطی قرار نگیرند، این پساب‌ها را بدون بازیافت وارد محیط می‌کنند. اما امروزه به‌دلایل متعددی آب موجود در باطله از آن بازیافت می‌شود که به این آب، آب فرایندی می‌گویند. این آب دارای ناخالصی‌های زیادی است به‌همین دلیل مشکلاتی را برای فراوری مواد معدنی ایجاد می‌کند.

ترکیبات موجود در آب بازیافتی کارخانه بستگی به منبع آب، مواد معدنی در حال فراوری و مواد شیمیایی مصرف شده دارد[۲].

امروزه به دلایل زیر استفاده از آب بازیافتی در کارخانه رو به افزایش است:

- دسترسی ناکافی به آب تازه در مناطقی که دچار کمبود آب هستند[۴].
- مصرف آب در محیطی که در آن کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی احداث می‌شود منجر به کاهش منابع آب محلی بوده و استفاده دیگر کاربران از این آب را دچار مشکل می‌کند[۲].
- تولید و حمل و نقل آب شیرین هزینه بالایی داشته و منجر به افزایش هزینه‌های عملیاتی کارخانه می‌شود [۴،۲].
- تأثیر مضر پساب حاصل از عملیات کانه‌آرایی روی محیط زیست به‌دلیل مواد جامد معلق و مواد شیمیایی سمی در آن [۲].
- فشارهای اجتماعی و قوانین دولتی که برای اطمینان از حفاظت محیط زیست وضع شده است [۴].

در یک کارخانه فراوری آب بازیافتی از سد باطله، تیکنر و واحد فیلتراسیون جمع آوری می‌شود. رایج‌ترین آلاینده‌ها در آبهای بازیافتی موجود در کارخانه فراوری به شرح زیر است:

- مواد کلوئیدی مانند سیلیکات‌ها، رسوب هیدروکسید فلزی و غیره[۳].
- یون‌هایی مانند کلسیم، سدیم، منیزیم، سولفات، سولفید و یون‌هایی که پایه‌ی فلزی دارند مانند pb^{2+} و Fe^{2+} [۳].
- مواد شیمیایی باقی‌مانده در آب مانند کفسازها، تنظیم کننده‌ها، بازداشت کننده‌ها و غیره[۳].
- مواد شیمیایی مورد استفاده در فرایند مانند گزنتات باقی‌مانده که به عنوان یک ماده سمی شناخته شده و اجزای اکسیدی آن که روی اکثر سولفیدها جذب می‌شود [۳].

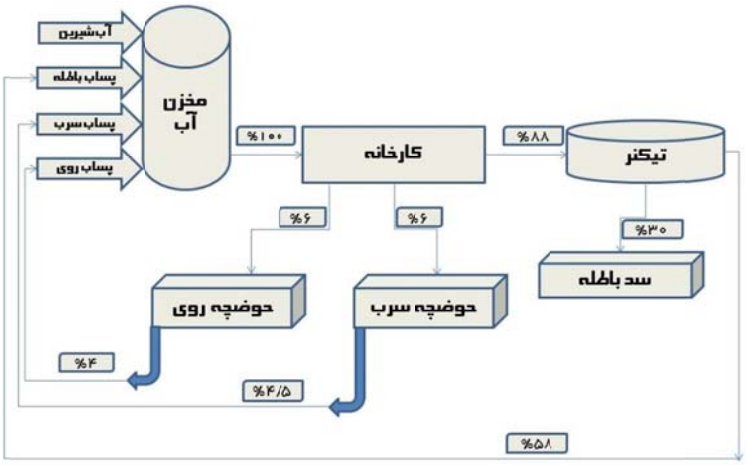
۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- کانسنگ

برای انجام این تحقیق از نمونه‌های کارخانه فراوری مجتمع باما استفاده شد. نمونه‌ها بعد از مرحله سنگ شکنی و قبل از مرحله آسیا در یک شیفت کاری از مدار در فواصل زمانی ۳۰ دقیقه در ۱۶ نوبت به‌دست آمد. وزن نمونه‌ها حدود ۲۶۰ کیلوگرم بود که بعد از انتقال به آزمایشگاه کارخانه فراوری توسط سنگ‌شکن استوانه‌ای خردشده و با استفاده از سرند ۴ مش تک سایز شد. این نمونه از کانی‌های سولفیدی کم عیار معدن تپه سرخ حاصل شد که عناصر موجود در نمونه بر اساس آزمایش‌های XRF و XRD در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج نیمه‌کمّی بر اساس آنالیز XRF

عناصر و اکسیدهای اصلی	مقدار ٪	عناصر و اکسیدهای اصلی	مقدار ٪
Na_2O	۰/۲۹۷	MnO_2	۱/۰۶۶
MgO	۱۱/۶۴۴	Fe_2O_3	۵/۲۰۱
Al_2O_3	۴/۶۰۷	Zn	۲/۳۰۲
SiO_2	۱۶/۸۱۲	Sr	۰/۰۴۳
P_2O_5	۰/۰۲۸	Zr	۰/۰۱۱
SO_3	۲/۵۹۱	Ba	۱/۱۷۳
K_2O	۰/۹۲۵	Pb	۰/۶۸۸
CaO	۲۳/۵۷۳	L.O.I	۲۸/۸۴
TiO_2	۰/۱۹۹		



شکل ۱ : چرخه آب در کارخانه باما

جدول ۲: نتایج آنالیز کیفی XRD

دولومیت	$Ca\ Mg(CO_3)_2$
کوارتز	SiO_2
مسکوویت	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
اسفالریت	ZnS
کلسیت	$CaCO_3$
گالن	PbS

۲-۲- نمونه گیری از پساب

در شکل ۱ چرخه آب در کارخانه باما آورده شده است. اعداد نمایش داده شده بر روی شکل درصد آب وارد شده به هر قسمت را نمایش می دهد.

از هر یک از آبهای وارد شده به مخزن آب قبل از وارد شدن به مخزن نمونه گیری به‌عمل آمد.

۲-۳- مشخصات پساب کارخانه

منشا ناخالصی‌های موجود درآب را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. دسته اول ناخالصی هایی که در آب شیرین (آب معدن کلاه دروازه) موجود است. این ناخالصی‌ها به‌دلیل انحلال برخی از کانی‌ها در آب به‌وجود آمده است. بنابر این چون سنگ بستر معدن از جنس دولومیت است باید مقدار کلسیم و منیزیم آب اندازه‌گیری شود. همچنین حضور کانی‌های گالن، اسفالریت و پیریت منجر به انحلال مقداری سرب، روی و آهن در آب می‌گردد. منشا دیگر ناخالصی‌های آب مواد شیمیایی است که در خلال فرایند فلوتاسیون به آب اضافه می‌گردد مانند گزنتات و سولفات مس. همچنین برخی از پارامترها که معرف کیفیت آب هستند باید اندازه‌گیری شوند. پارامترهای اندازه‌گیری شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: ترکیبات موجود در پساب معدن باما

نام ترکیب	واحد	کمترین مقدار (آب شیرین)	بیشترین مقدار (پساب)
گزنتات	ppm	۰	۱/۵
سولفات	ppm	۵۶۰	۱۶۰۰
نیترات	ppm	۲/۵	۹/۴
سیانور	ppm	۰	۰/۴۵
TDS	ppm	۲۶۰	۳۷۰
pH	_____	۷.۹۵	۸.۲۵
Eh	mV	۱۵۰	۲۵۰
EC	ms/cm	۰/۳۴	۴/۲۸
منیزیم	ppm	۱۴۰	۷۴۰
کلسیم	ppm	۱۳۰	۵۰۰
سرب	ppm	۰/۲	۲/۵
روی	ppm	۰/۴	۱/۴
آهن	ppm	۰/۱۸	۰/۳۷
مس	ppm	۰	۲

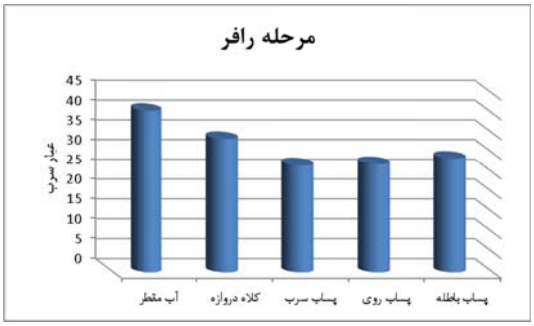
۲-۴-نحوه‌ی انجام آزمایش فلوتاسیون:

برای انجام آزمایش فلوتاسیون از دستگاه فلوتاسیون با حجم سلول ۲۵۵۰ سانتی متر مکعب با دور موتور ۸۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد در این آزمایش‌ها از اتیل گزنتات و امیل گزنتات به‌عنوان کلکتور، سولفات روی و سیانور به‌عنوان بازداشت کننده و سولفات مس به‌عنوان فعال کننده استفاده شد. برای تنظیم pH از آهک و اسید هیدروکلریدریک استفاده گردید. با هر یک از پساب‌ها نقاط مختلف فرایند و همچنین آب ورودی آزمایش‌ها تکرار شد.

شکل ۲: دستگاه فلوتاسیون

۳- نتایج و بحث

بعد از نمونه‌گیری از هر یک از پساب‌های کارخانه (پساب کنسانتره سرب، پساب کنسانتره روی و پساب باطله) و آب شیرین آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از آن‌ها انجام شد. شکل ۳ نتایج عیار هر یک از آزمایش‌ها در مرحله رافر را نشان می‌دهد. برای مقایسه بهتر میانگین نتایج آزمایش‌هایی که آب مقطر انجام‌شده، نیز آورده شده است.



شکل ۳: نتایج درصد عیار سرب در آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از پساب‌های مختلف

این نتایج نشان می‌دهد که در زمان استفاده از پساب‌ها عیار کنسانتره کاهش می‌یابد همچنین در مقایسه آب شیرین کارخانه که از معدن کلاه دروازه تأمین می‌گردد با آب مقطر، دریافته شد که این آب نیز عیار را کاهش می‌دهد. نتایج آب مقطر میانگین نتایج۳ آزمایش است. آزمایش‌های انجام‌شده بر روی آب مقطر به‌منظور شناسایی مقدار خطا در انجام آزمایش‌ها بوده است. خطای آزمایش‌های انجام‌شده انسانی بوده و ارتباطی به نوع آب نداشت بنابراین خطای به‌دست‌آمده با استفاده از آب مقطر به تمام پساب‌ها نسبت داده شد. در جدول ۴ نتایج عیار سرب آزمایش‌های انجام‌شده با استفاده از آب مقطر و همچنین مقدار واریانس داده‌ها نشان داده‌شده است.

جدول ۴: تعیین خطای عیار آزمایش‌ها برحسب درصد

	عیار سرب(٪)	عیار روی(٪)
آزمایش شماره ۱	۳۹/۹	۱/۹۲
آزمایش شماره ۲	۴۱/۶	۱/۷۴
آزمایش شماره ۳	۴۰/۷	۲/۱
میانگین	۴۰/۷۳۳	۱/۹۲
واریانس	۰/۷۲۳	۰/۰۳۲۴

همچنین در ادامه با داشتن وزن کنسانتره‌های حاصل‌شده مقدار بازیابی برای آب مقطر به‌دست آمد. این نتایج به‌همراه واریانس و میانگین در جدول ۵ نشان داده‌شده است. مقدار خطا در بازیابی نسبت به عیار بیشتر بوده که می‌تواند به‌دلیل اضافه شدن خطای وزن کردن به مجموع خطا باشد.

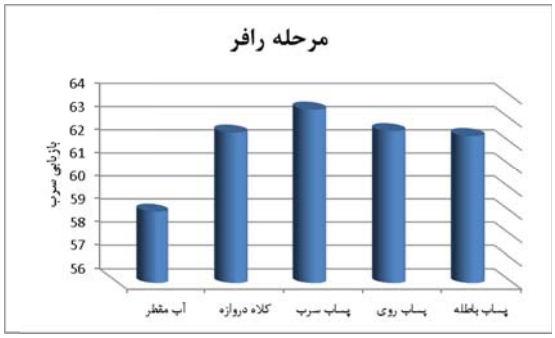
جدول ۵: نتایج خطای بازیابی آزمایش‌ها برحسب درصد

	بازیابی سرب(٪)	بازیابی روی(٪)
آزمایش شماره ۱	۶۰/۸۶	۱۰/۵۵
آزمایش شماره ۲	۵۷/۱۵	۹/۴۰
آزمایش شماره ۳	۵۸/۷۹	۱۱/۸۴
میانگین	۵۸/۹۳	۱۰/۶۰
واریانس	۳/۴۶	۱/۴۸

در این آزمایش‌ها تمامی شرایط یکسان بوده و فقط تغییرات در آبی بود که برای انجام آزمایش استفاده گردید. همچنین تفاوت در این آب‌ها به‌میزان ناخالصی موجود در

پساب بستگی داشت؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت وجود ناخالصی‌ها در پساب منجر به کاهش عیار در فلوتاسیون گالن می‌گردد. این ناخالصی‌ها در آب شیرین (کلاه دروازه) نیز وجود داشته است. اختلاف موجود در بین نتایج آب کلاه دروازه و پساب‌ها بیشتر از خطای آزمایش‌ها است. این نشان‌دهنده معنی‌دار بودن این اختلاف است.

برای درک بهتر این موضوع میزان بازیابی سرب در کنسانتره برای هر یک از این آزمایش‌ها محاسبه گردید. در شکل ۴ بازیابی‌ها آورده شده است.



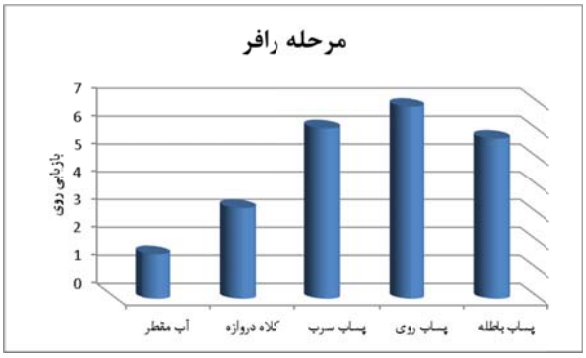
شکل ۴: نتایج درصد بازیابی سرب در آزمایش‌های فلوتاسیون با پساب‌های مختلف

همان‌طور که در شکل۴ مشاهده می‌شود در زمان استفاده از پساب برای فلوتاسیون میزان بازیابی افزایش‌یافته است. به‌دلیل بیشتر بودن این مقدار نسبت به خطای آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت این افزایش تصادفی نبوده است. علت افزایش بازیابی ناخالصی‌های موجود در پساب است. فرض کارکنان کارخانه بر این بود که کلکتور باقیمانده در پساب باعث این تغییرات شده و آبران کردن غیرانتخابی کانی‌ها عیار را کاهش داده و بازیابی را افزایش می‌دهد؛ اما مقایسه آب مقطر با آب کلاه دروازه نشان می‌دهد که در این آب نیز عیار کاهش و بازیابی افزایش‌یافته است. این در حالی است که بی‌شک در آب کلاه دروازه هیچ کلکتوری وجود ندارد پس می‌توان نتیجه گرفت عامل دیگری غیر از کلکتور باقی‌مانده نیز در آن دخیل بوده است. ولی تأثیر آن نسبت به بقیه پساب‌ها کمتر است.

یکی دیگر از مسائلی که در کارخانه اهمیت داشت عیار روی در کنسانتره سرب بود. وجود روی در کنسانتره سرب اگر از مقداری بیشتر شود کارخانه باید جریمه پرداخت نماید. در شکل ۵ نتایج عیار روی در کنسانتره آورده شده است.

شکل ۵: نتایج درصد عیار روی در آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از پساب‌های مختلف

وجود روی در کنسانتره نباید بیشتر از ۶ درصد باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود عیار روی در کنسانتره سرب در زمان استفاده از پساب روی بیش از ۶ در صد است. از طرفی این افزایش چون بیش از مقدار خطای آزمایش‌ها بوده معنی‌دار است؛ اما در کارخانه بعد از مرحله رافر مرحله کلینر قرار دارد که با اضافه کردن بازداشت کننده روی عیار سرب را افزایش و عیار روی را کاهش می‌دهد. در این تحقیق چون وزن کف حاصل‌شده کم است نمی‌توان مرحله کلینر را اضافه کرد؛ اما با انجام آنالیزها در مدار کارخانه مشخص‌شده که اگر در مرحله رافر عیار روی کمتر از ۹ درصد باشد، در مرحله کلینر عیار به زیر ۶ درصد می‌رسد. البته روی واردشده در کنسانتره سرب ازدست‌رفته و باید مقدار آن کاهش یابد. در شکل ۶ بازیابی روی آورده شده است.



شکل ۶: نتایج درصد بازیابی روی در آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از پساب‌های مختلف

در شکل ۶ مشاهده می‌شود که استفاده از آب برگشتی مقدار زیادی روی را وارد کنسانتره سرب کرده است. روی

موجود در کنسانتره سرب هیچ قیمتی ندارد و عملاً از بین رفته است که باعث وارد آمدن خسارت به کارخانه می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

- با بررسی مطالعات کانی‌شناسی و میکروسکوپی مشخص گردید کانی‌های غالب در خوراک کارخانه فراوری باما دولومیت، کوارتز، مسکویت، اسفالریت، کلسیت و گالن هستند.
- ناخالصی‌های موجود در پساب کارخانه باما منجر به کاهش عیار و افزایش بازیابی در فلوتاسیون گالن شد.
- افزایش بازیابی سرب را می‌توان به حضور کاتیون‌های فلزی مانند مس و نقره نسبت داد که منجر به فعال‌سازی گالن با درجه آزادی‌های کمتر می‌شود.
- پایداری فاز کف از عوامل افزایش بازیابی به حساب می‌آید.
- کاهش عیار به‌دلیل فعال‌سازی ناخواسته برخی کانی‌های موجود در خوراک است.

۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از حمایت دانشگاه تربیت مدرس و همکاری‌های موثر مدیریت و کارشناسان مجتمع معدنی باما در اجرای این تحقیق قدردانی می‌گردد.

مراجع:

[۱] نجفی. ف؛ ایران نـژاد. م؛ ۱۳۹۲؛ "**تـأثیر کیفیـت آب مصرفی در فرآینـد فلوتاسـیون**" . سـی و دومـین گردهمـایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین.

[2] K. S. E. Forssberg, and M. I. Hallin; 1989; "*Process Water Reticulation in a Lead-Zinc Plant and other Sulphide Flotation Plants*," in Proc, Symp.Challenges in Mineral Processing, K. V. S. Sastry and M.C. Fuerstenau, Ed, Society of Mining Engineers.

[3] Özlem Bıçak; Zafir Ekmekçi; Metin Can; Yasemin Öztürk; 2012; "*The effect of water chemistry on froth stability and surface chemistry of the flotation of a Cu–Zn sulfide ore*", International Journal of Mineral Processing, Vol. 102–103, Pages 32–37

[4] N.P. Haran; E.R. Boyapati; C. Boontanjai; C.Swaminathan; 1996; "*Kinetics Studies on Effect of Recycled Water on Flotation of Copper Tailings from Benambra Mines, Victoria*, Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing, Volume 4, Issue 3-4, pages 197–211.

An investigation into the effects of using process water on Galena flotation

M. Bagheri[1], M.R. Shahverdi[1], A. Khodadadi [1*], M. Abdollahy[1]

1*: Dept. of Mining Engineering, Faculity of Engineering, Tarbiat Modares University, Thehran, Iran,
akdarban@modares.ac.ir

Abstract

In recent years, water shortage, has become one of the biggest problems in the mining industry of Iran. Since pro-environmental organizations have provided strict measures on mineral effluents into the environment. The mining industry has decided to recycle water in order to overcome the complications. Reusing water, leads to the presence of impurities in it. These impurities reduce the performance of flotation by detaining or activating some minerals.

In this work, using the Bama mine feed, problems with the wastewater in the galena flotation is studied. Wastewater samples from various parts of the factory were extracted and through experiments the type and amount of their impurities were understood. In this line, the floatation experiments similar to that of the factory were conducted with wastewater. The results indicated that the usage of wastewater leads to a decrease in the fineness as much as 6 percent, and increase in the recovery as much as 1 percent compared to the input water.

Keywords: Galena, Wastewater, Flotaion, Process water