

مقاله پژوهشی

بررسی پارامترهای موثر بر فروشویی مستقیم کلریدی سرب از کانسنگ سرب و روی معدن گل زرد

نیلوفر ابدالی محمدی^۱، سید محمد سید علیزاده گنجی^{۲*}، محمد حیاتی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی، دانشگاه لرستان، گروه معدن، N.abdali1990@gmail.com

۲. استادیار گروه فرآوری، دانشگاه لرستان، گروه معدن، Ganji.m@lu.ac.ir

۳. استادیار گروه استخراج، دانشگاه لرستان، گروه معدن، mohammad_hayaty@yahoo.com

(دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۹ - پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳)

چکیده

معدن سرب و روی گل زرد در شهرستان الیگودرز استان لرستان واقع شده است و میانگین عیار سرب و روی در این کانسنگ سولفیدی به ترتیب ۴/۶۸ و ۱۵/۸۸ درصد است. تحقیقات نشان داده است که سرب موجود در کانسنگ به وسیله یون‌های کلر به صورت کمپلکس محلول در می‌آید به همین منظور فروشویی مستقیم سرب بر روی کانسنگ این معدن به وسیله مخلوط اسید کلریدریک و محلول اشباع نمک طعام انجام گرفت و تاثیر هر یک از پارامترها مانند دما، زمان، درصد جامد پالپ، دور هم‌زدن و غلظت اسید کلریدریک در فروشویی سرب به صورت سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که پارامترهای غلظت اسید کلریدریک، درصد جامد پالپ و زمان بیشترین تاثیر و هم‌زدن پالپ و دما کمترین تاثیر را بر روی بازیابی سرب دارند و در نهایت تحت شرایط بهینه غلظت نمک طعام ۳۵۵ گرم بر لیتر، زمان ۶۰ دقیقه، دما ۵۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جامد پالپ ۱۰ درصد و غلظت اسید کلریدریک ۱/۵ مول بر لیتر و دور هم‌زنی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، بازیابی فروشویی سرب حدود ۹۱/۷ درصد به دست آمد.

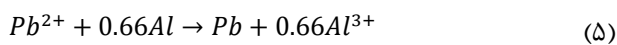
کلمات کلیدی

معدن گل زرد، فروشویی اسید کلریدریک، محلول اشباع نمک طعام، فروشویی سرب.

۱- مقدمه

سولفیدی سرب و روی از اسید کلریدریک و کلرید آهن استفاده کردند و بازیابی انحلال سرب و روی تحت شرایط زمان ۱۲۰ دقیقه، دما ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد، غلظت کلرید آهن ۰/۱۵ مول بر لیتر به ترتیب ۹۵ و ۸۳ درصد بدست آمد [۷].

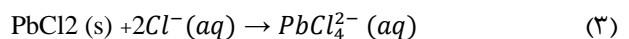
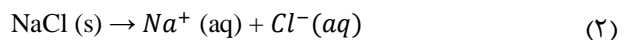
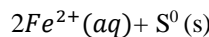
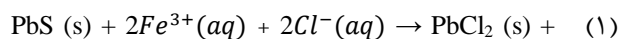
وفایی فرد (۱۳۸۴) برای بازیابی سرب از باطله فروشویی روی به روش سمناسیون استفاده کرد و در نهایت پس از بررسی فرآیند سمناسیون به وسیله فلزات روی، آهن و آلومینیوم مشخص شد آلومینیوم قابلیت رسوبدهی بهتری نسبت به فلزات روی و آهن است و تا حدود ۹۲ درصد از سرب محلول به وسیله فلز آلومینیوم به صورت سرب اسفنجی طبق رابطه ۵ بازیابی شد [۸].



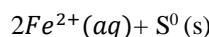
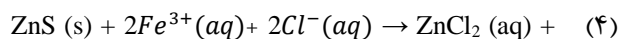
رضوی و همکاران (۱۳۷۱) بر روی هیدرومتالورژی کنسانتره سولفیدی سرب معدن کوشک در محلول‌های اسید کلریدریک- کلرید سدیم در دماهای ۱۷ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد و pH از ۰/۷ تا ۱/۵ آزمایش‌هایی انجام دادند و به بازیابی لیچ سرب ۹۰ درصد دست یافتند [۹]. عبداللہی و همکاران (۱۳۸۶) بر روی بازیابی سرب موجود در پسماند باقی‌مانده از فرآیند فروشویی کانه اکسیده روی به روش هیدرومتالورژی با آب نمک و اسید کلریدریک به این نتیجه رسیدند که تحت شرایط بهینه دور هم‌زدن ۱۰۰ دور بر دقیقه، pH محلول ۱، زمان فروشویی ۳۰ دقیقه و دما ۲۰ درجه سانتی‌گراد، بازیابی فروشویی سرب ۹۵/۲۲ به‌دست آمد [۱۰]. کوریا^۱ و کاروالهو^۲ (۱۳۹۹)، فروشویی کلریدی سرب را انجام دادند و در این روش تحت شرایط بهینه زمان یک ساعت، دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، غلظت نمک‌طعام ۲۵۰ گرم بر لیتر و سرعت هم‌زدن ۵۰۰ دور بر دقیقه به بازیابی ۱۰۰ درصدی سرب دست یافتند [۱۱]. فرهمند و همکاران (۲۰۰۸) فروشویی نمکی باطله‌های کارخانه روی را انجام دادند و در نهایت شرایط بهینه برای بیشترین بازیابی سرب حدود ۸۹/۴۳ درصد و کمترین بازیابی روی حدود ۳/۸۴ درصد به‌دست آمد [۱۲]. زارعی و همکاران (۲۰۱۵) فروشویی نمکی سولفات سرب را بر روی باطله فروشویی روی انجام دادند و پارامترهای موثر بر بازیابی سرب در لیچ نمکی با نمک‌طعام را بررسی کردند و در نهایت تحت شرایط بهینه بازیابی سرب ۸۳/۳۵ به‌دست آمد [۱۳]. سید قاسمی و عزیززی (۱۳۹۵) نقش عوامل مختلف فروشویی در بازیابی سرب و روی را مورد بررسی قرار دادند و در

فلز سرب به طور گسترده در زمینه‌هایی مانند الکتریکی، مکانیکی، نظامی، متالورژیکی، شیمیایی، نوری و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرب و ترکیب‌های آن برای آلیاژسازی، وسایل تسلیحاتی، غلاف پوشش‌های کابل‌ها، ورق‌سازی، یاتاقان‌سازی، پروفیل‌سازی، پوشش‌های اسپری، لوله‌های نرم، لحیم‌کاری، صنعت چاپ و تولید نوار و سیم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۰۲]. تاکنون حدود ۱۳۰ نوع کانی سرب شناخته شده است که از میان آن‌ها سولفید سرب (PbS) مهم‌ترین و اقتصادی‌ترین نوع کانه سرب است و ۹۰ درصد از تولید فلز سرب از این کانی است. سروزیت یا کربنات سرب، انگلیت یا سولفات سرب، ولفنیت یا مولیبدنات سرب، بولانژریت، پیرومورفیت نیز دیگر کانی‌های مهم سرب محسوب می‌شوند [۳]. گالن در حضور اکسنده قوی کلرید آهن III (FeCl₃) به آسانی به بلورهای جامد PbCl₂ تبدیل می‌شود و در غلظت‌های بالای یون کلر در دمای مناسب به کمپلکس محلول $PbCl_4^{2-}$ تبدیل می‌شود و با توجه جدول سری الکتروشیمیایی سه فلز روی، آهن و آلومینیوم برای رسوبدهی سرب محلول حاصل از فرآیند فروشویی با آب نمک به روش سمناسیون مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فرآیند فروشویی با کلرید آهن III، یون‌های کلر نقش بسیار مهمی را بازی می‌کنند، به همین دلیل فروشویی سرب در محیطی اشباع از نمک‌طعام انجام می‌شود. افزایش غلظت یون کلر در محلول در تبدیل بلورهای PbCl₂ به یون کمپلکس محلول $PbCl_4^{2-}$ بسیار موثر است [۴].

واکنش بین گالن و کلرید آهن III در روابط ۱ تا ۳ ارایه شده است [۵].



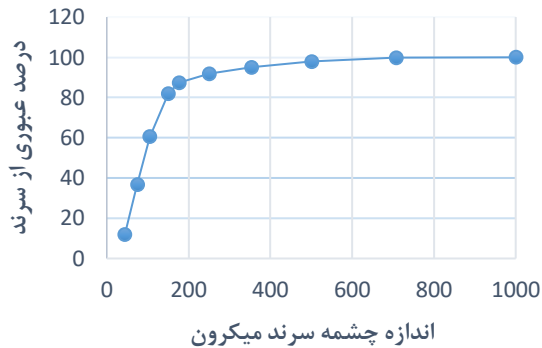
به طور کلی فروشویی کانی‌های سولفیدهای فلزی مانند سرب، روی، آهن و مس با اسید کلریدریک و کلرید آهن III یا پراکسید هیدروژن به عنوان اکسیدکننده انجام‌پذیر است و واکنش انحلال اسفالریت به وسیله اسید کلریدریک و کلرید فریک به صورت رابطه ۴ است [۶].



ماندره و شارما (۱۹۹۳) برای انحلال سرب و روی کانسنگ

1-Correia
2-Carvalho

۱۰۵، ۷۴ و ۴۴ میکرون استفاده شد و d_{80} نمونه معرف پس از رسم نمودار توزیع دانه‌بندی (شکل ۱) حدود ۱۸۰ میکرون به‌دست آمد.



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی نمونه معرف.

۲-۲- مطالعه‌های XRD، XRF و میکروسکوپی

مطالعه XRD برای تعیین کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسنگ معدن گل زرد انجام گرفت. نتایج مطالعه XRD که در جدول ۱ آمده است، نشان داد که این کانسنگ از کانی‌های اسفالریت، کوارتز، کالکوپیریت، ایلیت، فلدسپار، گالن، کلرایت و کلسیت تشکیل شده است، به طوری که گالن و اسفالریت به ترتیب از کانی‌های تشکیل‌دهنده (سولفیدی) سرب و روی در این کانسنگ‌اند. میانگین عیار سرب و روی در این کانسنگ سولفیدی به ترتیب ۴/۶۸ و ۱۵/۸۸ درصد به وسیله جذب اتمی در جدول ۳ آمده است. همچنین مطالعه XRF برای تعیین ترکیب‌های تشکیل‌دهنده نمونه نیز به وسیله دستگاه XRF انجام گرفت و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شده است. از نتایج XRD و XRF می‌توان به این نتیجه رسید که کانی‌های کوارتز، اسفالریت و گالن به ترتیب بیشترین فراوانی را در تشکیل کانسنگ داشته است.

جدول ۱- نتایج XRD کانسنگ سولفیدی گل زرد.

نام کانی	فرمول شیمیایی
اسفالریت	ZnS
گالن	PbS
پیریت	FeS ₂
کالکوپیریت	CuFeS ₂
کوارتز	SiO ₂
کلسیت	CaCO ₃
ایلیت	(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ (OH) ₂
کلریت	(Mg,Fe,Li) ₆ AlSi ₃ O ₁₀ (OH) ₈

استفاده از اسیدنیتریک به عنوان عامل فروشویی بیشترین میزان بازیابی روی و سرب به ترتیب ۶۴/۸۶ و ۵۸/۱۱ به‌دست آمد و با اسید سولفوریک کمترین درصد بازیابی روی و سرب به ترتیب ۴۷/۲۶ و ۰/۰۱ درصد تعیین شده است [۱۴]. سید قاسمی و عزیز (۲۰۱۷) فروشویی قلیایی به وسیله هیدروکسید سدیم را انجام دادند و در شرایط بهینه بازیابی سرب حدود ۷۲/۱۵ درصد و روی حدود ۸۵/۵۲ درصد به‌دست آمد [۱۵]. در تحقیقاتی فروشویی‌های قلیایی، نیتراتی و نمک‌های کلریدی بر روی گالن مورد بررسی قرار گرفتند [۱۶] و [۱۷]. اما فروشویی گالن به وسیله نمک‌های کلریدی به دلیل ارزانی و حلالیت نسبتاً سریع توجه زیادی شده است. فروشویی نمکی که دیگر محققان انجام دادند، بیشتر بر روی بازیابی سولفات سرب از باطله‌های برجای مانده از فروشویی روی با اسید سولفوریک بوده است و تحقیقات زیادی در زمینه فروشویی مستقیم گالن به وسیله محلول اشباع نمک طعام انجام نگرفته است، به همین منظور فروشویی نمکی گالن برای انحلال مستقیم سرب انجام گرفت تا پارامترهای تاثیرگذار در فروشویی مستقیم سرب کانسنگ سولفیدی سرب و روی معدن گل زرد به‌وسیله اسید کلریدریک و محلول اشباع نمک طعام مورد بررسی قرار گیرد.

۲- مواد و روش

۲-۱- آماده سازی و تجزیه سرنده

برای انجام مطالعه‌های آزمایشگاهی فروشویی سرب حدود ۱۵۰ کیلوگرم نمونه، از قسمت‌های مختلف معدن گل زرد نمونه‌گیری به‌عمل آمد و در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه لرستان به‌وسیله سنگ‌شکن‌های فکی و مخروطی مورد خردایش قرار گرفت. بعد از تجمیع و همگن‌سازی کانسنگ‌های خردشده، کل نمونه از تقسیم‌کن شانه‌ای (ریفل) عبور داده شد و در مراحل اولیه تقسیم نمونه، نصف آن بایگانی و نصف دیگر طی مراحل متوالی تقسیم نمونه به‌وسیله ریفل به نمونه‌های ۱ کیلوگرمی برای آزمایش به‌دست آمد. ۲ بسته از این نمونه به طور تصادفی انتخاب شد و ذرات درشت‌تر از ۱۰۰۰ میکرون، طی چند مرحله خردایش به‌وسیله آسیای گلوله‌ای، کل این نمونه از سرنده ۱۰۰۰ میکرون عبور داده شد و از این نمونه برای انجام آزمایش‌های فروشویی استفاده شده است. برای مطالعه توزیع ابعادی ذرات، از دستگاه تجزیه سرنده موجود در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه لرستان با سایز سرنده‌های استاندارد (ASTM)^۱ به ترتیب ۷۰۷، ۳۵۴، ۲۵۰، ۱۷۷، ۱۵۰،

1-American Standard Test Sieve Series

جدول ۲- نتایج آنالیز دستگاه XRF.

ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد وزنی
SiO ₂	۵۷	K ₂ O	۱/۳
Al ₂ O ₃	۵/۳	TiO ₂	۰/۴
Fe ₂ O ₃	۲/۳	CuO	۰/۱۷
CaO	۱	ZnO	۱۹/۸
Na ₂ O	۱/۳	PbO	۵/۰۴
MgO	۰/۶	LOI*	۱/۵

جدول ۳- نتایج جذب اتمی.

عنصر	عیار (درصد)
Zn	۱۵/۸۸
Pb	۴/۶۸

حجم رساندن از محلول اشباع نمک طعام استفاده شد و از این محلول برای تهیه پالپ با درصد جامد مشخص استفاده می‌شود. برای شناسایی محدوده و بررسی تاثیر هر پارامتر، ابتدا از آزمایش‌های سناریو (یک پارامتر در هر زمان) استفاده شد، به این منظور که یک پارامتر متغیر و دیگر پارامترها ثابت فرض شد و تغییرات این پارامتر تحت شرایط ثابت دیگر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. برای محاسبه بازیابی فروشویی مس از رابطه ۶ استفاده شده است:

$$R = \frac{V \cdot c}{F \cdot f} \times 100 \quad (۶)$$

که در آن:

V: حجم محلول (لیتر).

F: وزن خوراک (گرم).

c: عیار یون فلزی در محلول (گرم بر لیتر).

f: عیار فلز در خوراک (درصد).

در تمامی آزمایش‌های فروشویی سرب از محلول اشباع نمک طعام استفاده شده است. از آنجایی که مقدار نمک طعام مورد نیاز برای تهیه محلول اشباع به دما و هم‌زدن وابسته است و معمولاً با افزایش دمای محلول مقدار نمک مورد نیاز برای تهیه محلول اشباع افزایش می‌یابد. در گام نخست، تعیین مقدار نمک مورد نیاز برای اشباع شدن محلول فروشویی در دمای‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفت به این صورت که در دماهای متفاوت به ۱ لیتر آب معمولی آن قدر نمک طعام اضافه شد تا دیگر نمکی قادر به انحلال نباشد و محلول کاملاً اشباع شود. نتایج نمک مورد نیاز برای تهیه محلول اشباع در دماهای مختلف به صورت شکل ۳ و جدول ۴ آمده است که نشان‌دهنده این است که با افزایش دما مقدار نمک برای تهیه محلول اشباع افزایش می‌یابد و با افزایش دما از ۲۵ تا ۵۵ درجه سانتی‌گراد مقدار نمک مورد نیاز برای تهیه محلول اشباع از ۳۲۸ تا ۳۶۲ گرم بر لیتر افزایش می‌یابد. به عبارتی با افزایش هر یک درجه سانتی‌گراد به دمای محلول حدود ۱/۱۳ گرم نمک به نمک مورد نیاز برای اشباع کردن محلول اضافه می‌شود.

جدول ۴- تاثیر دما بر حلالیت اشباع نمک طعام.

شماره آزمایش	دما (درجه سانتی‌گراد)	میزان حلالیت نمک (گرم / لیتر)
۱	۲۵	۳۲۸
۲	۳۵	۳۳۰
۳	۴۰	۳۳۷
۴	۴۵	۳۴۲
۵	۵۰	۳۵۵
۶	۵۵	۳۶۲

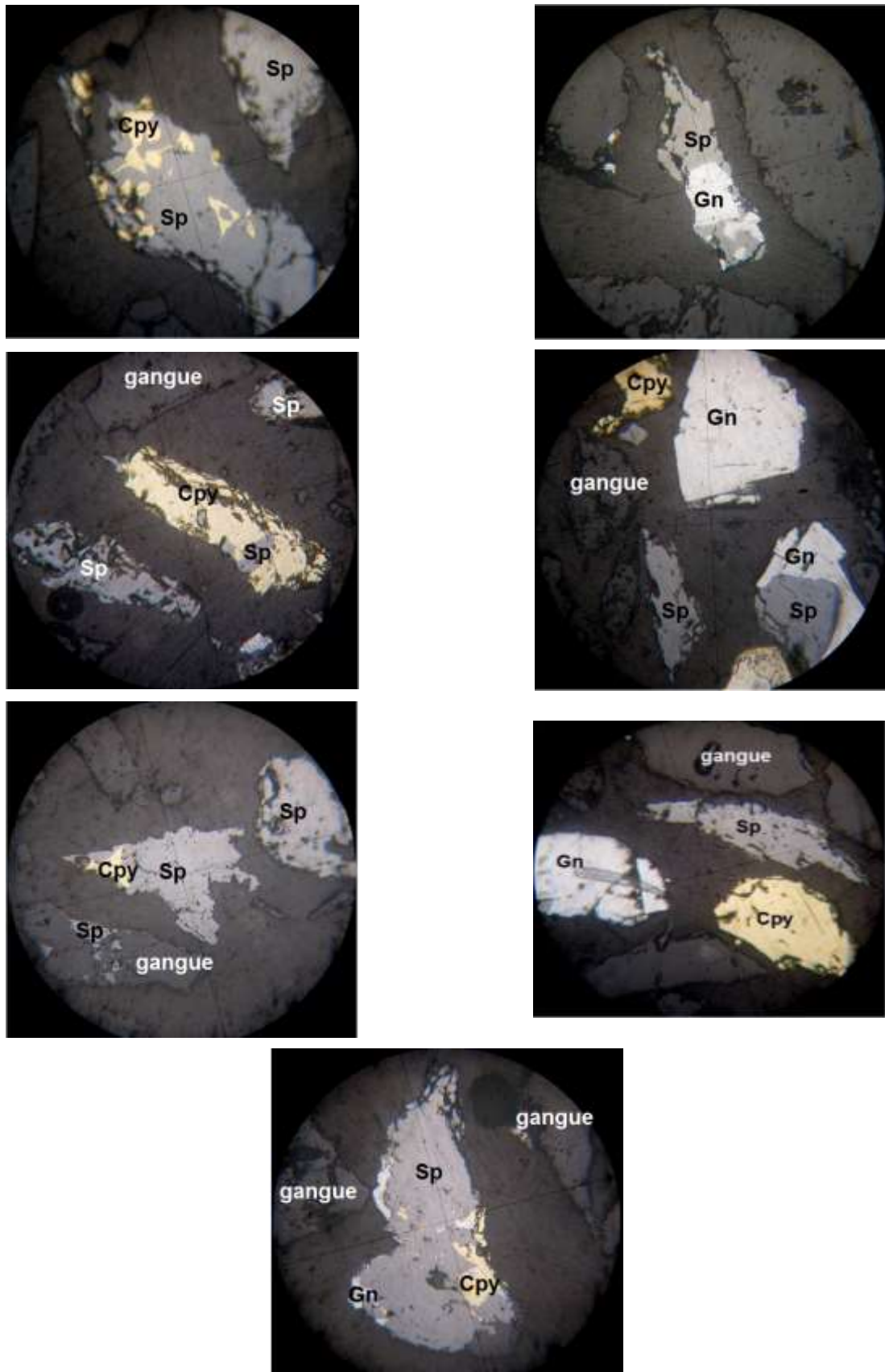
مطالعه مقاطع صیقلی نمونه معرف توسط خدایی (۱۳۹۸) انجام شد و نتایج آن (نحوه توزیع و درگیری) در شکل ۲ آمده است. نتایج مطالعه درجه آزادی انجام گرفته نشان داد که در محدوده ابعادی ۷۵+۱۰۵- میکرون، ۹۸ درصد از کانی اسفالریت آزاد می‌شود و این کانی در ابعاد حدود ۸۰ میکرون دارای درجه آزادی مناسب است. همچنین نتایج مطالعه نشان داد که ۹۷ درصد از کانی گالن در محدوده ابعادی ۲۹۷+۱۴۹- میکرون آزاد می‌شود [۱۸].

۲-۳- مواد و تجهیزات

برای انجام آزمایش‌های فروشویی سرب از اسید کلریدریک (۳۷ درصد) شرکت مرک آلمان و از نمک طعام تصفیه شده خوراکی یددار در بازار و از شرکت جم با درجه خلوص ۹۹/۵ درصد برای تهیه محلول اشباع استفاده شده است. برای کنترل دما و هم‌زدن پالپ از همزن مغناطیسی و برای اندازه‌گیری pH از pH متر شرکت سیتک موجود در آزمایشگاه کانه‌آرایی دانشگاه لرستان استفاده شده است و بعد از اتمام عملیات فروشویی از دستگاه فیلتراسیون خلا برای فیلتراسیون پالپ استفاده شد و از دستگاه جذب اتمی دانشگاه لرستان (مدل FS AA۲۴۰) برای آنالیز سرب نمونه‌های محلول استفاده شد.

۲-۴- آزمایش‌های فروشویی

آزمایش‌های فروشویی بر روی نمونه‌های ۱۰ گرمی با ۱۰۰ d₈₀ میکرون انجام گرفت. از اسید کلریدریک ۳۷ درصد و محلول اشباع نمک طعام به عنوان عامل‌های فروشویی سرب استفاده شد. غلظت اسید کلریدریک در آزمایش‌ها بر اساس مول بر لیتر بوده است و به طور مثال برای تهیه محلول اسید کلریدریک با مول مشخص سعی شده است، بعد از برداشتن مول مشخص از اسید کلریدریک، برای به



شکل ۲- نمایی از توزیع و درگیری دانه‌های آزاد اسفالریت (Sp)، گالن (Gn) و کالکوپیریت (Cpy) به همراه تعدادی از دانه‌های گانگ که با انعکاس پایین در محدوده‌های ابعادی مختلف که با رنگ خاکستری مشخص شد (قطر میدان دید ۵۰۰ میکرون است) [۱۸].



شکل ۳- نمودار تأثیر دما (سانتی‌گراد) بر حلالیت اشباع نمک طعام.

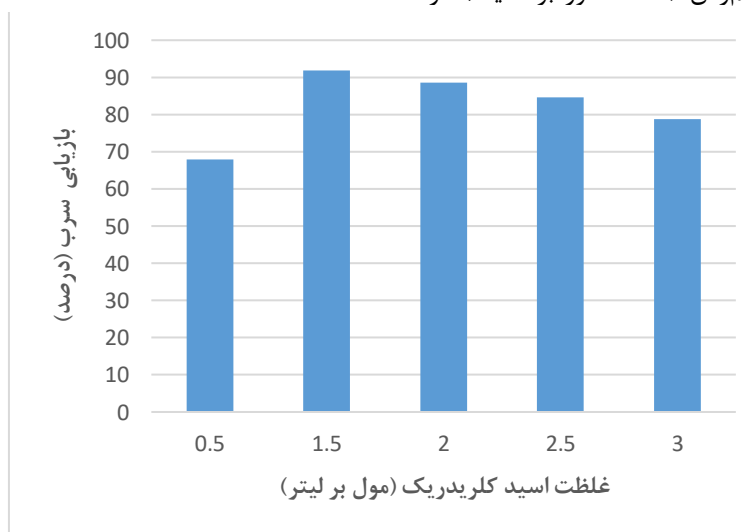
۳- نتایج و تحلیل آزمایش‌ها

در روشی سرب پارامترهایی مانند غلظت اسید کلریدریک، غلظت NaCl، زمان، دما، درصد جامد پالپ و سرعت همزنی در انحلال سرب تأثیرگذار هستند که به صورت تحلیل سناریو هر یک از پارامترها مورد بررسی قرار گرفتند.

۳-۱- غلظت اسید

برای بررسی تأثیر غلظت اسید کلریدریک بر روی بازیابی سرب ابتدا ۵ آزمایش تحت شرایط غلظت‌های متفاوت از اسید کلریدریک (۰/۵، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ مول بر لیتر) بر روی نمونه‌های ۱۰ گرمی به ترتیب انجام گرفت و شرایط دیگر پارامترها مانند درصد جامد پالپ (۱۰ درصد)، زمان (۶۰ دقیقه)، دما (محیط) و دور هم‌زدن (۱۰۰۰ دور بر دقیقه) در

تمامی این ۵ آزمایش ثابت بود. نتایج تأثیر غلظت اسید کلریدریک بر بازیابی سرب در شکل ۴ نشان داده شده است. با افزایش غلظت اسید کلریدریک تا ۱/۵ مول بر لیتر بازیابی سرب از ۶۷/۹ درصد تا ۹۱/۸ درصد افزایش می‌یابد و پس از آن تا غلظت ۳ مول بر لیتر بازیابی سرب تا ۷۸/۸ درصد کاهش می‌یابد. از آنجایی که حداکثر درصد بازیابی روشی سرب مبنای اصلی تصمیم‌گیری در انتخاب شرایط بهینه هر پارامتر است، بنابراین غلظت بهینه اسید کلریدریک (۱/۵ مول بر لیتر) به دلیل حداکثر بازیابی سرب ۹۱/۸ درصد انتخاب شد. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت اسید کلریدریک، حلالیت آهن افزایش یافته و در اثر هیدراتاسیون یون آهن و رسوب بر روی گالن دلیلی بر کاهش بازیابی باشد [۱۹].

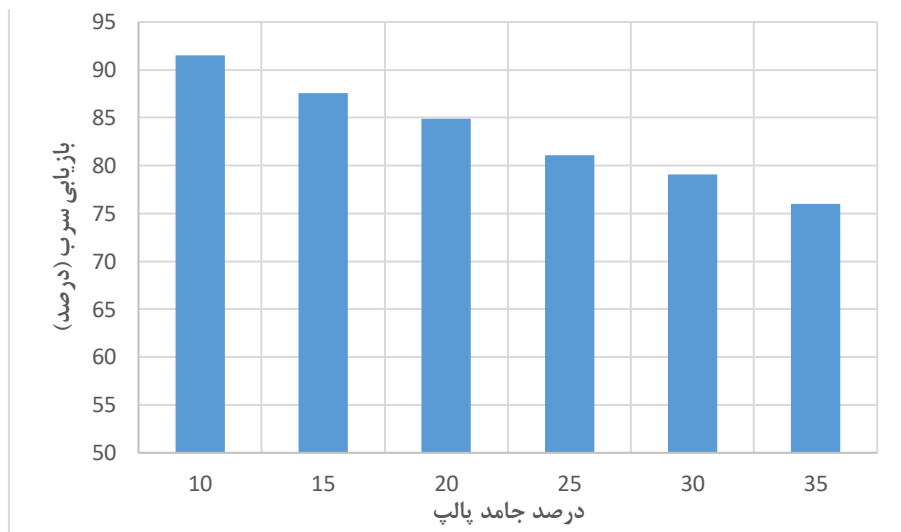


شکل ۴- نمودار تأثیر غلظت اسید کلریدریک (مول بر لیتر) بر بازیابی روشی سرب.

۳-۲- درصد جامد پالپ

کاهش بازیابی فروشویی سرب با افزایش درصد جامد پالپ و مقدار سرب امری منطقی باشد به دلیل این که با افزایش درصد جامد پالپ، رقت پالپ کاهش یافته و به عبارتی مقدار وزنی محلول فروشویی با غلظت مشخص که نقش انحلال سرب را بر عهده دارد کاهش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد، پارامترهای درصد جامد با غلظت اسید اثر مشترک داشته باشند که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی از روش طراحی آزمایش برای بررسی اندرکنش بین پارامترها استفاده شود.

بعد از انتخاب و بهینه شدن غلظت اسید کلریدریک، گام بعدی بهینه‌سازی درصد جامد پالپ با انجام ۶ آزمایش با درصد جامدهای متفاوت پالپ (۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درصد) انجام گرفت و نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۵ آمده است که نشان می‌دهد با افزایش درصد جامد پالپ از ۱۰ تا ۳۵ درصد بازیابی فروشویی سرب از ۹۱/۵ تا ۷۶ درصد کاهش می‌یابد، بنابراین درصد جامد بهینه پالپ با در نظر گرفتن بالاترین بازیابی سرب، ۱۰ درصد انتخاب شد. شاید



شکل ۵- نمودار تاثیر درصد جامد پالپ بر بازیابی فروشویی سرب.

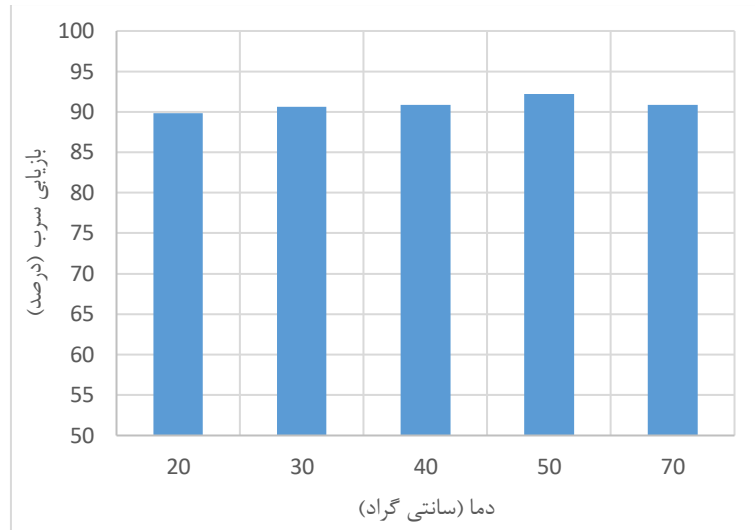
۳-۳- دما

فروشویی با فعالیت کمتر می‌دهند و هیدرولیز بیشتر در نهایت باعث رسوب هیدروکسید آهن III می‌شود.



بنابراین اگر فروشویی در شرایط دمای محیط انجام گیرد، pH محلول باید کمتر از ۳ باشد تا از رسوب کردن نمک هیدروکسید آهن III جلوگیری شود و اگر فروشویی در دماهای بالاتر انجام شود، به دلیل تسریع در هیدرولیز یون‌های آهن III، pH محلول باید کمتر از ۱٫۵ باشد [۲۰]. از آنجایی که اسید کلریدریک آهن موجود در این کانسنگ (۲٫۳ درصد Fe_2O_3) را به صورت محلول در می‌آورد، بنابراین با افزایش دما رسوب هیدروکسیدهای آهن در اثر هیدرولیز شدن طبق رابطه ۷ افزایش می‌یابد که به نظر می‌رسد تشکیل رسوب هیدروکسیدهای آهن بر روی گالن دلیلی بر کند شدن انحلال گالن با افزایش دما باشد.

بعد از بهینه کردن غلظت اسید کلریدریک و درصد جامد پالپ، پارامتر بعدی دما تحت شرایط دماهای ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۷۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نمودار تاثیر دما بر بازیابی فروشویی سرب در شکل ۶ آمده است که نشان می‌دهد افزایش دما تغییرات کمی بر روی بازیابی سرب دارد و در محدوده دمایی ۲۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد، بازیابی فروشویی سرب حداکثر ۲٫۱ درصد می‌تواند، تغییرات داشته است و بیشترین افزایش بازیابی فروشویی سرب در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شده است. افزایش غلظت یون‌های آهن III امکان هیدرولیز شدن یون‌های آهن III در محیط‌های اسیدی و تشکیل انواع ترکیبات پیچیده و نامحلول را افزایش می‌دهد که به عنوان یکی از عامل‌های اصلی بازدارنده فرآیند انحلال سطحی پیشنهاد شده است [۱۹]. یون‌های آهن III در شرایط دمای معمولی طبق رابطه ۷ هیدرولیز شده و تشکیل ترکیبات

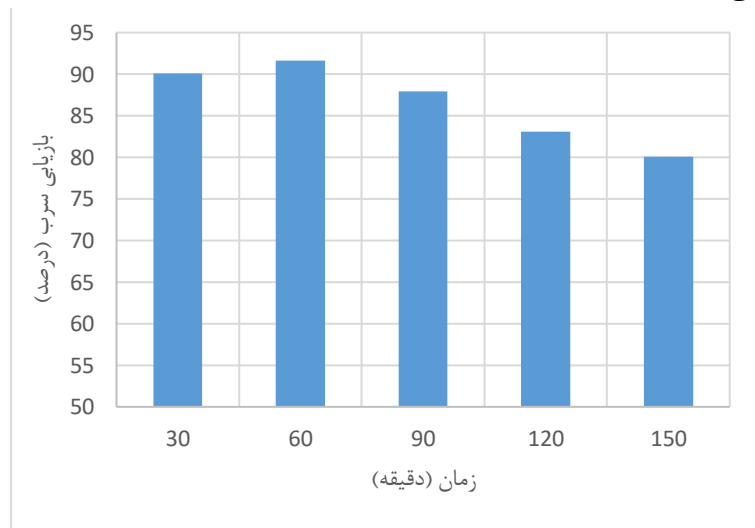


شکل ۶- نمودار تاثیر دما بر بازیابی سرب.

افزایش می‌یابد و از ۶۰ دقیقه تا ۱۵۰ دقیقه بازیابی سرب روندی کاهشی داشته و به ۸۰/۱۲ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که نه تنها افزایش زمان فروشویی بالای ۶۰ دقیقه تاثیر مثبتی بر بازیابی سرب ندارد بلکه دارای تاثیر منفی بر بازیابی است به همین دلیل زمان مناسب ۶۰ دقیقه برای فروشویی سرب در نظر گرفته شد.

۳-۴- زمان

بعد از بهینه کردن غلظت، درصد جامد پالپ و دما، بهینه‌سازی زمان انجام گرفت به همین منظور آزمایش‌هایی تحت زمان‌های متفاوت (۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ دقیقه) انجام گرفت که نمودار تاثیر زمان بر بازیابی فروشویی سرب در شکل ۷ آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان از ۳۰ دقیقه تا ۶۰ دقیقه بازیابی سرب از ۹۰ تا ۹۱/۶۱ درصد



شکل ۷- نمودار تاثیر زمان بر بازیابی سرب.

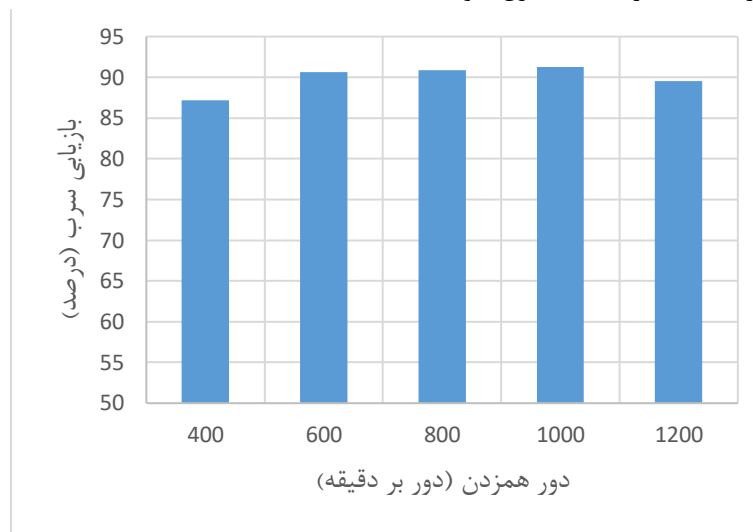
شکل، تغییرات دور همزنی از ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ دور در دقیقه حداکثر بازیابی سرب را حدود ۴ درصد افزایش داده است و در دور همزنی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، بیشترین بازیابی سرب حدود ۹۱/۳ درصد به دست آمد. با توجه ابعاد ۱۸۰ میکرونی ماده معدنی و سرعت بالای فروشویی سرب، به نظر می‌رسد قسمت اعظم فروشویی سرب (حدود ۸۸ درصد) در زمان ۶۰ دقیقه در

۳-۵- سرعت همزنی

بعد از بررسی و بهینه‌سازی سایر پارامترها، پارامتر دور همزن تحت دوره‌های متفاوت ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ دور بر دقیقه مورد آزمایش قرار گرفت تا تاثیر دور همزنی بر بازیابی سرب بررسی شود. تاثیر سرعت همزنی بر بازیابی سرب در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به

نموده است و با افزایش سرعت اختلاط، افزایش قابل توجهی در پدیده نفوذ و بازیابی مشاهده نمی‌شود.

دور پایین (۴۰۰ دور بر دقیقه) انجام گرفته باشد. از آنجا که سرعت انحلال گالن در محلول آب نمک با افزایش دور همزنی زیاد تغییر نکرده است، این فرآیند یک فرآیند با کنترل نفوذی



شکل ۸- نمودار تاثیر دور همزدن بر بازیابی فروشویی سرب.

۴- نتیجه گیری

منابع

۱. اکبرزاده اطلاق‌سرا، سید مرتضی، « بررسی اقتصادی کارخانه فرآوری ۳۰۰۰ تنی سرب و روی کوشک»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۸۰).
۲. قربانی، منصور، «دیبچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران»، وزارت صنایع و معادن، (۱۳۸۱).
۳. یراقی، علی، « ترکیبات فلزی عنصرها و کاربردهای آنها در صنعت»، انتشارات صنایع و معادن، (۱۳۸۲).
4. QIN W., LIU H., TANG S., SUN W., "Preparation of lead sulfate powder directly from galena concentrates", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Vol.19, , PP.479-483 April (2009).
5. Vasilev V. V. and Muratova N. E., "Phase Analysis of lead ores", Uchen. Zap.leningr. gos. Univ., A.A. Zhdanova, No.211, Ser Khim. Nauk, vol.15, PP. 129.129-134, (1957).
۶. چراغی، علی، "بررسی پارامترهای موثر در لیچینگ مستقیم کانسنگ سولفیدی روی معدن گل زرد الیگودرز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۹).
7. Mandre, N.R., and Sharma, T., 1993, Preferential leaching of lead zinc complex sulphide ore using ferric chloride.

فلز سرب به طور گسترده در صنایع مختلفی مانند الکتریکی، مکانیکی، نظامی، متالورژیکی، شیمیایی، نوری و پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کانسنگ سرب و روی معدن گل زرد الیگودرز دارای کانی‌های گالن و اسفالریت است و عیار گالن آن حدود ۵/۴ درصد است. پارامترهای فروشویی سرب از قبیل غلظت اسید کلریدریک (در محدوده ۰/۵ تا ۳ مول بر لیتر)، غلظت نمک‌طعام (در محدوده ۳۲۵ تا ۳۶۵ گرم بر لیتر)، دما (در محدوده ۲۰ تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد)، زمان (در محدوده ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه)، درصد جامد پالپ (در محدوده ۱۰ تا ۳۵ درصد) و دور همزنی (در محدوده ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ دور در دقیقه) مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای غلظت اسید کلریدریک، زمان و درصد جامد پالپ بر روی درصد بازیابی فروشویی سرب بیشترین تاثیر را داشتند و پارامترهای دما، دور همزنی پالپ کمترین تاثیر را داشتند. در نهایت تحت شرایط بهینه غلظت اسید کلریدریک ۱/۵ مول بر لیتر، دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جامد پالپ ۱۰ درصد، سرعت همزنی ۱۰۰۰ دور بر دقیقه، زمان ۶۰ دقیقه و غلظت نمک‌طعام ۳۵۵ گرم بر لیتر، بازیابی سرب حدود ۹۱/۷ درصد به‌دست آمد. آزمایش‌های فروشویی مستقیم گالن نشان داد که می‌توان سرب را به طور موفقیت آمیزی با استفاده از فروشویی کلریدی حل کرد. این روش می‌تواند برای فرآوری سرب موجود در کانی‌های سرب که قابلیت پرعیارسازی ضعیفی دارند، موثر باشد.

۱۴. سیدقاسمی، سید مهیار، عزیزی، اصغر، "نقش عوامل مختلف لیچینگ در بازیابی سرب و روی از کانه‌های اکسید روی کم عیار"، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در علوم مهندسی، تهران، موسسه مدیریت دانش شبک، دانشگاه تهران، (۱۳۹۵).
15. Azizi, A., Asadi, T., Lee, J., Jahani, M., "Leaching of zinc from a lead-zinc flotation tailing sample using ferric sulphate and sulfuric acid media", *Journal of Environmental chemical engineering*, pp 305-350, (2017).
16. J. E. Anderson, J. Halpern and C. S. Samis, "Kinetics of Oxidation of Galena in Sodium Hydroxide Solutions under Oxygen Pressure", *Trans. AIME*, Vol.197PP. 554-558, (1953).
17. Gupta C. K. and Mukherjee T. K., "Hydrometallurgy in Extraction Processes – Vol 1", CRC Press, (1990).
۱۸. خدایی، ح، "بررسی عوامل موثر بر فلوتاسیون معدن گل زرد الیگودرز و بازیابی نقره از کنسانتره آن به روش لیچینگ". پایان‌نامه ارشد، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۸).
۱۹. لطفعلیان، م، رنجبر، م، "بیوفروشی کانسنگ کالکوپیریتی کم‌عیار با استفاده از باکتری‌های ترموفیل" نشریه علوم و مهندسی جداسازی، دوره اول، شماره اول، صفحه ۵۷ تا ۶۵، (۱۳۸۸).
۲۰. حبشی، فتحی، «هیدرومتالورژی پیشرفته»، ترجمه محمود عبدالمهدی و ضیاءالدین شفاهی، انتشارات دانشگاه شاهرود، چاپ دوم، (۱۳۹۱).
- International Journal of Mineral Processing
۸. وفایی فرد. مجید، بازیابی سرب موجود در باطله بدست آمده از فرآیند لیچینگ کانه اکسیده روی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، سال ۱۳۸۲.
۹. رضوی‌زاده، حکمت، ذاکری، علیرضا، فکورفر، محمد، «فرآوری کنسانتره سولفید سرب معدن کوشک یزد به روش هیدرومتالورژی: بررسی سنتیک انحلال غیراکسایشی در محلول‌های اسیدی»، نشریه دانشکده فنی، (۱۳۷۱).
۱۰. عبدالمهدی، محمود، کلینی، سید محمدجواد، وفایی فرد، مجید، «بازیابی سرب موجود در پسماند باقی مانده از فرآیند لیچینگ کانه اکسیده روی به روش هیدرومتالورژی»، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، دوره ۲۶، شماره ۱، (۱۳۸۶).
11. CORREIA, M., CARVALHO, J.R., "Technical note Chloride Leaching of Portuguese Lead concentrates", *Minerals Engineering*, Vol. 5, No. 2, (1992).
12. Farahmand, F., Moradkhani, D., Safarzadeh, M. S., and Rashchi, F., "Brine Leaching of Lead-Bearing Zinc Plant Residues: Process Optimization Using Orthogonal Array Design Methodology," *Hydrometallurgy*, Vol. 95, No. 3-4, pp. 316-324, (2009).
13. Zarei, H., Safari, M., Abdi, M., Heydari, M., "The effects of present ions in lead sulfate halide leaching from zinc leaching plant residual cake", *The Lead – Zinc Conference organized by GDMB, June 14-17, 2015, Dusseldorf, Germany*, (2015).