

## بررسی میزان حلالیت فلزات سمی و سنگین به منظور جلوگیری از انتقال آنها به منابع آبی و خاکی در پسماندهای سد باطله کارخانه فراوری سرب و روی لکان - اراک

احمد خدادادی<sup>۱</sup>، سید جواد کلینی<sup>۲</sup>، مهدی مرزبان<sup>۳</sup>، عبدالله سمیعی<sup>۴</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی محیط زیست و فراوری مواد معدنی، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار گروه مهندسی فراوری مواد معدنی، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی فراوری مواد معدنی، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس

۴- کارشناسی ارشد مهندسی فراوری مواد معدنی، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

### چکیده

پسماندها و باطله‌های تولید شده کارخانجات فراوری مواد معدنی که حاوی فلزات سمی و سنگین می‌باشند با ایجاد مکانیسم‌های با مواد مختلف به منابع آبی و خاکی منتقل شده و اثرات زیانبار زیست محیطی را سبب می‌شوند. از پارامترهای موثر در میزان حلالیت فلزات سمی و سنگین و انتقال آنها به محیط زیست؛ pH، دما و نسبت مایع به جامد می‌باشند. در این مقاله به شناسایی و بررسی رفتار و میزان حلالیت فلزات سمی و سنگین از پسماندهای کارخانه فراوری سرب و روی لکان در آزمایش‌های لیچینگ مخزنی پرداخته شده است که طی آن مقادیر pH، دما و نسبت مایع به جامد که در ۵ سطح مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت بیشترین درصد حلالیت برای خاک سد باطله تحت شرایط pH=۵، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ حاصل شد که نشان دهنده بحرانی‌ترین شرایط در میزان حلالیت فلزات سمی و سنگین پسماندهای این کارخانه و انتقال آنها به منابع آبی و خاکی می‌باشد.

کلمات کلیدی: فلزات سمی و سنگین، حلالیت پذیری، پسماندها، لکان اراک

## Study of the Factors Affecting the Transport of Heavy Metals from Tailing Dam of Lead and Zinc Processing Plant to Water Resources Case Study Lakan– Arak

A.Khodadadi, J. Kolaini, M.Marzban, A.Samiee

### Abstract

Mine solid wastes of mineral processing plant are often contain toxic and heavy metals which could be transport to water and soil resource and results in environmental pollution. From the effective parameter which could affect the mobility of toxic heavy metals to environment include pH, temperature and time. in this paper after the characterization of sample which obtain from tailing dam of Lakan mineral processing planet, the behavior of toxic heavy metals especially solubility of metals have been evaluated. Five levels of pH, temperature and solid- liquid ratio were selected for the evolutions of this study. The experimental results indicate that the pH of 5, temperate of 25° c and solid liquid ratio of 1:1. The maximum solubility were attained which is the critical condition for transport of toxic metals to water resources.

**Keywords:** toxic and heavy metals, solubility, wastes, Lakan– Arak

## ۱- مقدمه

کارخانه سرب و روی لکان در ۴۶ کیلومتری جنوب غربی شهرستان اراک در استان مرکزی واقع شده است. کارخانه تغلیظ سرب و روی لکان در فاصله ۲۷ کیلومتری جنوب شرق معدن عمارت قرار و در نزدیکی روستای لکان در حدود ۱۵۰۰ متری آن واقع شده است. کانیهای سولفور تشکیل دهنده کانسار، شامل پیریت ( $Fe_2S$ )، اسفالریت ( $ZnS$ ) و گالن ( $PbS$ ) می باشد. کانی اصلی در این معدن گالن و بلند می باشد و در کانه آن نقره، کادمیوم، پیریت و کالکوپیریت به همراه باطله سیلیسی وجود دارد. تولید کنسانتره سرب و روی در این کارخانه توسط فرایند فلوتاسیون انجام می گیرد [۴].

فرایند فلوتاسیون به عنوان یکی از مراحل فرآوری دارای اثرات گسترده زیست محیطی می باشد. عمده این اثرات در نتیجه استفاده از داروها یا معرفهای شیمیایی است و فلزات سمی و سنگین نیز در اثر این فرایند تولید می شوند که خود اثرات خطرناکی بر محیط زیست دارند. از مواد شیمیایی مورد استفاده در فلوتاسیون می توان به کلکتورهای مختلف، تنظیم کننده های pH، بازداشت کننده ها، فعال کننده های سطح و کف سازها اشاره کرد [۷].

فلزات سرب، روی، جیوه، کادمیوم و ... جزء فلزات سنگین محسوب شده و به فلزاتی اطلاق می گردند که چگالی آنها بیشتر از ۵ می باشد. تعداد این فلزات کلاً مشتمل بر ۳۸ عدد است. از این میان بیشترین نگرانی متوجه فلزاتی است، که اغلب با ذخایر سولفیدی فلزات پایه همراهند (مانند  $Cu, Pb, Zn, Hg, Cd$ ). برخی از این فلزات ممکن است در آبهای ناشی از زهکشی معادن، در مقادیر خطرناکی یافت شوند و سمیت ناشی از آنها، با تجمع دو ماده افزایش یافته باشد؛ بدین معنی که ترکیب دو ماده، سمیت بیشتری نسبت به مجموع اثرات هر یک از آنها، تولید می کند. اگر یک یا چند فلز به ویژه در آبهای اسیدی معادن، دارای غلظت های بالایی باشد، این حالت برای ایجاد نگرانی های زیست محیطی کافی است [۱۵].

کاتیون های فلزی ممکن است در سه زمینه ایجاد مشکل نمایند:

۱. خطر برای انسان و حیات وحش موجود در خشکی (مانند  $Se, Mo, Mn, Ni, Pb, Hg, Cd, As$ )
۲. خطر برای زندگی آبیان (کلیه عناصر فوق به علاوه  $Cr, Cu$ )
۳. خطر برای گیاهان ( $Zn, Al, Bo, Fe$ )

سمیت معمولاً تنها زمانی ظاهر می شود، که فلز به صورت یونی است و تقریباً هیچ گاه در حالت کانی شناختی آن رخ نمی دهد. تنها استثنا، جیوه است، که به راحتی جذب بافت های زنده می شود. فلزات سنگین اغلب می توانند با افزایش pH، از آب معدن رسوب کرده و همچنین در ساختارهای آبگیر، محصور شده یا در صورت امکان با جای گیری و فیلتر شدن در زمین های باتلاقی مصنوعی کاهش یابند [۱۴].

فلزات سمی و سنگین با ایجاد مکانیسم های متعدد سبب به هم خوردن تعادل در موجودات زنده بویژه انسان می شوند و طیف گسترده ای از عوارض و اختلالات را بوجود می آورند. این عوارض و اختلالات در تمامی ارگانها دیده می شوند و فاکتورهای مختلفی از جمله نوع فلز در آنها دخالت دارند. از مهم ترین اختلالات و عوارض آنها می توان به سرطان زائی، اثر بر سیستم های اعصاب مرکزی و محیطی، اثر بر روی پوست، اثر بر روی سیستم خون ساز، اثر بر سیستم قلبی و عروقی، آسیب به کلیه ها و تجمع در بافت ها اشاره کرد [۱].

فلزات سنگین به صورت طبیعی در خاک وجود دارند ولی مقدار آنها بندرت به حد مسموم کننده می رسد. آلودگی خاک به فلزات سنگین در مناطقی که در اطراف توده های بزرگ ضایعات و پسماندهای معدنی قرار دارند نیز دیده می شوند [۸]. در همین راستا و به دلیل اهمیت و خطرناک بودن پسماندهای تولید شده در اطراف کارخانجات فراوری مواد معدنی مطالعات متعددی انجام شده است که بطور کلی آنها را می توان به سه گروه تقسیم بندی کرد:

گروه اول مطالعات انجام شده در پسماندهای فراوری مواد معدنی در زمینه بازیابی عناصری که از نظر زیست محیطی خطرناک بوده ولی از لحاظ اقتصادی ارزشمند می باشند که بدین وسیله پسماندهای جدیدی عاری از عناصر خطرناک تولید شده است [۸، ۱۱، ۱۴، ۱۸]. گروه دوم مطالعاتی است که به بررسی وضعیت پسماندها در نقاط مختلف جهان می پردازند [۶، ۱۰، ۱۷]. در گروه سوم تلاش و مطالعاتی است که جهت خنثی سازی و تثبیت خاک های آلوده به عناصر خطرناک ناشی از پسماندها انجام شده است [۳، ۱۳، ۱۶].

در کارخانه سینکار که در کایسرای ترکیه واقع شده مطالعاتی بر روی پتانسیل آزاد سازی فلز در محصولات جانبی تولید روی انجام شده است. غلظت یون‌های فلزی که از نمونه‌های فیلتر کیک به داخل آب رها می‌شوند در pHهای مختلف، نسبت مایع به جامد و زمان تماس مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ها به داخل ارلن ریخته شد که شامل ۲۰۰ میلی لیتر آب مقطر و نسبت‌های مایع به جامد متفاوت از ۱۰ تا ۴۰۰ آزمایش شد. در این کار pH بوسیله اسید سولفوریک تنظیم می‌شد. آزمایشات در دمای اتاق انجام گرفت که در نهایت بیشترین درصد حلالیت تحت شرایط  $pH=2$  بدست آمد در حالیکه غلظت سرب در محلول با تغییر نسبت مایع به جامد تغییری نکرده بود [۱۰].

در این مقاله میزان حلالیت‌پذیری فلزات سمی و سنگین سرب، روی، نیکل، کبالت و کادمیوم در پسماندهای کارخانه فراوری سرب و روی لکان اراک تحت تاثیر پارامترهای موثر و مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد و در نهایت بحرانی‌ترین شرایط برای این پدیده معرفی می‌گردد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد و تجهیزات

به منظور مطالعه وضعیت انحلال خاک سد باطله کارخانه سرب و روی لکان در شرایط مختلفی از pH، دما و نسبت مایع به جامد مجموعه‌ای از آزمایش‌ها تحت عنوان لیچینگ مخزنی انجام پذیرفت. وسایل آزمایش شامل بشر شیشه‌ای ۲۵۰ میلی لیتری، pH متر، همزن و مگنت می‌باشد و همچنین از اسید سولفوریک آزمایشگاهی با غلظت ۹۸٪، آب آهک، آب مقطر و ۱۵ گرم خاک سد باطله استفاده شد.

### ۲-۲- آزمایش‌ها

شرایط آزمایش‌ها با توجه به مطالعات انجام شده بر روی حلالیت فلزات سنگین در پسماندهای کارخانه لیچینگ سینکار ترکیه و همچنین بررسی وضعیت محل کارخانه لکان در استان مرکزی انتخاب گردید. در جدول (۱) شرایط انجام آزمایش‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱: شرایط آزمایش‌های فروشویی مخزنی

پارامترها	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴	سطح ۵
pH	۵	۶	۷	۸	۹
دما (درجه سانتی‌گراد)	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰
نسبت مایع به جامد	۱	۳	۵	۷	۱۰

نحوه انجام آزمایش‌ها بدین صورت بود که در یک بشر ۲۵۰ میلی‌لیتری رسوب سد باطله به همراه آب مقطر اضافه شد و سپس همزن بر روی ۲۵۰ دور در دقیقه تنظیم گردید و از اسید سولفوریک جهت اسیدی کردن و آب آهک جهت خنثی کردن استفاده شد. بعد از گذشت یک ساعت، آزمایش متوقف و محلول مورد نظر فیلتر گردید. میزان محلول فیلتر شده یادداشت گردید و سپس ۱۰۰ میلی لیتر از آن جهت آنالیز برداشته شد.

## ۳- بحث و نتایج

### ۳-۱- شناسایی خاک سد باطله

جهت شناسایی خاک سد باطله از روش‌های آنالیز جذب اتمی و EPA ۹۰۴۵ استفاده گردیده است.

#### • آنالیز جذب اتمی

برای شناسایی میزان فلزات سمی و سنگین در خاک سد باطله نمونه‌ای ۱۰۰ گرمی تهیه گردید که نتایج حاصل از آنالیز نمونه معرف خاک سد باطله توسط دستگاه جذب اتمی در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲: نتایج آنالیز نمونه معرف خاک سد باطله به روش آنالیز جذب اتمی

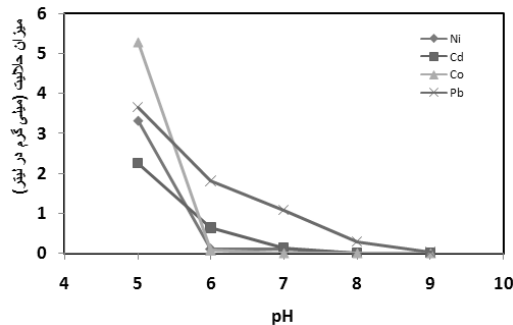
نام ترکیب	Zn	Co	Ni	Cu	Cd	Pb
درصد عنصر	۱/۱۵	۰/۰۳۱۵	۰/۰۱۴۶	۰/۲۹۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۹۵

• آزمایش استاندارد EPA ۹۰۴۵ بمنظور تعیین pH خاک سد باطله

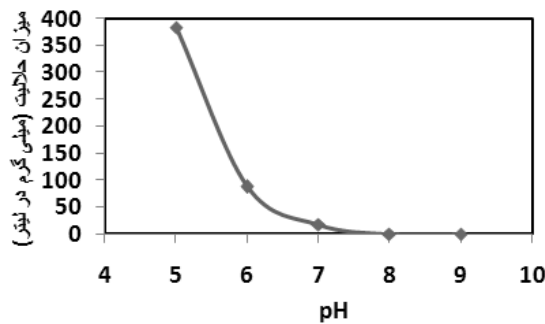
مقدار ۲۰ گرم از خاک سد باطله داخل یک بشر ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و توسط همزن میله‌ای بطور کامل مخلوط گردید. پس از گذشت ۵ دقیقه، آزمایش متوقف شد و مخلوط فوق به مدت ۱۵ دقیقه جهت ته نشین شدن مایع از جامد قرار داده شد. بعد از فیلتراسیون مخلوط، pH محلول نهایی ۷/۵۲ تعیین گردید [۱۲].

۳-۲- بررسی تاثیر pH بر میزان حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله

با استفاده از آزمایش استاندارد EPA 9045، pH خاک سد باطله (pH= ۷/۵۲) مشخص گردید. با توجه به اینکه احتمال پیدایش شرایط اسیدی در طبیعت در pHهای بالاتر اتفاق می‌افتد لذا برای انجام آزمایش‌های حلالیت فلزات سنگین در پسماندها pHهای ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ انتخاب گردید. آزمایش‌ها در pHهای فوق و دمای معمولی اتاق و زمان یک ساعت انجام گرفت. بعد از انجام آزمایش‌ها و بررسی نتایج آنالیزها در نهایت میزان حلالیت روی و دیگر فلزات سنگین در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. از آنجایی که میزان حلالیت فلز روی خیلی بیشتر از بقیه عناصر می‌باشد نمودار میزان حلالیت آن جدا از دیگر فلزات نشان داده شده است.

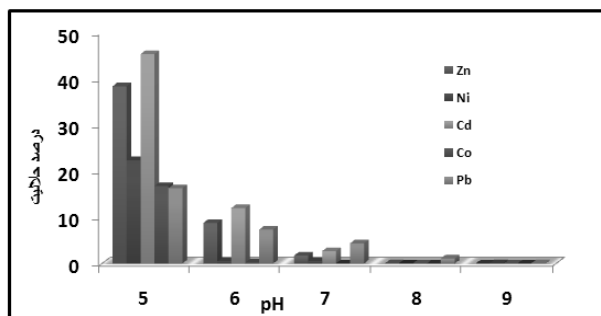


شکل ۱- میزان حلالیت فلز روی در خاک سد باطله در pHهای مختلف



شکل ۲- میزان حلالیت عناصر نیکل، کادمیم، کبالت و سرب در pHهای مختلف

همچنین درصد حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله با توجه به میزان فلزات سنگین موجود در آن در شکل (۳) نشان داده شده است

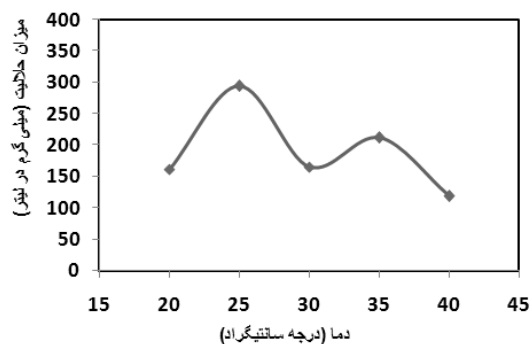


شکل ۳- درصد حلالیت فلزات سنگین در pH های مختلف

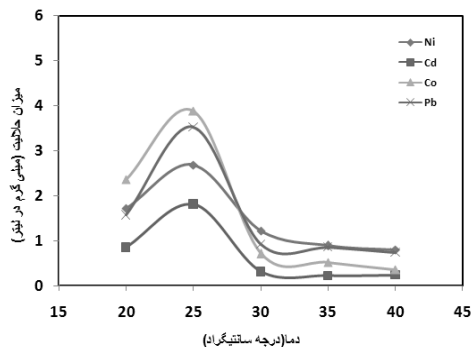
همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود با کاهش مقدار pH میزان حلالیت عنصر روی افزایش می یابد به طوری که میزان حلالیت عنصر روی pH=۵ به ۳۸۳/۹ میلی گرم در لیتر می رسد و در این pH ماکزیمم میزان حلالیت روی اتفاق می افتد. در pH=۹ که با اضافه کردن آب آهک همراه بوده است میزان حلالیت به مقدار زیادی کاهش می یابد. در شکل ۲ فلزات نیکل، کادمیم، کبالت و سرب دارای بالاترین حلالیت در pH=۵ و کمترین حلالیت در pH=۹ هستند. در شکل ۳، درصد حلالیت عناصر روی، نیکل، کادمیم، کبالت و سرب به ترتیب و حدوداً برابر ۳۸/۳۷، ۲۲/۳۷، ۴۵/۳۳، ۱۶/۷۶ و ۱۶/۲۹ می باشد و در نتیجه میزان خطرناک بودن این عناصر در pH های اسیدی به مراتب بیشتر است. علاوه بر آن میزان انحلال پذیری فلزات کادمیوم و روی به مراتب بیشتر از سایر فلزات می باشند. بنابراین pH=۵ به عنوان بهترین pH برای انجام آزمایش های بعدی در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده می توان گفت بحرانی ترین شرایط برای انحلال فلزات سنگین و انتقال آنها به منابع آبی و خاکی برای باطله های کارخانه فراوری لکان موقعی اتفاق می افتد که pH=۵ باشد.

### ۳-۳- بررسی تاثیر دما بر میزان حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله

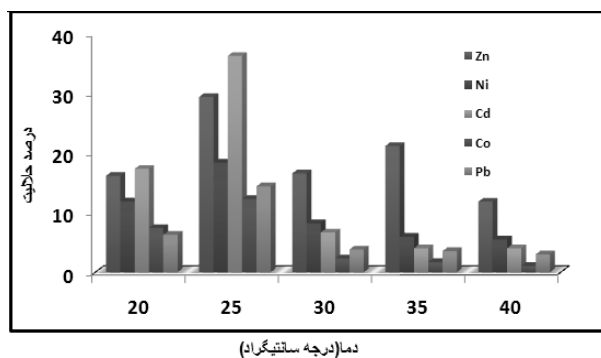
برای ایجاد شرایط محیطی از لحاظ درجه حرارت که بتوان آزمایش ها را به صورت واقعی شبیه سازی کرد دمایی است که در فصول مختلف سال در محل مربوطه (استان مرکزی) وجود دارد که این دما در این استان بین ۲۴/۲- تا ۴۱/۱ درجه سانتی گراد برآورد می شود (که حداقل و حداکثر شرایط دمایی می باشد) [۱۹]. از آنجایی که نمی توان در شرایط دمایی پایین به دلیل عدم ایجاد چنین شرایطی آزمایشی انجام داد و از طرف دیگر به خاطر اینکه اکثریت واکنش های شیمیایی در دماهای بالاتر رخ می دهند بنابراین دمای ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد جهت انجام آزمایش ها در نظر گرفته شد. میزان حلالیت روی و سایر عناصر سنگین در pH=۵ ثابت و در دماهای مختلف در شکل های (۴) و (۵) نشان داده شده است. درصد حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله در pH=۵ ثابت و در دمای مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۴- میزان حلالیت روی در خاک سد باطله در دماهای مختلف



شکل ۵- میزان حلالیت عناصر نیکل، کادمیم، کبالت و سرب در دماهای مختلف

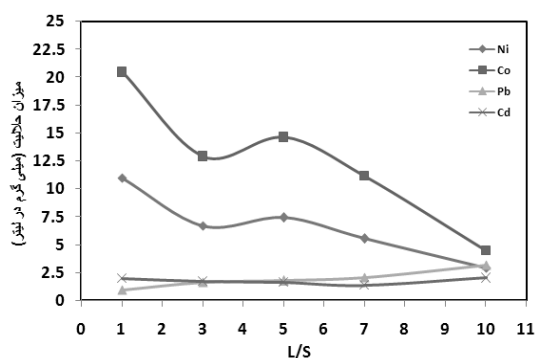


شکل ۶- درصد حلالیت فلزات سنگین در دماهای مختلف

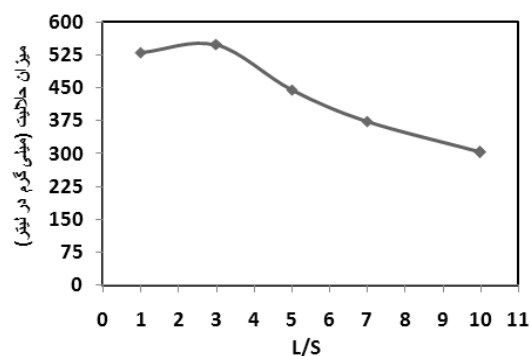
با مراجعه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتیگراد عنصر روی رفتار تقریباً یکسانی از خود نشان می‌دهد و بیشترین حلالیت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود. در شکل ۵ بیشترین میزان حلالیت برای عناصر نیکل، کادمیوم، کبالت و سرب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود. بنابراین دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و  $pH=5$  به عنوان بدترین وضعیت برای محیط زیست منطقه محسوب می‌شود زیرا در این شرایط میزان حلالیت فلزات سنگین خاک سد باطله کارخانه فراوری سرب و روی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. درصد حلالیت عناصر روی، نیکل و کادمیوم به ترتیب برابر با ۲۹/۳۹، ۱۸/۳۸ و ۳۶/۲۷ می‌باشد.

### ۳-۴- بررسی تاثیر نسبت مایع به جامد بر میزان حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله

با توجه به مطالعات و تحقیقات انجام شده بر روی حلالیت فلزات سنگین در پسماند کارخانه فراوری سرب و روی در کشورهای دیگر و همچنین میزان بارندگی در ماه فروردین در استان مرکزی که ماکزیمم بارندگی ۵۴ میلی‌متر می‌باشد [۱۹] با در نظر گرفتن آن‌ها در نتیجه نسبت‌های مایع به جامد ۱، ۳، ۵، ۷ و ۱۰ انتخاب شد به این صورت که ۱۵ گرم جامد با نسبت‌های وزنی از آب مقطر مخلوط شد (مثلاً نسبت مایع به جامد ۳ نشان دهنده این است که ۱۵ گرم از خاک سد باطله با ۴۵ گرم آب مقطر مخلوط شده است و بقیه هم به همین ترتیب می‌باشد) و  $pH$  آن‌ها با اسید سولفوریک تنظیم گردید و در نهایت آزمایش‌های میزان حلالیت فلزات سنگین مورد نظر در نسبت‌های مختلف از مایع به جامد در  $pH=5$  و دمای ثابت ۲۵ درجه سانتیگراد انجام گرفت که بعد از انجام آزمایش‌ها و بررسی نتایج آنالیزها نمونه‌ها، غلظت روی و سایر فلزات سنگین در نمودارهای شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.



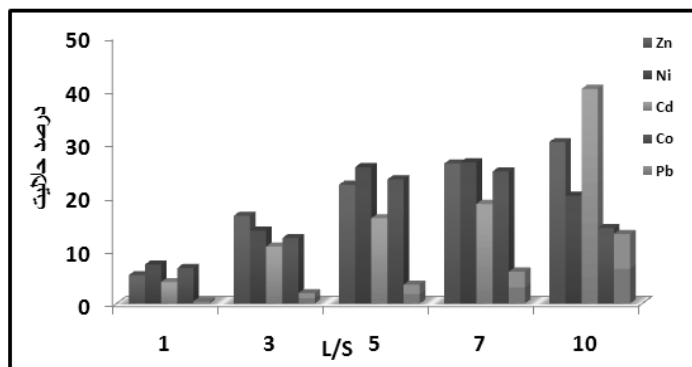
شکل ۸- میزان حلالیت فلزات سنگین، کادمیوم، کبالت و سرب در نسبت‌های مختلف L/S



شکل ۷- میزان حلالیت فلز روی در خاک سد باطله در نسبت‌های مختلف L/S

همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است میزان حلالیت فلز روی در دما و  $pH$  ثابت و بهینه نسبت به سایر عناصر بسیار بالا است. میزان حلالیت روی در نسبت مایع به جامد ۱:۳ حداکثر و برابر با ۵۴۸,۶ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و به تدریج از نسبت مایع به جامد ۱:۳ به ۱:۱۰ میزان حلالیت روی کاهش می‌یابد.

در شکل (۹) درصد حلالیت فلزات سنگین در خاک سد باطله در نسبت‌های مختلف مایع به جامد، دمای ۲۵ درجه سانتیگراد و  $pH=5$  نشان داده شده است.



شکل ۹- درصد حلالیت فلزات سنگین در نسبت‌های مختلف L/S

در شکل (۸) میزان حلالیت نیکل و کبالت رفتار مشابهی را از خود نشان می‌دهند. حلالیت عناصر سرب و کادمیم با افزایش نسبت مایع به جامد به سرعت کاهش می‌یابد. این تغییرات به دلیل آن می‌باشد که اگر میزان جامد موجود در آزمایش نسبت مایع به جامد ثابت فرض شود در این صورت افزایش میزان آب مصرفی با توجه به افزایش میزان نسبت مایع به جامد باعث خواهد شد و همچنین فضای لازم و کافی برای برخورد ترکیبات حاوی فلزات سنگین با محلول و انجام واکنش آنها مساعد خواهد بود در نتیجه میزان محلول نهایی حاصل از فیلتر با افزایش میزان نسبت مایع به جامد افزایش خواهد یافت و باعث افزایش میزان عنصر مورد نظر در محلول خواهد شد. در شکل (۹) درصد حلالیت عناصر مختلف مشاهده می‌گردد که در نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ درصد حلالیت عناصر روی، سرب و کادمیم به ترتیب برابر ۳۰/۲۸، ۱۳/۰۳ و ۴۰/۲۶ می‌باشد که ماکزیمم درصد حلالیت را دارا می‌باشد در نتیجه نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ به عنوان بدترین شرایط زیست محیطی خاک سد باطله انتخاب گردید.

#### ۴- نتیجه گیری

۱- با توجه به مطالب ذکر شده در میان پارامترهای مورد بررسی در سطوح مختلف  $pH=5$ ، دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ به عنوان بحرانی‌ترین حالات تعیین گردید.

۲- با کاهش مقدار  $pH$  میزان حلالیت عنصر روی افزایش می‌یابد به طوری که میزان حلالیت عنصر روی  $pH=5$  به ۳۸۳/۹ میلی گرم در لیتر می‌رسد.

۳- فلزات نیکل، کادمیم، کبالت و سرب دارای بالاترین حلالیت در  $pH=5$  و کمترین حلالیت در  $pH=9$  هستند.

میزان انحلال پذیری فلزات کادمیوم و روی به مراتب بیشتر از سایر فلزات می‌باشند.

۴- در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سانتیگراد عنصر روی رفتار تقریباً یکسانی از خود نشان می‌دهد و بیشترین حلالیت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده می‌شود. در شکل ۵ بیشترین میزان حلالیت برای عناصر نیکل، کادمیوم، کبالت و سرب در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد مشاهده می‌شود.

۵- میزان حلالیت روی در نسبت مایع به جامد ۱:۳ حداکثر و برابر با ۵۴۸/۶ میلی گرم در لیتر می‌باشد و به تدریج از نسبت مایع به جامد ۱:۳ به ۱:۱۰ میزان حلالیت روی کاهش می‌یابد. در نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ درصد حلالیت عناصر روی، سرب و کادمیم به ترتیب برابر ۳۰/۲۸، ۱۳/۰۳ و ۴۰/۲۶ می‌باشد در نتیجه نسبت مایع به جامد ۱:۱۰ به عنوان بدترین شرایط زیست محیطی خاک سد باطله انتخاب گردید.

۶- میزان حلالیت نیکل و کبالت در نسبت مایع به جامد متفاوت و دما و  $pH$  رفتار مشابهی را از خود نشان می‌دهند. حلالیت عناصر سرب و کادمیم با افزایش نسبت مایع به جامد به سرعت کاهش می‌یابد.

۷- با توجه به نتایج و مطالب ذکر شده برای اینکه از نفوذ فلزات سنگین و سمی به منابع آبی و خاکی گرفته شود بایستی از بوجود آمدن شرایط بحرانی ذکر شده در بند ۱ قسمت نتیجه گیری جلوگیری به عمل بیاید. این شرایط با توجه به اینکه پسماندها حاوی مواد و کانی‌های سولفیدی هستند؛ با تجمع آب در سد باطله، نفوذ و نشت آن با پایین آمدن  $pH$  فراهم می‌شود.

## ۵- مراجع

- [۱] اسماعیلی عباس، ناصری سیمین، محوی امیر حسین، کاربرد پوکه معدنی طبیعی (خاکستر آتشفشانی) در حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنایع، ۱۳۸۵.
- [۲] اطلاعات جمع آوری شده توسط کارشناسان بانک اطلاعات کارخانه های فرآوری مواد معدنی ایران، پایگاه ملی داده های علوم زمین کشور، ۱۳۸۲.
- [۳] رجب پور اشکیکی علیرضا، بررسی امکان تثبیت خاک آلوده به پسماندهای کارخانه فرآوری روی توسط سیمان پرتلند، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.
- [۴] سمیعی عبدالله، خدادادی احمد، صداقت بهزاد، ارزیابی اثرات زیست محیطی کارخانه فرآوری سرب و روی لکان اراک، پنجمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست، دانشگاه تربیت معلم تهران ۶ تا ۸ اسفند ۱۳۸۶
- [۵]. Black, Charles Allen; *Methods of Soil Analysis*; American Society of Agronomy: Madison, WI, 1973.
- [۶]. E.Jorjani , B. Shahbazi , *Enviromental assessment of Iranian lead and zinc tailing dams*, Processing of the international seminar on mineral processing Technology, February 22-24, 2007.
- [۷]. *Emergency Planning and Community Right-To-Know Act Toxic Chemical Release Inventory*, 1999, Metal Mining Facilities
- [۸]. Espiari-Shirin, Rashchi-Fereshteh, Sadrnezhaad-S.K., *Hydrometallurgical treatment of tailing with high zinc content*, Hydrometallurgy 82(2006)54-62.
- [۹]. Francis Cottard, *Potential Environmental Impacts of Mining*, 1st MINEO Workshop 25-27 October 2001, GBA, Vienna, Austria
- [1۰]. H.Soner Altundogan, Mehmat Erdem, Ramazan Orhan, Ahmet Ozer , Fikret Tumen. *Heavy metals pollution of zinc leach residue discarded in Cinkur plant*. Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22 (1998) 167-177.
- [۱۱]. M.Deniz Turan, H.Soner Altundongan, Fikret Tumen. *Recovery of zinc and lead from zinc plant residue*. Hydrometallurgy 75(2004)169-176.
- [1۲]. *National Bureau of Standard Reference Material Catalog*, 1986-87, Special Publication 260.
- [1۳]. Park C., *Hydration and solidification of Hazardous Wastes Containing Heavy metals Using Modified Cementitious Materials*, Cement and Concrete Research, 1999, Vol.30, pp 429-435.
- [۱۴]. Safarzadeh-Mohamad Sadegh, Moradkhani-Davood, Ojaghi Ilkhchi Mehdi, Hamedani Golshan – Negar, *Determination of optimum conditions for the leaching of Cd-Ni residue from electrolytic zinc plant using statistical design of experiments*, Separation and purification Technology.
- [۱۵]. Sally Brown, Rufus L. Chaney, Judith G. Hallfrisch, and Qi Xue, *Heavy Metals in the Environment, Effect of Biosolids Processing on Lead Bioavailability in an Urban Soil*, J. Environ. Qual. (2003)
- [1۶]. T. Van Gerven, E. Van Keer, S. Arickx, M. Jaspers, G. Wauters, C. Vandecasteele, *Carbonation of MSWI-bottom ash to decrease heavy metal leaching, in view of recycling*, Waste Management 25 (2005) 291-300.
- [1۷]. U.S.EPA. Report to Congress on Special Wastes from Mineral Processing Facilities. Volume II: Methods and Analyses. July 1990.
- [۱۸]. Wang-Yan, Zhou-Chunshan, *Hydrometallurgy process for recovery of cobalt from zinc plant residue*, Hydrometallurgy 63(2002) 225-234.
- [۱۹]. <http://www.markazimet.ir/اقلیم استان/>