

بررسی عوامل مؤثر بر انتشار عناصر سمی پسماند کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست

مجید رجایی نجف‌آبادی^۱؛ شهلا اسکندری^۲؛ داوود مرادخانی^{۳*}؛ بهزاد صداقت^۴؛ احمد خدادادی دربان

۱- دانشجوی فراوری مواد معدنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، majedrajaee@yahoo.com

۲- دانشجوی فراوری مواد معدنی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین، sh_eskandari8@yahoo.com

۳- استادیار بخش معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان، dmoradkhani@gmail.com

۴- کارشناس شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیر آهنی، زنجان، beh_sed@yahoo.com

۵- دانشیار فراوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت ۲۰ اسفند ۱۳۹۱، پذیرش ۳ دی ۱۳۹۲)

چکیده

در این مقاله به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار عناصر سمی از پسماند کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست پرداخته شده است که طی آن به بررسی رفتار و میزان حلالیت فلزات سمی و خطرناک مثل روی، نیکل، کبالت، کادمیم، منگنز و سرب در آزمایش‌های فروشویی ستونی پرداخته شد. در این راستا پارامترهای دبی، غلظت اسید و زمان مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بیشترین میزان حلالیت فیلتر کیک فروشویی تحت شرایط: دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه، pH ورودی ۵ و زمان ۲۰ روز به دست آمد. برای تحلیل عوامل مؤثر بر انتشار عناصر سمی از پسماند کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست از نرم‌افزار Spss 15 استفاده شد و با استفاده از رگرسیون چندگانه پارامتر زمان از بین پارامترهای pH، زمان و دبی ورودی به عنوان پارامتر مؤثر شناخته شد. رابطه بین پارامترهای زمان، دبی و pH با درصد حلالیت تعیین شد. با در نظر گرفتن نتایج به دست آمده، شرایط بحرانی امکان انتشار عناصر سمی از دیپوهای پسماند کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست تعیین شد.

کلمات کلیدی

فلزات سمی، کارخانه‌ی فروشویی روی، کیک فیلتر، فروشویی ستونی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

۱- مقدمه

رها شدن و پخش مواد سمی در محیط‌زیست می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی انسان‌ها و سایر موجودات زنده بگذارد. افزایش بی‌رویه در تولید و مصرف فلزات سنگین طی چند دهه گذشته باعث شده که مقادیر زیادی از آن‌ها وارد محیط‌های آبی شده و به علت عدم تجزیه بیولوژیکی باعث بروز اثرات مخربی شوند. منابع آلوده‌کننده آب‌های زیرزمینی و سطحی شامل زه‌آب‌ها، جریان‌های ناشی از فرسایشی و جریان‌های نفوذی از سدهای باطله، پیت‌های معادن و عملیات معدنکاری می‌باشد. با افزایش میزان اسیدی شدن آب، قدرت فرسایشی و تحرک‌پذیری فلزات و دیگر آلوده‌کننده‌ها افزایش می‌یابد. پایین آمدن pH بر روی حلالیت این عناصر و کانی‌ها تاثیر دارد و آن‌ها را برای حمل توسط آب‌های سطحی و زیرزمینی آماده می‌کند [۱]. باران اسیدی که امروزه یکی از مشکلات محیط‌زیستی می‌باشد دارای pH کمتر از ۵/۶ بوده و به دلیل اسیدی بودن آن، قابلیت بالایی در حل کردن و شستن عناصر سمی از منابع حاوی این عناصر دارد.

یکی از منابعی که در معرض باران‌های اسیدی قرار دارند فیلتر کیک‌های حاصل از فرآیند تولید ورق روی در کارخانه‌ی فروشویی روی می‌باشد. طی این فرآیند سه نوع پسماند تولید می‌شود که به ترتیب شامل فیلترکیک فروشویی، فیلترکیک گرم و فیلترکیک سرد می‌باشد. در این فرآیند ابتدا خوراک پرعیار محتوی روی طی یک مرحله با اسید سولفوریک لیچ اسیدی می‌شود. در این قسمت برای حذف عناصر مزاحم از قبیل فلئوئور، آهن، سیلیس، کبالت، نیکل، کادمیم و منگنز از ترکیبات سولفات آهن، سولفات آلومینیوم و دی‌اکسید منگنز استفاده می‌شود. در مرحله‌ی بعد، فرآیند خنثی‌سازی توسط آهک انجام شده و با استفاده از فیلتراسیون، محلول خنثی شده‌ی کیک لیچ به دست می‌آید. از آنجایی که در مرحله‌ی لیچ خنثی ناخالصی‌های بسیاری رسوب داده می‌شود میزان برخی از عناصر از جمله آهن و سرب در کیک لیچ افزایش می‌یابد. پس از این مرحله، محلول به دست آمده با اضافه کردن پرمنگنات پتاسیم برای رسوب دادن عنصر کبالت، فیلتر می‌شود که در نتیجه کیک فیلتر گرم حاصل می‌گردد. محلول حاصل از این مرحله با اضافه کردن پودر روی و سولفات مس فیلتر شده و منجر به تولید کیک سرد می‌شود. محلول نهایی به دست آمده دارای کمترین نوع ناخالصی بوده و برای تولید ورق روی وارد مرحله الکترولیز می‌گردد [۲، ۳].

به دلیل اهمیت پسماندهای تولیدی حاصل و سمی بودن آن‌ها، مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است که بطور کلی و در یک طبقه‌بندی می‌توان آن‌ها را به سه گروه

تقسیم‌بندی کرد. گروه اول مطالعاتی است که در زمینه بازیابی عناصر سمی از نظر محیط‌زیست ولی ارزشمند از لحاظ اقتصادی در پسماندهای تولیدی انجام شده است که بدین وسیله پسماندهای جدیدی عاری از عناصر سمی تولید شده است که در این بخش، مطالعاتی بر روی بازیابی عناصر سرب، روی، کادمیم و کبالت انجام شده است [۴]. گروه دوم مطالعاتی هستند که به بررسی وضعیت پسماندها در نقاط مختلف جهان می‌پردازند که در این زمینه مطالعاتی بر روی پسماندهای سینکار ترکیه، آمریکا و ایران انجام شده است [۵، ۶ و ۷]. در گروه سوم تلاشی برای خنثی‌سازی و تثبیت خاک‌های آلوده با عناصر سمی ناشی از پسماندها انجام شده است [۸].

همچنین مطالعاتی در زمینه‌ی بررسی میزان حلالیت فلزات سمی به منظور جلوگیری از انتشار آن‌ها به منابع آبی و خاکی در پسماندهای سد باطله کارخانه‌ی فرآوری سرب و روی لکان- اراک [۹]، بررسی آثار زیست‌محیطی عملیات فرآوری کانسنگ معدن عمارت اراک و امکان حذف سیانور سدیم [۱۰]، چالش‌ها و اثرات زیست محیطی زهاب‌های اسیدی، روش‌های خنثی‌سازی، پتانسیل و پیش‌بینی امکان تولید آن با نگاهی به معادن مس سونگون و زغال البرز شرقی [۱۱] و بررسی عوامل مؤثر بر انتشار عناصر سمی پسماندهای کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست [۱۲]، بازیابی عناصر خطرناک از پسماندهای کارخانه‌ی روی دندی زنجان [۴]، مطالعه بر روی باطله‌های کارخانه‌های روی در ترکیه برای بازیابی سرب و روی [۱۳]، مطالعه‌ای برای بازیابی کبالت بر روی کیک گرم حاصل از پسماندهای کارخانه‌ی ذوب روی هیلداوی چین [۱۴]، مطالعه‌ای برای استحصال و بازیابی عنصر کادمیم از لحاظ کاهش اثرات زیست محیطی بر روی پسماندهای کارخانه‌ی فروشویی شرکت ملی سرب و روی ایران [۱۵] انجام شده است. در این زمینه مطالعاتی بر روی پسماند فروشویی کارخانه‌ی روی زنجان با هدف بررسی عوامل مؤثر در انتشار عناصر سمی و تعیین شرایط بحرانی پارامترهای مؤثر در آن انجام شد که طی آن با استفاده از آزمایش فروشویی ستونی و شبیه‌سازی باران‌های اسیدی و pH آن‌ها و همچنین زمان انحلال به بررسی میزان انحلال عناصر سمی موجود در فیلترکیک فروشویی پرداخته شد و امکان انتشار آن‌ها به محیط‌زیست در شرایط واقعی بررسی شد.

۲- شناسایی و آزمایش‌ها

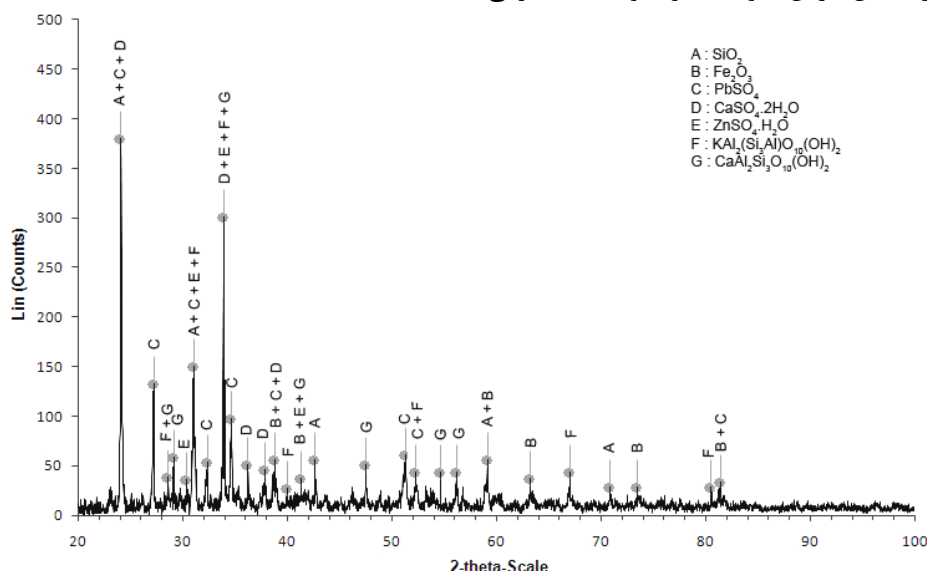
۲-۱ شناسایی فیلتر کیک

در این آزمایشات نمونه‌گیری به صورت دستی از فیلتر کیک فروشویی دپو شده کارخانه‌ی روی دندی زنجان انجام

برای آنالیز جذب اتمی و پراش پرتو ایکس به آزمایشگاه ارسال شد.

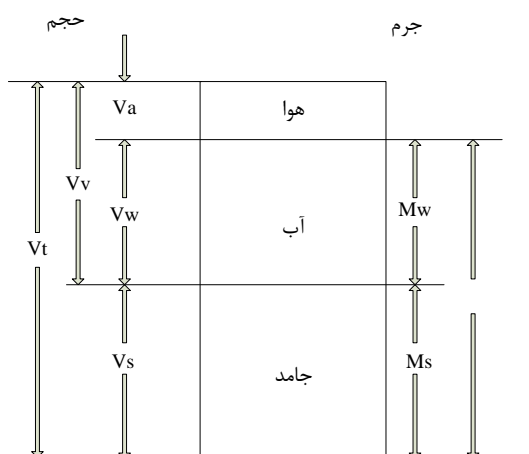
➤ آنالیز پراش پرتو ایکس

نمودار حاصل از پراش پرتو ایکس نشان می‌دهد که در فیلترکیک اولیه عمدتاً ترکیبات SiO_2 ، PbSO_4 ، Fe_2O_3 ، $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ، $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ، $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ وجود دارد (شکل ۱).



شکل ۱: نمودار حاصل از پراش پرتو ایکس فیلتر کیک

ریزی از کانی‌های مختلف می‌باشد که فضای خالی بین آن‌ها توسط آب یا هوا و یا هر دوی آن‌ها پر می‌شود [۱۶]. حجم فضای خالی بین ذرات جامد شامل حجم آب V_m و حجم هوا V_a می‌باشد. به طور شماتیک می‌توان این سه فاز را در شکل ۲ مشاهده نمود.



شکل ۲: رابطه‌ی بین جرم و حجم برای یک خاک

در آزمایش نفوذپذیری یک ستون تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری از کیک لیچ پر شد و سپس به ارتفاع ۲۰

گرفت. برای این منظور ابتدا به صورت تخمینی حجم کل مواد مورد نظر اندازه گرفته شده، سپس به فواصل دو متر و به ارتفاع ۱ متر از سطح زمین نمونه‌گیری انجام شد. به منظور تهیه نمونه معرف تعداد ۲۰ نمونه‌ی نیم کیلوگرمی از مکان‌های مختلف فیلتر کیک برداشت شد.

به منظور شناسایی فیلتر کیک فروشویی پس از خشک کردن، خردایش و همگن کردن نمونه‌ها، دو نمونه‌ی ۱۰ گرمی

➤ آنالیز جذب اتمی

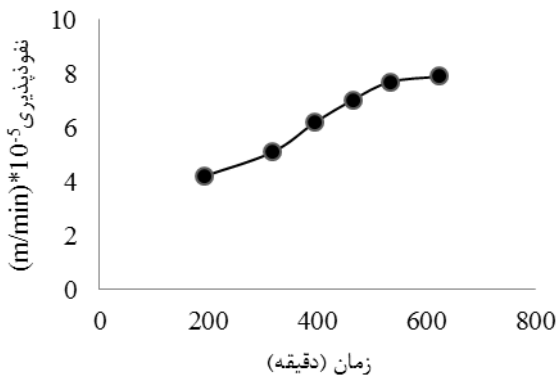
برای انجام آزمایش جذب اتمی با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Perkin-Elmer AA300، نمونه‌ای ۱۰ گرمی از فیلتر کیک فروشویی به آزمایشگاه شرکت مهندسی و تحقیقاتی فلزات غیرآهنی فرستاده شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: نتایج آنالیز جذب اتمی

عناصر	علامت شیمیایی	عنصر
۷/۵۵٪	Zn	روی
۸/۱۳٪	Pb	سرب
۰/۱۴٪	Mn	منگنز
۰/۰۱۹٪	Ni	نیکل
۰/۰۸۵٪	Cd	کادمیم
ناچیز	Fe	آهن
۰/۰۲۱٪	Co	کبالت

➤ نفوذپذیری

هر جرمی از خاک شامل مجموعه‌ای از ذرات جامد با تخلخل در بین آن‌ها می‌باشد. ذرات جامد خاک شامل دانه‌های



شکل ۴: نمودار نفوذپذیری کیک بر اساس زمان

۲-۲ آزمایش‌های فروشویی ستونی

سیستم مورد استفاده در این آزمایش شامل ۸ ستون به قطر ۵۹ میلیمتر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و جنس پلکسی‌گلاس می‌باشد. ظرف‌هایی با حجم یک لیتر برای ورود محلول اولیه‌ی شستشو در بالای ستون‌ها و سطوح‌هایی برای جمع‌آوری محلول خروجی در قسمت زیرین هر ستون تعبیه شده است. برای تنظیم میزان دبی محلول اولیه‌ی ورودی هر ستون از ست سرم استفاده شد.

به منظور آماده‌سازی ستون‌ها، در انتهای ستون یک عدد کاغذ صافی وات من به منظور عدم عبور ذرات جامد قرار داده شد. به دلیل حجم زیاد محلول خروجی و زمان زیاد برای صاف کردن آن، از این کاغذ صافی استفاده شد تا نیاز به فیلتراسیون مجدد نیز نباشد. پس از آن لایه‌ای از ماسه‌ی شسته و خشک شده به ضخامت حدود ۳ سانتی‌متر به منظور فیلتر کردن قرار می‌گیرد. نمونه‌ی آماده شده را به تدریج و آهسته بر روی ماسه‌ها ریخته و در قسمت بالایی ستون به منظور کمک به پاشش یکنواخت محلول، توده‌ای از یک لایه پشم شیشه به ارتفاع تقریبی ۳ سانتی‌متر بین دو لایه کاغذ صافی قرار می‌گیرد.

برای پر کردن هر ستون حدود ۸۷۵ گرم از کیک فیلتر فروشویی برداشته شد و در روزهای ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ نمونه‌ای از محلول خروجی برای آنالیز به آزمایشگاه فرستاده شد.

در آزمایش‌های فروشویی ستونی دو پارامتر دبی ورودی و pH در سه سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲).

سانتی‌متری بر روی کیک داخل ستون آب ریخته شد. سپس زمان‌هایی که حجم محلول خروجی به اندازه‌ی حجم فضای خالی داخل کیک رسید، یادداشت شد و با توجه به رابطه‌ی ۱ میزان نفوذپذیری کیک بدست آمد.

$$k = \frac{Q.l}{H.A.t} \quad (1)$$

Q: حجم محلول خروجی (L)

l: ارتفاع خاک (m)

H: ارتفاع ستون (m)

A: سطح مقطع ستون (m²)

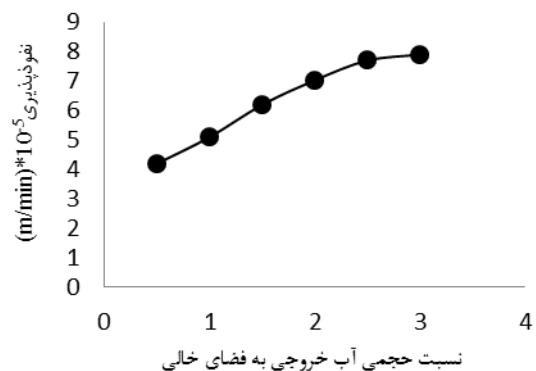
t: زمان جمع‌آوری آب (min)

K: میزان نفوذپذیری (m/min)

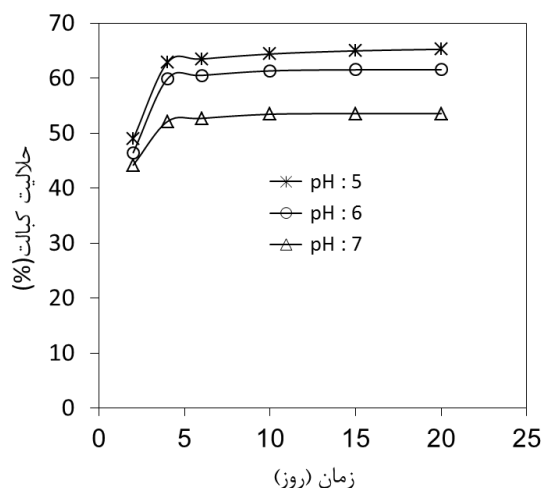
در شکل‌های ۳ و ۴ نمودارهای نفوذپذیری کیک بر اساس حجم فضای خالی و زمان نشان داده شده است. در شکل ۳ نفوذپذیری برحسب نسبت حجمی آب خروجی به فضای خالی نشان داده شده است. نسبت حجمی آب خروجی به فضای خالی عبارت است از میزان آب خروجی در مدت زمان معین به حجم فضای خالی خاک اولیه که این حجم خالی بصورت زیر محاسبه می‌شود:

ابتدا حجم مشخصی از خاک درون استوانه مدرج ریخته شده و پس از فشردن خاک اختلاف حجم حاصل بدست می‌آید که این همان حجم فضای خالی خاک در نظر گرفته می‌شود.

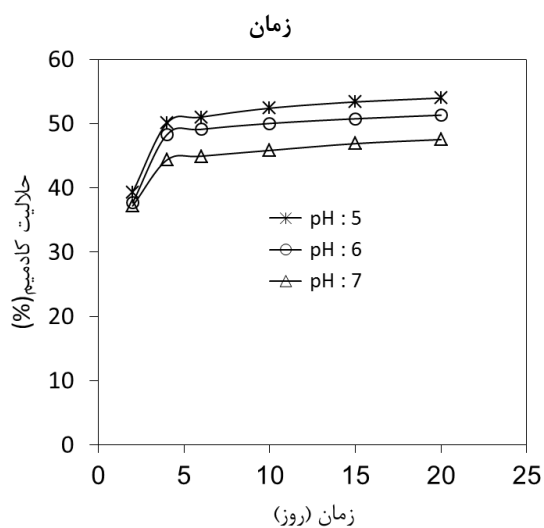
در شکل ۴ نیز نفوذپذیری برحسب زمان نشان داده شده است.



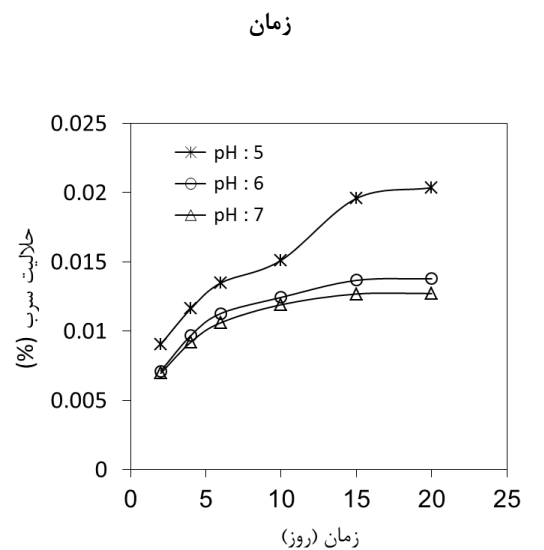
شکل ۳: نمودار نفوذپذیری کیک بر اساس نسبت حجمی آب خروجی به فضای خالی



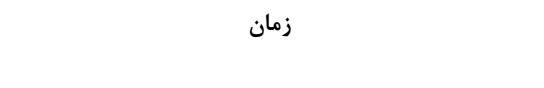
شکل ۷: درصد حلالیت عنصر کبات در سه pH مختلف نسبت به



شکل ۸: درصد حلالیت عنصر کادمیم در سه pH مختلف نسبت به



شکل ۹: درصد حلالیت عنصر سرب در سه pH مختلف نسبت به



جدول ۲: پارامترها و سطوح تعیین شده

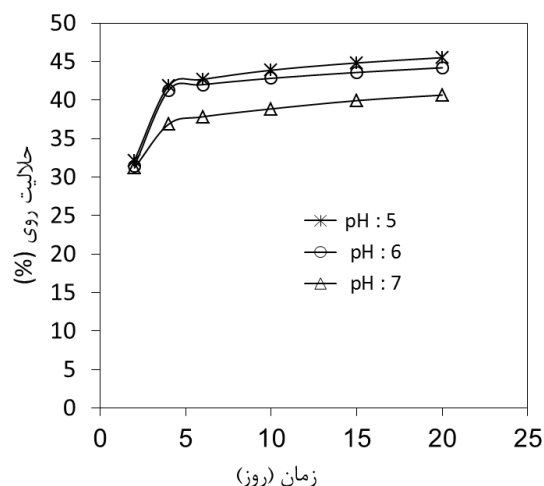
پارامترها	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳
دبی ورودی (cc/min)	۰/۵	۱	۲
pH ورودی	۷	۶	۵

۳- بحث و نتیجه‌گیری

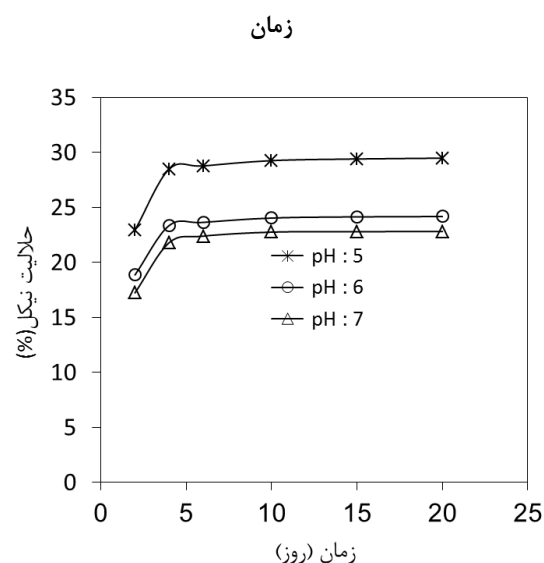
➤ آزمایش غلظت اسید

برای انجام آزمایش‌ها چون هدف شبیه‌سازی فرآیندی است که در طبیعت اتفاق می‌افتد بنابراین با استفاده از اطلاعات باران‌های اسیدی در زنجان، سه محلول با pH های ۵ و ۶ و ۷ در نظر گرفته شد. به منظور تنظیم pH از اسید سولفوریک صنعتی استفاده شد.

در شکل‌های ۵ تا ۱۰ درصد حلالیت تجمعی عناصر مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۵: درصد حلالیت عنصر روی در سه pH مختلف نسبت به



شکل ۶: درصد حلالیت عنصر نیکل در سه pH مختلف نسبت به

زمان

pH=5 و برابر 53/97% است. حلالیت کادمیم نیز مشابه عناصر قبلی بیشتر متاثر از افزایش غلظت عامل فروشویی و زمان می‌باشد.

با توجه به شکل 9 درصد حلالیت عنصر سرب تفاوت محسوسی با سایر نمودارها دارد. سرب به میزان بسیار کمی حل و خارج شده است. نمودارها دارای شیب ملایم‌تری هستند و برخلاف عناصر دیگر تقریباً بعد از روز 15 ام شیب، تقریباً ثابت می‌شود. کمترین درصد حلالیت سرب در pH=7 و برابر با 0.07% و بیشترین درصد حلالیت در pH=5 و برابر 0.2% می‌باشد. این رفتار به دلیل نامحلول بودن سولفات سرب در pHها و دماهای مختلف می‌باشد [17]. با توجه به نمودار شکل 9 نیز واضح است که عملاً پس از گذشت 15 روز حلالیت عنصر سرب به مقدار محدودی می‌رسد.

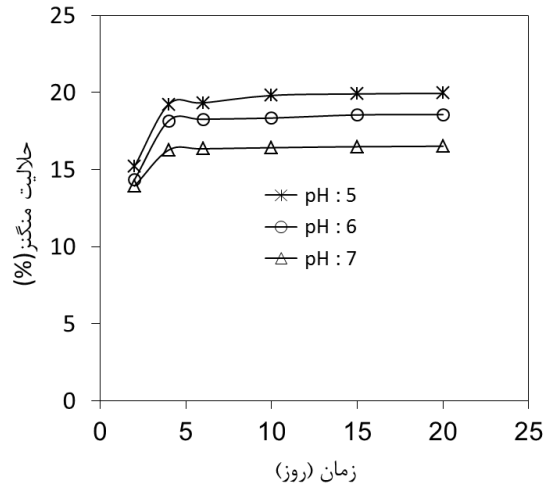
با توجه به درصد حلالیت عنصر منگنز در شکل 10 کمترین درصد حلالیت در pH=7 و برابر با 13/93% و بیشترین درصد حلالیت مربوط به pH=5 و 19/94% می‌باشد. حلالیت این عنصر نیز مشابه عناصر قبلی بیشتر متاثر از افزایش غلظت عامل فروشویی و زمان می‌باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که حلالیت سولفات منگنز در دمای محیط نسبت به دماهای دیگر بیشتر است.

با توجه به نتایج حاصل از نمودارها بیشترین درصد حلالیت مربوط به عنصر کبالت و کمترین درصد حلالیت مربوط به عنصر سرب و برابر با 0.07% می‌باشد. عناصر در pH=5 بیشترین و در pH=7 کمترین درصد حلالیت را دارا هستند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که خوشبختانه عنصر سرب که از عناصر سمی و پرخطر محسوب می‌شود به دلیل انحلالیت بسیار کم وارد محیط‌زیست نمی‌شود اما دیگر عناصر از قبیل کبالت، کادمیم، نیکل، منگنز و روی در شرایط بحرانی (pH=5) که در اثر باران‌های اسیدی ممکن است به وجود بیاید، دارای انحلالیت بالایی بوده و باید از نفوذ آب باران به دپوهای موجود و در نتیجه ورود این عناصر سمی و خطرناک به محیط‌زیست جلوگیری کرد.

➤ آزمایش دبی ورودی

با توجه به نتایج آزمایش‌های قبلی عناصر در pH=5 بیشترین درصد حلالیت را دارا هستند لذا pH=5 به عنوان pH بحرانی برای سایر آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

بیشینه بارندگی در استان زنجان بر طبق آمار اداره‌ی هواشناسی استان 318/7 میلی‌متر می‌باشد [18] که با توجه به آن سه دبی با جریان‌های 1×10^{-6} ، 0.5×10^{-6} و 2×10^{-6}



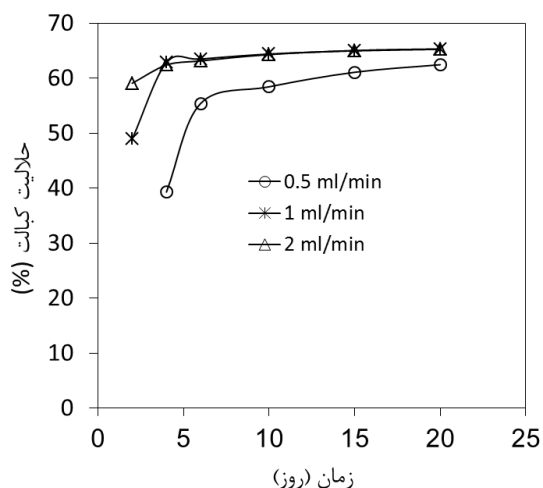
شکل 10: درصد حلالیت عنصر منگنز در سه pH مختلف نسبت به زمان

مطابق شکل 5 درصد حلالیت عنصر روی در روزهای اول آزمایش، در دبی‌های متفاوت تقریباً با هم برابر و در حدود 31/5% می‌باشد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود درصد حلالیت عنصر روی در pHهای 5 و 6 تا حدودی با یکدیگر برابر می‌باشد اما تفاوت قابل ملاحظه‌ای با pH=7 دارند. بیشترین درصد حلالیت عنصر روی مربوط به pH=5 و در حدود 45/5% می‌باشد که طی مدت 20 روز به دست آمده است. فلز روی به شکل سولفات آبدار بوده و دلیل انحلالیت بالای آن نیز می‌تواند همین امر باشد.

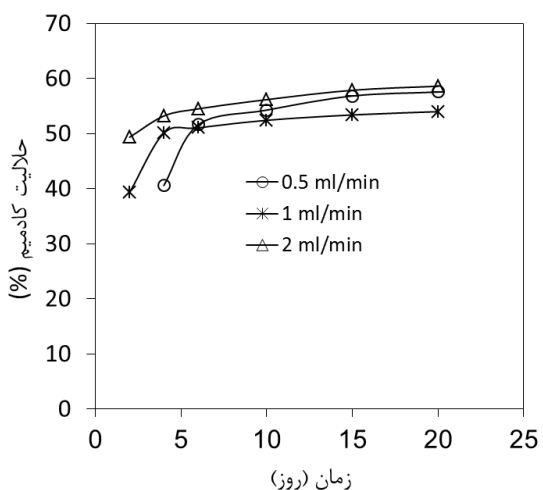
درصد حلالیت عنصر نیکل با توجه به شکل 6 در pHهای 6 و 7 تقریباً به طور یکسان تغییر می‌کند اما در pH=5 نحوه‌ی تغییرات متفاوت است. کمترین درصد حلالیت نیکل در pH=7 و برابر با 17/22% و بیشترین درصد حلالیت مربوط به pH=5 و برابر با 22/47% می‌باشد. همان‌طور که واضح است کاهش pH با افزایش غلظت عامل فروشویی همراه بوده و منجر به حل شدن بیشتر نیکل در pH پایین‌تر می‌شود. عامل زمان نیز در حلالیت بیشتر نیکل تاثیر واضحی دارد.

همان‌طور که در شکل 7 مشاهده می‌شود درصد حلالیت کبالت نیز مانند روی در روزهای اول در pHهای مختلف تغییرات تقریباً یکسانی دارد. کمترین درصد حلالیت مربوط به pH=7 و برابر با 44/17% و بیشترین درصد حلالیت در pH=5 و برابر با 65/23% است. علاوه بر افزایش غلظت عامل فروشویی و زمان که باعث حلالیت بیشتر سولفات کبالت می‌شوند، فروشویی در دمای محیط نیز عامل دیگری است که حلالیت این ترکیب را افزایش می‌دهد.

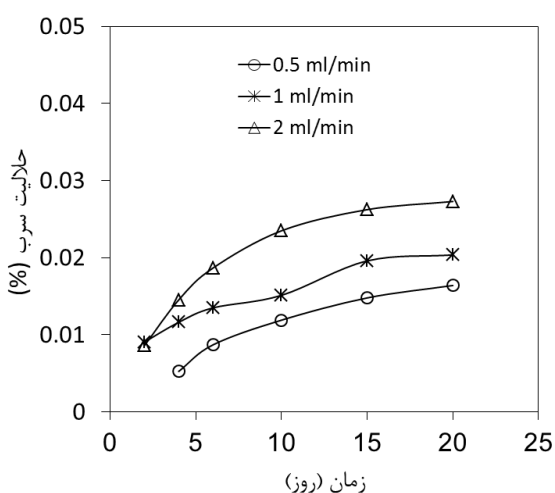
کمترین درصد حلالیت کادمیم با توجه به شکل 8 در هر سه pH تقریباً برابر 37/68% و بیشترین درصد مربوط به



شکل ۱۳: درصد حلالیت کبالت در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان



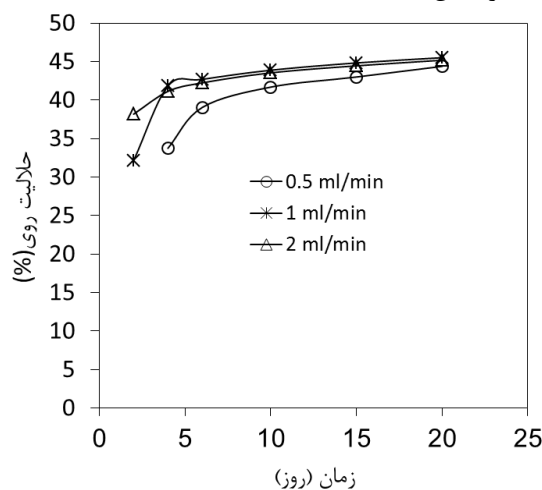
شکل ۱۴: درصد حلالیت کادمیم در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان



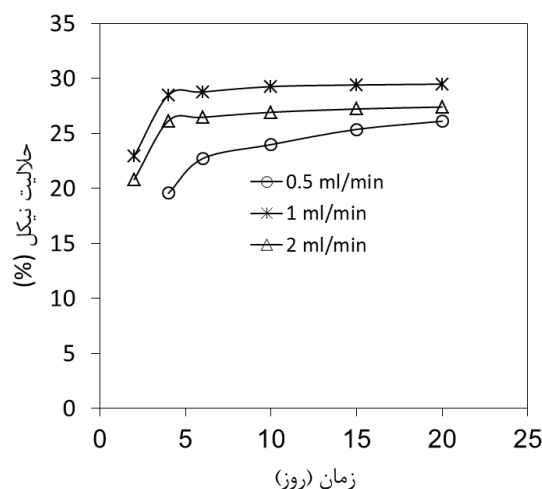
شکل ۱۵: درصد حلالیت نیکل در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان

مترمکعب در دقیقه برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. این دبی‌ها بر حسب بیشینه بارندگی در استان تعریف شد تا در شرایط حداکثر ریزش‌های جوی اسیدی نیز مدل برازش شده معتبر باشد.

در شکل‌های ۱۱ تا ۱۶ درصد حلالیت تجمعی عناصر مورد نظر نشان داده شده است.



شکل ۱۱: درصد حلالیت روی در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان



شکل ۱۲: درصد حلالیت نیکل در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان

1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه رفتار و میزان حلالیت کبالت ثابت خواهد بود.

با توجه به شکل ۱۴ که درصد حلالیت کادمیم را نشان می‌دهد بیشترین درصد حلالیت کادمیم در دبی 2×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $58/59\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $53/97\%$ می‌باشد. در این شکل مشاهده می‌شود که در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه با گذشت زمان حلالیت بیشتر می‌شود که این به دلیل صرف زمان بیشتر در واکنش کادمیم با عامل فروشویی می‌باشد.

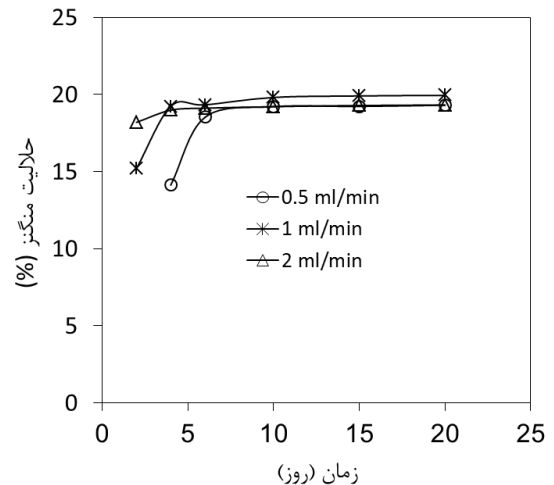
همان‌طور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌کنید شیب نمودارهای درصد حلالیت سرب در دبی‌های متغیر دارای شیب زیادی بوده و با نمودارهای دیگر عناصر متفاوت می‌باشد. بیشترین درصد حلالیت سرب پس از ۲۰ روز در دبی 2×10^{-6} مترمکعب در دقیقه برابر با $0/027\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه و برابر با $0/016\%$ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود روند حلالیت سرب با دیگر عناصر متفاوت می‌باشد که دلیل آن می‌تواند انحلالیت کم سولفات سرب نسبت به دیگر عناصر باشد. همچنین به دلیل کوچک مقیاس بودن محور حلالیت سرب در شکل ۱۴، نمودار آن با شیب زیاد نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۶ بیشترین درصد حلالیت منگنز در دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $19/94\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه و برابر با $19/3\%$ می‌باشد.

➤ تاثیر عوامل مختلف بر روی حلالیت

نتایج به دست آمده از رگرسیون چندگانه با استفاده از نرم‌افزار Spss 15 برای عناصر مورد آزمایش در جدول ۳ نشان داده شده است. در این جدول رابطه درصد حلالیت هر عنصر با پارامترهای دیگر به صورت خطی بیان شده و عوامل تاثیرگذار در آن مشخص شده‌اند.

جدول ۳: نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Spss 15

عناصر	رابطه پارامتری به دست آمده از نرم افزار	عوامل مؤثر
روی	$R = -0/053pH + 0/266Q + 0/528t$	t
نیکل	$R = -0/254pH + 0/239Q + 0/422t$	t
کبالت	$R = -0/137pH + 0/350Q + 0/427t$	Q, t
کادمیم	$R = -0/151pH + 0/318Q + 0/508t$	Q, t
سرب	$R = -0/240pH + 0/517Q + 0/688t$	t, pH, Q
منگنز	$R = -0/163pH + 0/268Q + 0/412t$	t



شکل ۱۶: درصد حلالیت منگنز در دبی ورودی متغیر نسبت به زمان

با توجه به شکل ۱۱ بیشترین درصد حلالیت روی در دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $45/50\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه و برابر با $44/378\%$ می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۱۲ دیده می‌شود بیشترین درصد حلالیت نیکل در دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $29/147\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه و برابر با $26/09\%$ می‌باشد. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که با افزایش دبی از 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه به 2×10^{-6} مترمکعب در دقیقه کاهش در حلالیت نیکل به وجود می‌آید. به دلیل این که نیکل به زمان زیادی برای انحلال توسط عامل فروشویی نیاز داشته و عدم وجود زمان کافی برای واکنش نیکل در اثر عبور سریع محلول از فیلترکیک اتفاق می‌افتد در نتیجه نیکل موجود در فیلترکیک کمتر حل می‌شود. شکل ۱۳ درصد حلالیت تجمعی کبالت را در ۲۰ روز نشان می‌دهد. بیشترین درصد حلالیت کبالت در دبی 2×10^{-6} مترمکعب در دقیقه و برابر با $65/30\%$ و کمترین درصد حلالیت آن در دبی $0/5 \times 10^{-6}$ مترمکعب در دقیقه و برابر با $62/43\%$ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در دبی‌های بالای

خطرناک بوده و نیازمند مدیریت صحیح در دپوی باطله می‌باشند.

۵- منابع

[۱] اسماعیلی، عباس؛ ناصری، سیمین؛ محوی، امیرحسین؛ "کاربرد پوکه معدنی طبیعی (خاکستر آتشفشانی) در حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنایع"، ۱۳۸۵.

[۲] حکمی- ع؛ ۱۳۸۵؛ "گزارشی از خط تولید روی مرکز D&R"، شرکت توسعه معادن روی ایران، گزارش شماره‌ی ۲۲۴.

[۳] مرادی، سعید؛ ۱۳۸۳؛ "روی": انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران؛ چاپ اول.

[۴] Espiari- Shiain, Rashchi- Fereshteh, Sadrnezhad- S- K, "*Hydrometallurgical treatment of tailing with high zinc content*" Hydrometallurgy 82 (2006) 54-62

[۵] E. Jorjani, B. Shahbazi, "*Environmental assessment of Iranian Lead and Zinc tailing dams*" Processing of the international seminar on mineral processing Technology, February 22-24, 2007.

[۶] U.S. EPA. *Report to Congress on Special Wastes from Mineral Processing Facilities*. Volume II: Methods and Analyses. July 1990.

[۷] H. Soner Altundogan, Mehmet Erdem, Ramazan Orhan, Ahmet Ozer, Fikret Tumen, "*Heavy Metal Pollution Potential of Zinc Leach Residues Discarded in Cinkur Plant*" , Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22 (1998) 167-177.

[۸] رجب‌پور اشکیکی، علیرضا؛ "بررسی امکان تثبیت خاک آلوده به پسماندهای کارخانه‌ی فرآوری روی توسط سیمان پرتلند"، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۶.

[۹] خدادادی، احمد؛ کلینی، سید جواد؛ مرزبان، مهدی؛ سمیعی، عبدالله؛ "بررسی میزان حلالیت فلزات سمی و سنگین به منظور جلوگیری از انتقال آن‌ها به منابع آبی و خاکی در پسماندهای سد باطله‌ی کارخانه‌ی فرآوری سرب و روی لکان- اراک"، دومین کنفرانس مهندسی معدن، ۱۳۸۷.

[۱۰] یراقی، علی؛ عبداللهی، محمود؛ خدادادی، احمد؛ "بررسی آثار زیست محیطی عملیات فرآوری کانسنگ معدن عمارت اراک و امکان حذف سیانور سدیم"، مجله ایمنی، صفحه ۳۰۹ الی ۳۱۵، ۱۳۸۲.

در اینجا R درصد حلالیت عناصر می‌باشد و دیگر پارامترها طی یک رابطه خطی با درصد حلالیت در ارتباطند که این روابط توسط نرم‌افزار Spss 15 برازش شده‌اند. همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود مهمترین عامل مؤثر در حلالیت تمامی عناصر زمان می‌باشد که در مورد روی، نیکل و منگنز تنها عامل مؤثر زمان است. این به دلیل کند بودن تماس مناسب حلال با مواد می‌باشد و بنابراین برای انحلال بهتر عناصر و واکنش‌های مورد نظر، با توجه به دبی‌های مختلف در نظر گرفته شده، مدت زمان بیشتری صرف تماس حلال با مواد خواهد شد و این طبیعی است که با گذشت زمان درصد بیشتری از عناصر حل و خارج شود. اما در مورد کبالت و کادمیم پارامتر دبی نیز تاثیر عمده‌ای دربر دارد چرا که این دو عنصر به صرف زمان بیشتری برای واکنش با عامل فروشویی نیاز دارند. در مورد عنصر سرب که تمامی عوامل در حلالیت آن مؤثر نشان داده شده‌اند باید توجه داشت که این عنصر به شکل سولفات سرب حلالیت بسیار کمی دارد و عملاً نامحلول طبقه‌بندی می‌شود لذا تاثیر پارامترها در حلالیت آن در عین مؤثر بودن بسیار کم می‌باشد.

۴- نتایج

در این تحقیق به بررسی میزان انتشار عناصر سمی از یک فیلترهای فروشویی کارخانه‌ی روی به محیط‌زیست پرداخته شد که طی آن از آزمایش‌های فروشویی ستونی استفاده شد که در نهایت نتایج زیر حاصل شد:

- ✓ با توجه به آنالیز جذب اتمی مشخص شد که عناصر سرب، روی، منگنز، کبالت، کادمیم و نیکل درصد زیادی را در کیک لیچ تشکیل می‌دهند و از آنجایی که این عناصر جزء فلزات سمی به شمار می‌آیند لذا در آزمایشات این عناصر مد نظر قرار داده شد.
- ✓ براساس آزمایش فروشویی ستونی که بر روی کیک انجام شد، بدترین شرایط زیست محیطی در شرایط دبی 1×10^{-6} مترمکعب در دقیقه، pH ورودی ۵ و زمان ۲۰ روز به دست آمد.
- ✓ درصد حلالیت عناصر نیکل، روی، کبالت، منگنز، سرب و کادمیم در شرایط ذکر شده‌ی بالا به ترتیب ۲۲/۵۷٪، ۴۵/۵٪، ۶۵/۲۳٪، ۱۹/۹۴٪، ۰/۰۲٪ و ۵۳/۹۷ بدست آمد.

✓ با توجه به نتایج بدست آمده، فیلتر کیک‌های تولید شده در صنعت سرب و روی از نظر محیط‌زیستی

[۱۱] سراجیان، ساناز؛ خدادادی، احمد؛ سمیعی؛ عبدالله؛ سراجیان، وحید؛ "چالش‌ها و اثرات زیست محیطی زهاب‌های اسیدی، روش‌های خنثی‌سازی، پتانسیل و پیش‌بینی امکان تولید آن با نگاهی به معادن مس سونگون و زغال البرز شرقی"، ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، صفحه ۴۴۷ الی ۴۵۹، ۱۳۸۵.

[۱۲] صداقت، بهزاد؛ "بررسی عوامل مؤثر بر انتقال عناصر خطرناک پسماندهای کارخانه‌ی فروشویی روی به محیط زیست"؛ پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ۱۳۸۶.

[۱۳] M. Deniz Turan, H. Soner Altundongan, Fikret Tumen, "*Recovery of zinc and lead from zinc plant residue*". Hydrometallurgy 75 (2004), 169-176.

[۱۴] Wang-Yan, Zhou-Chunshan, "*Hydrometallurgy process for recovery of cobalt from zinc plant residue*", Hydrometallurgy 63 (2002) 225-234.

[۱۵] Safarzadeh-Mohammad Sadegh, Moradkhani-Davood, Ojaghi Ilkhchi-Mehdi, Hamedani Golshan-Negar, "*Determination of optimum conditions for the leaching of Cd-Ni residues from electrolytic zinc plant using statistical design of experiments*", Separation and Purification Technology, 2007.

[۱۶] Baker, AJM, and PR. Brooks; 1989; "*Terrestrial higher plants which hyper accumulate metallic elements. A review of their distribution*"; Ecology and Phytochemistry; Biorecovery No.1, pp 81-126

[۱۷] http://www.en.wikipedia.org/wiki/Solubility_table

[۱۸] <http://www.Zanjanmet.ir/amar.html>, 2010.

