پژوهش‌های کاربردی
مهندسی شیمی - پلیمر

فصلنامه علمی - پژوهشی بین‌رشته‌ای
سال دوم، شماره ۱، نسخه ۱،
بهار ۱۳۹۷، صفحه ۶۵-۵۷

بازیابی زیستی مس از زباله‌های الکترونیکی بدون تنظیم روزانه pH با استفاده از باکتری *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس*

مهدخت ارشدی[۱]، سهیلا یغمایی*[۲]، سید محمد موسوی*[۳]

۱ ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشجوی دوره دکتری گروه بیوتکنولوژی
۲ ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، استاد گروه بیوتکنولوژی
۳ ایران، تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی شیمی، دانشیار گروه بیوتکنولوژی

چکیده

زباله‌های الکترونیکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پسماندهای جامد قرن ۲۱ام شناخته شده‌اند و دو تا سه برابر سریع‌تر از سایر جریان‌های زباله‌های شهری در حال تولید شدن هستند. پژوهشگران متعددی فروشویی زیستی زباله‌های الکترونیکی را توسط *باکتری اسیدیتیوباسیلوس* فرواکسیدانس بررسی کرده‌اند. زباله‌های الکترونیکی به دلیل داشتن مقادیر قابل توجهی از فلزات قلیایی، طبیعتی قلیایی دارند و در هنگام افزودن به محیط، pH را به صورت قابل توجهی افزایش می‌دهند. بسیاری از پژوهشگران با پیش‌فرض قراردادن این موضوع‌که فعالیت این باکتری در محدوده pH بهینه آن (۱/۵ تا ۲/۵) منجر به استخراج بیشینه فلزات هدف می‌شود در حین فرایند فروشویی زیستی با تصحیح روزانه pH و استفاده از مقادیر قابل توجه سولفوریک اسید در تمامی مراحل، pH فرایند را حدود ۲ تنظیم می‌کنند. در این پژوهش به منظور بررسی صحت این فرضیه دو نمونه کاملاً مشابه تنها با این تفاوت که pH یکی از نمونه‌ها روزانه تنظیم می‌شد، مورد بررسی قرار گرفت. در هر دو آزمایش سایر شرایط مشابه و برابر چگالی توده نمونه زباله الکترونیکی g/l ۱۵، تلقیح ۱۰% حجمی، در دمای ºC ۳۰ و دور همزن rpm ۱۳۰ در نظر گرفته شد. در مدت ۲۵ روز میزان بازیابی فلز مس، شمارش باکتری، pH و پتانسیل اکسایش و کاهش مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می‌داد بیشینه بازیابی مس در نمونه بدون تنظیم pH برابر ۱۰۰% و در نمونه با تنظیم pH برابر ۶۹% بوده است. همچنین منحنی شمارش باکتری نشان‌دهنده فعالیت مناسب باکتری در هر دو حالت است. بنابراین به منظور افزایش بازیابی، کاهش مصرف اسید و در نتیجه صرفه اقتصادی، فرایند عدم تنظیم pH در طول بازیابی، پیشنهاد داده می‌شود.

واژه‌های کلیدی

زباله‌های الکترونیکی
فروشویی زیستی
تأثیر pH
اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس
بازیابی مس

* **مسئول مکاتبات:**
yaghmaei@sharif.edu
mousavi_M@modares.ac.ir

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

۱ مقدمه

عمر کوتاه تجهیزات و وسایل الکترونیکی و تنوع‌طلبی مردم در استفاده از تجهیزات جدید، مسأله زباله‌های الکترونیکی را به‌تدریج به مشکل بزرگ جهانی تبدیل کرده است [۱]. زباله‌های الکترونیکی دو تا سه برابر سریع‌تر از سایر جریان‌های زباله در حال تولید شدن هستند [۲]. مطابق باشورای دفاع از منابع طبیعی (Natural Resources Defense Council) حدود ۲۰ تا ۵۰ میلیون تن از زباله‌های الکترونیکی در هر سال در جهان تولید می‌شود [۳]. آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا تخمین زده است بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ دو میلیون تن زباله الکترونیکی دفن شده است [٤]. تجهیزات الکترونیکی به‌دلیل داشتن عناصر بسیار سمّی مانند سرب، جیوه، آرسنیک، کادمیوم، سلنیوم و کروم شش‌ظرفیتی، در دستۀپسماندهای خطرناک قرار می‌گیرند و اگر به‌درستی ساماندهی نشوند، مشکلات جدی ایجاد خواهند کرد [۵].

از سوی دیگر زباله‌های الکترونیکی به‌دلیل وجود غلظت‌های بیشتری از فلزهای ارزشمند در آن‌ها نسبت به معادن طبیعی، به‌عنوان معادن «مصنوعی» شناخته می‌شوند. مقدار طلای موجود در هر تن از قطعات الکترونیکی رایانه‌های شخصی، بیشتر از مقدار طلایی است که از ۱۷ تن سنگ معدن طلا استخراج می‌شود. همچنین گزارش شده است که یک تن از تلفن‌های همراه که به طور تقریبی برابر با ٦۰۰۰ دستگاه تلفن همراه می‌شود، شامل ۳/۵ کیلوگرم نقره، ۳٤۰ گرم طلا، ۱٤۰ گرم پالادیوم و ۱۳۰کیلوگرم مس است [٦]. مقدار مس موجود در صفحات مدارچاپی رایانه تا ٤۰۰ کیلوگرم بر تن تخمین زده شده است [۷]. این درحالی است که یک تن سنگ معدن در معدن مس سرچشمه واقع در شهر کرمان بعد از یک بار خالصسازی شامل تنها ۲۵۰کیلوگرم برتن مس است [۸].

ترکیب پیچیده و حجم افزایشی زباله‌های الکترونیکی سبب افزایش سرطان می‌شود؛ بنابراین بازیافت آن‌ها نه‌تنها ازلحاظ مدیریت پسماندها و جنبه‌های محیط‌زیستی، بلکه ازنظر بازیافت فلزهای ارزشمند و جنبه‌های اقتصادی نیز اهمیت دارد. برای بازیافت فلزها از زباله‌های الکترونیکی سه روش کلی پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی و بیوهیدرومتالورژی وجود دارد. بازیافت زباله‌های الکترونیکی به‌علت ناهمگن‌بودن مواد موجود در محصولات و پیچیدگی تجهیزات موردنیاز، همچنان به‌صورت محدود انجام می‌شود [۳].

فناوری‌های سنتی پیرومتالورژی، سال‌ها برای بازیافت فلزهای ارزشمند زباله‌های الکترونیکی استفاده شده است. مصرف انرژی این روش‌ها بسیار زیاد است و به‌عنوان روشی اقتصادی برای استخراج فلزهای ارزشمند زباله‌های الکترونیکی توصیه نمی‌شود.فرایندهای هیدرومتالورژی با توجه به استفاده از معرف‌های سمّی و مقادیر زیاد محصولات جانبی تولیدشده در طی آن‌ها، خطرات زیست‌محیطی به همراه دارند. اکنون فرایندهای فروشویی زیستی به عنوان فناوری کاربردی و قابل بهره‌برداری در استخراج فلزها از زباله‌های الکترونیکی و سنگ‌های معدنی کم عیار پدیدار شده است. با استفاده از فناوری فروشویی زیستی، بازدهی بازیافت فلزها می‌تواند افزایش یابد [۳].

اصلی‌ترین ریزاندامگانی که نقش اصلی در بازیافت فلزهای سنگین از پسماندها را دارند، متعلق به خانواده ریزاندامگان اسیددوست هستند. ریزاندامگان این خانواده در محدوده pH بین ۲ تا ٤ رشد می‌کنند و به حل شدن فلزها از فاز جامد در فاز محلول کمک می‌کنند [۹]. در تحقیق‌های آزمایشگاهی برای استخراج برخی از فلزهای اساسی مانند آلومینیوم، قلع، نیکل، سرب، روی، مس یا فلزهای گران‌بها مانند نقره و طلا در زباله‌های الکترونیکی از ریزاندامگانی مانند گونه‌های *اسیدیتیوباسیلوس (Acidithiobacillus)*، *اسیدوفیلیوم (Acidophilum)*، *سولفوباسیلوس (Solfobacillus)*، *ترموسولفیدواکسیدانس (Thermosulfooxidans)*، قارچ‌ها یا باکتری‌های سیانوژن استفاده شده است [۱۰]. ازمیان‌دمادوست‌های اسیددوست مشهورترین و پرکاربردترین گونه، *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس (Acidithiobacillusferrooxidans)* است.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

گونه‌های زیادی از این باکتری از مکان‌های متفاوت جدا شده‌اند [۹]. دمای بهینه این باکتری ºC ۳۷–۲۸ و pH بهینه آن در محدوده ۲/۵–۱/۵است [۱۱]. این باکتری به صورت گسترده در بازیافت فلزات از معادن و انواع زباله‌های شهری و صنعتی استفاده شده است [٤, ۷, ۱۲–۱٦].

متغیرهای زیادی بر سرعت فروشویی تأثیرگذارند.این متغیرها در چهار دسته بررسی می‌شوند: - متغیرهای فیزیکی و شیمیایی - متغیرهای میکروبی- مشخصه‌های ماده جامد- متغیرهای انتخابی فرایند [۱۷]. pH فرایند یکی از مهم‌ترین عواملی است که در طول فرایند باید در نظر گرفته شود. برخی از محققان تأثیر pH را در فروشویی زیستی زباله‌های الکترونیکی مطالعه و مقدار آن را بهینه کرده‌اند [۷, ۱۰, ۱۲, ۱۸–۲۰].

در محدوده مطالعات انجام شده، در همه تحقیقات آماری صورت گرفته تنها به بررسی pH اولیه پرداخته‌اند و مقدار pH در زمان شروع فرایند را بهینه کرده‌اند. حال آنکه با توجه به طبیعت قلیایی زباله‌های الکترونیکی، pH اولیه تنظیم‌شده با گذر زمان تا چند واحد تغییر خواهد کرد. از سوی دیگر بسیاری از محققان با فرض رسیدن به بیشینه بازیابی در فرایند فروشویی زیستی، در صورت تأمین مستمر شرایط بهینه باکتری، به صورت روزانه pH محیط را در مقدار pH بهینه باکتری (۱/۵–۲) تنظیم می‌کنند. از این رو تنظیم pH فرایند فروشویی زیستی زباله‌های الکترونیکی با استفاده از *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* در محدوده بهینه آن امری معمول و متداول است. به خصوص با توجه به طبیعت قلیایی زباله‌های الکترونیکی افزایش pH محیط زیاد است [٤, ۱۳, ۱۵, ۲۱, ۲۲]. ویلنر (۲۰۱۳) تأثیر برخی از متغیرهای مهم بر فرایند فروشویی زیستی مس از زباله‌های الکترونیکی را بررسی نموده است. آن‌ها اشاره کرده‌اند به دلیل ایجاد شرایط بهینه برای *باکتری اسیدیتیوباسیلوس* فرواکسیدانس که در پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است pH نمونه به طور روزانه بر مقدار حدود ۲ تنظیم شده است [۱۰]. همچنین نویسندگان در تحقیقات پیشین خود، شرایط بهینه برای استخراج فلزات نیکل و مس از زباله‌های الکترونیکی را بررسی کرده‌اند. در این تحقیقات pH آغاز فرایند مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه صفحات مدارچاپی تلفن همراه، pH بهینه شروع فرایند برابر ۱ و برای نمونه صفحه مدارچاپی رایانه، pH شروع فرایند برابر ۳ به‌دست آمده است [۷, ۱۲]. برندل و همکاران (۲۰۰۱) استخراج فلزات اساسی را از زباله‌های الکترونیکی با استفاده از باکتری‌های اسیددوست مطالعه کرده‌اند. آن‌ها با تنظیم روزانه pH به بازیابی ٦۵% مس و قلع، و بیش از ۹۵% بازیابی برای آلومینیوم، نیکل، سرب و روی رسیده‌اند [۲۰].

ماکینن و همکارانش (۲۰۱۵) تأثیر برخی از عوامل مؤثر بر فروشویی زیستی صفحات مدارچاپی را با استفاده از گونه‌های اسیدوفیل بررسی کرده‌اند. pH محیط با استفاده از سولفوریک اسید، روزانه روی ۲ تنظیم می‌شده است. آن‌ها گزارش کرده‌اند با تنظیم روزانه pH بعد از ۳ روز ۹۹% مس استخراج شده است [۲۲]. باس و همکارانش (۲۰۱۳) فروشویی زیستی مس را از صفحات مدار چاپی تلویزیون با استفاده از مخلوطی از باکتری‌های میان‌دمادوست بررسی کرده‌اند. pH فرایند به صورت روزانه کنترل و روی ۱/۷ تنظیم می‌شده است. ۹۹% مس در شرایط چگالی توده یک درصد وزنی به حجمی، ۵۰% مایه تلقیح، دمای ºC ۳۵ و pH برابر ۱/۷ استخراج شده است [۲۳]. ویلنر (۲۰۱۳) فروشویی زیستی صفحات مدارچاپی را با استفاده از *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* بررسی کرده است. با تنظیم روزانه pH فرایند روی ۲، نتیجه گرفته است این عامل در فروشویی زیستی نقش مؤثری دارد [۱۰]. الیاس و همکارانش (۲۰۰۷) فروشویی زیستی زباله‌های الکترونیکی را با استفاده از باکتری‌های میان‌دمادوست بررسی کرده‌اند. pH فرایند روزانه روی ۲ تنظیم می‌شده است. آن‌ها توانستند ۹۰% از فلز مس را استخراج کنند [٤].

اما از سوی دیگر ماکینن و همکارانش مقدار مصرف سولفوریک اسید لازم برای تنظیم pH فرایند را روی ۲ اندازه گرفته‌اند. آن‌ها گزارش کرده‌اند به ازای هر کیلوگرم از صفحات مدارچاپی، ۲۷۰ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ در طی ۳۰ روز مورد نیاز است [۲۲].

بنابراین در نگاه صنعتی برای تنظیم pH مقادیر زیادی

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

سولفوریک اسید لازم است و این خود به معنای کاهش اثر فروشویی زیستی از یک سو و از سوی دیگر افزایش هزینه‌های فرایند زیستی است. بنابراین هدف از این مطالعه، پاسخ به این سوال است که آیا عدم تنظیم pH فرایند، سبب کاهش راندمان می‌شود؟ بدین منظور دو آزمایش مشابه در چگالی توده ۱۵ گرم بر لیتر انجام شده است تنها با این تفاوت که در یک آزمایش pH فرایند با استفاده از عوامل بیرونی تغییر داده نشده است و در دیگری به طور مرتب و روزانه pH نمونه روی ۲ تنظیم شده است.

۲ روش‌ها

۲-۱ ریزاندامگان

در این مطالعه، از باکتری *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* استفاده شده است. محیط کشت استاندارد (9k) شامل ۰/۰۱ گرم بر لیتر $Ca(NO_3)_2$، ۰/۵گرم بر لیتر K_2HPO_4، ۰/۵گرم بر لیتر $MgSO_4.7H_2O$، ۰/۱گرم بر لیتر KCl، ۳ گرم بر لیتر $(NH_4)2SO_4$ و ٤٤/۲۲ گرم بر لیتر $Fe_2SO_4.7H_2O$ به عنوان منبع انرژی برای رشد این باکتری تهیه شده است. باکتری در ارلن‌مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری شامل ۹۰ میلی‌لیتر محیط کشت و ۱۰ میلی‌لیتر از مایه تلقیح کشت داده شده است. در طول مطالعه برای آگاهی از میزان رشد باکتری تعداد باکتری‌ها در هر روز شمارش شده است. برای شمارش از لام نئوبار و میکروسکوپ نوری استفاده شده است. به این صورت که در این پژوهش پس از ده برابر رقیق سازی، با استفاده از لام نئوبار تعداد باکتری‌ها در ١٦ خانه شمرده می‌شود و میانگین حاصل از چند خانه ١٦ تایی در عدد $۲/۵\times۱۰^{۷}$ (که با توجه به حجم زیر سطح لامل محاسبه شده است) ضرب می‌شود تا بدین صورت تعداد باکتری‌ها در یک میلی‌لیتر محاسبه شود.

۲-۲ تهیه زباله‌های الکترونیکی

زباله‌های الکترونیکی در ابعاد سانتی‌متر از شرکت پارس چرخش آسیا واقع در شهر تهران تهیه شد. قطعات زباله‌های الکترونیکی ابتدا با استفاده از دستگاه دانه‌خردکن به ابعاد میلی‌متر تبدیل و سپس با استفاده از میکرونایزر تا اندازه کوچکتر از ۱۰۰ میکرون تبدیل شد. مطابق جدول ۱ محتوای فلزی این نمونه با استفاده از آزمون پراش پرتو ایکس (X-ray Fluoresce) تشخیص داده شد. شکل ۱ نشان‌دهنده صفحات مدارچاپی است که ابتدا خرد و سپس پودر شدند.

۲-۳ نحوه ارزیابی فروشویی زیستی زباله‌های الکترونیکی به منظور بررسی اثر pH بر بازیابی فلز مس

برای این منظور دو آزمایش کاملاً مشابه طراحی شد. در یک آزمایش pH نمونه به صورت روزانه بر روی مقدار ۲ با استفاده از سولفوریک اسید تنظیم شد و در دیگری تنظیمی انجام نشد. شرایط محیطی در چگالی توده ۱۵ گرم بر لیتر، دمای ۳۰ºC و دور همزن ۱۳۰ rpm ثابت شد. فرآیند استخراج مس به مدت ۲۵ روز بررسی شده است. در روزهای ۲، ٦، ۸، ۱۱، ١٤، ۱۸، ۲۱ و ۲۵ نمونه‌برداری شد. مقدار فلز مس آزاد شده در هر یک از این روزها به وسیله آزمون طیف‌سنجی پلاسمای القایی جفت‌شده (Inductively Coupled Plasma) مشخص شد. در دوره فروشویی زیستی به صورت روزانه باکتری‌ها شمارش شدند و مقدار Eh و pH اندازه‌گیری شد.

جدول ۱ محتوای فلزی نمونه زباله الکترونیکی

نام فلز	غلظت(ppm)
مس	۲۵۴۳۶۰
آلومینیوم	۶۵۱۱۰
سیلسیوم	۹۲۶۱۰
تیتانیوم	۲۹۱۰
منگنز	۲۷۹۵
آهن	۳۵۳۴۰
نیکل	۳۵۶۵
روی	۶۰۷۷

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

شکل ۱ تصاویر صفحات مدار چاپی در مراحل پودر کردن

۲-۴ تجهیزات

برای ثابت نگه‌داشتن شرایط محیطی از شیکر انکوباتور لبکون۵۰۸۲، آفریقای جنوبی (Labcon 5082u, South Africa) استفاده شده است. برای شمارش باکتری از لام نئوبار اچ بی جی، آلمان (improved Bright Lime, HBG, Germany) و میکروسکوپ نوری اولمپیوس، ژاپن (Olympus, CH-B145-2, Japan) استفاده شده است. برای پودر کردن نمونه از دستگاه میکرونایزر هرزوگ، آلمان غربی (Herzog, West Germany) استفاده شده است.

برای ارزیابی مقدار مس موجود در نمونه از آزمون پراش پرتو ایکس اسپکترو زپوس، آلمان (SpectroXepos, Germany) استفاده شد. مقدار فلز محلول به وسیله آزمون طیف سنجی پلاسمای القایی جفت‌شده ویستوپرو، استرالیا (ICP-OES, Vistapro, Australia) اندازه گیری شد. برای اندازه گیری Eh و pH از دستگاه‌های Eh متر میلواکی، رومانی (Milwaukee, Mi151, Romania) و pH متر لوترون، تایوان (Lutron, YK-2001DO, Taiwan) استفاده شد.

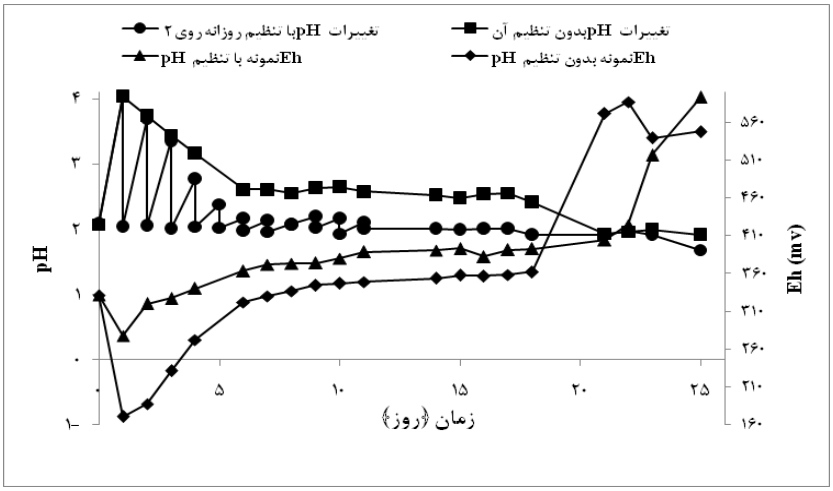
۳ نتایج

شکل ۲ منحنی تغییرات pH و Eh هر دو نمونه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، روند تغییرات pH برای هر دو نمونه بسیار مشابه بوده است. در روز اول pH هر دو نمونه به حدود ٤ افزایش می‌یابد. برای تنظیم pH در هر روز مقدار بسیار اندکی (در حد چند میکرولیتر) اسید سولفوریک غلیظ به محیط اضافه شده است. با گذر زمان مقدار اسید اضافه شده کاهش یافته است. این افزایش مقدار pH به دلیل خاصیت قلیایی زباله‌های الکترونیکی است [٤، ١٣، ١٥، ١٨، ٢١]. در صورت تنظیم یا عدم تنظیم روزانه pH بعد از روز پنجم، pH نمونه‌ها تقریباً به ترتیب روی اعداد ۲ و ۲/۵ ثابت می‌شود.

در روز ۲۱ام با کاهش pH نمونه بدون تنظیم روزانه، مقادیر pH هر دو نمونه به مقدار یکسان می‌رسد و در نهایت pH هر دو با کاهش مجدد به کمتر از مقدار ۲ می‌رسد. می‌توان نتیجه گرفت تغییرات pH در هر دو آزمایش، روندی کاهشی دارد [٤، ١٤، ١٦، ٢١]. تغییرات Eh، روندی افزایشی است. به صورت کلی هر جا pH افزایش یافته Eh کاهش یافته است و برعکس. این روند مشابه تحقیقات سایر پژوهشگران دارد [١٠، ١٤، ١٦].

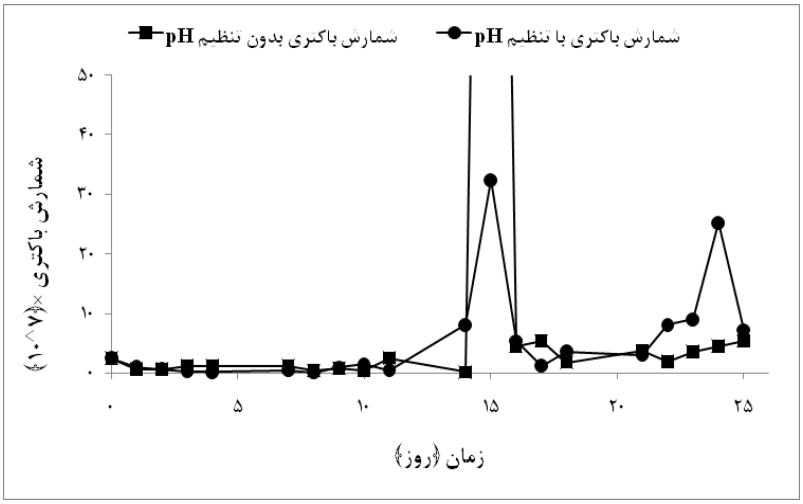
شکل ۳ منحنی شمارش *باکتری اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* را برای هر دو نمونه با تنظیم و بدون تنظیم pH نشان می‌دهد. از آنجا که شمارش باکتری برای نمونه بدون تنظیم pH در روز پانزدهم بسیار زیاد

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]



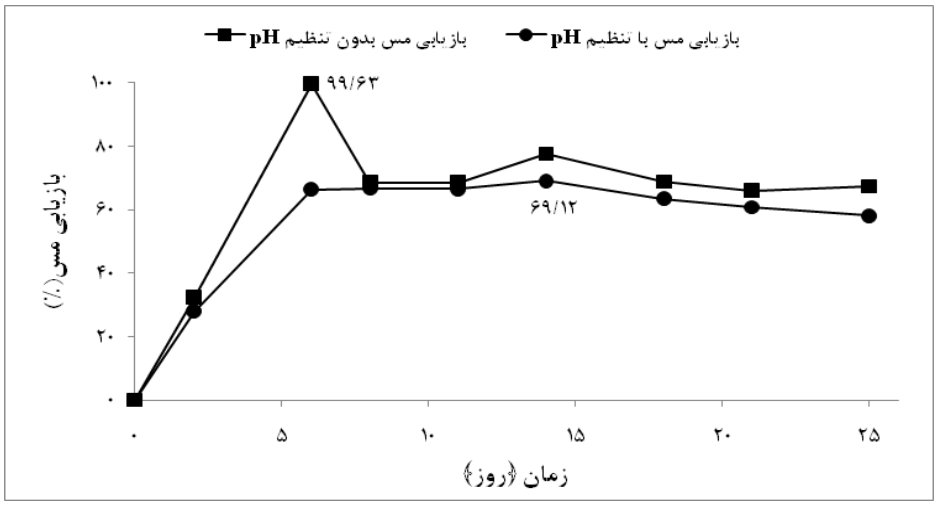
شکل ۲ بررسی تغییرات pH و Eh در دو نمونه با تنظیم روزانه pH و بدون تنظیم روزانه pH

بوده است این نمودار در روز پانزدهم منقطع شده است تا همه اعداد روی نمودار به وضوح قابل رؤیت شود. مطابق این شکل، روند رشد باکتری در هر دو نمونه بسیار مشابه بوده است و در هر دو به خوبی رشد نموده است. بنابراین می‌توان مطمئن بود افزایش pH در محلول سبب کاهش رشد باکتری نمی‌شود. همچنین در این شکل افزایش شدید جمعیت و کاهش سریع آن در روز پانزدهم و بیست‌وچهارم مشاهده می‌شود. این افزایش و کاهش به دلیل قرار گرفتن باکتری در فازهای رشد متفاوت است. همچنین در تحقیق مشابه دیگری که توسط نویسندگان این پژوهش انجام شده است و اثر تنظیم pH بر نمونه‌ای از زباله‌های الکترونیکی که پلاستیک آن جدا شده است، مطالعه شد؛ چنین روندی مشاهده شد [۲٤]. چنین روندی در تحقیقات سایر محققین نیز دیده شده است. برای مثال الیاس و همکارانش (۲۰۱۰) فروشویی زیستی ستونی زباله‌های



شکل ۳ منحنی شمارش باکتری *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* در دو نمونه با تنظیم روزانه pH و بدون تنظیم روزانه pH

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]



شکل ٤ بازیابی مس در هر دو نمونه با تنظیم روزانه pH و بدون تنظیم روزانه pH

الکترونیکی را با استفاده از *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* مطالعه نموده‌اند. میزان رشد باکتری در غلظت‌های چگالی توده متفاوت بعد از خوسازی بررسی شده است. آن‌ها نشان داده‌اند در غلظت ١٦ گرم بر لیتر از حضور یون‌های فلزی مختلف تعداد باکتری، روند افزایشی ملایم، افزایش سریع، کاهش سریع، افزایش ملایم و سپس شدید، و در انتها کاهش سریع دارد [٢٥]. در تحقیقات گذشته نویسندگان پژوهش، چنین روندی مشاهده شده است [٧، ١٢]. شکل ٤ منحنی تغییرات بازیابی فلز مس را برای هر دو نمونه با تنظیم روزانه pH و بدون تنظیم روزانه pH نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بازیابی فلز مس همواره در طی ٢٥ روز در نمونه بدون تنظیم pH بیشتر بوده است. بیشینه بازیابی مس در روز ششم و به مقدار ٩٩/٦ برای نمونه بدون تنظیم pH و بیشینه بازیابی مس در روز چهاردهم و به مقدار ٦٩/١ برای نمونه با تنظیم pH بوده است.

۴ نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر تنظیم pH بر میزان بازیابی فلز مس در فرایند فروشویی زیستی با استفاده از باکتری *اسیدیتیوباسیلوس فرواکسیدانس* ارزیابی شد. برای این منظور دو نمونه کاملاً مشابه تنها با این تفاوت که در یکی به صورت روزانه pH محیط کشت بر روی ٢ تنظیم می‌شد و در دیگری pH محیط توسط عوامل بیرونی تغییر داده نشد. نتایج نشان‌دهنده رشد کافی و مشابه باکتری در هر دوحالت تنظیم و عدم تنظیم pH بود. میزان تغییرات pH برای هر دو نمونه روند کاهشی داشت و پس از طی دوره سکون به کمتر از ٢ رسید. میزان Eh محیط کشت برای هر دو نمونه روند افزایشی داشت. هرجا pH افزایش یافته Eh کاهش یافته است و برعکس. همانگونه که در روزهای زیادی pH نمونه بدون تنظیم pH بیشتر از pH نمونه با تنظیم روزانه بود، Eh نمونه بدون تنظیم pH کمتر از Eh نمونه با تنظیم pH بود. میزان بازیابی فلز مس در حالتی که pH آن تنظیم نشده‌است بیشتر از حالتی است که pH محیط به صورت روزانه تنظیم شود.

مهم‌ترین نتیجه این مقاله این است که برای دست یافتن به بیشینه بازیابی فلز مس لازم نیست pH محیط کشت را به صورت روزانه تنظیم کرد. در این صورت هم بازیابی فلز بالاتر خواهد بود و هم فرایند، صرفه اقتصادی بیشتری خواهد داشت.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

مراجع

1- Rastegar S.O., Bioleaching of Valuable Metal from Power Plant Residue, PhD Thesis, Iran - Tarbiat Modares University, March 2016.

2- Hudec M.A.R., Sodhi M. and Goglia-Arora D., Biorecovery of Metals from Electronic Waste. 7th Latin American and Caribben Conference for Engineering and Thechnology San Cristobal, Venezuela, 2009.

3- Pradhan J.k. and Kumar S., Metals Bioleaching from Electronic Waste by Chromobacterium Violaceum and Pseudomonads sp, Waste Managment Research, 30, 1151-1159, 2012.

4- Ilyas S., Anwar M.A., Niazi S.B. and Afzal Ghauri M., Bioleaching of Metals from Electronic Scrap by Moderately Thermophilic Acidophilic Bacteria, Hydrometallurgy, 88(1–4), 180-188, 2007.

5- Pant D., Joshi D., Upreti M.K. and Kotnala R.K,. Chemical and Biological Extraction of Metals Present in E-Waste: A Hybrid Technology, Waste Management, 32, 979-990, 2012.

6- Lee J.c. and Pandey B.D., Bio-Processing of Solid Wastes and Secondary Resources for Metal Extraction – A Review, Waste Management, 32(1), 3-18, 2012.

7- Arshadi M. and Mousavi S.M., Simultaneous Recovery of Ni and Cu from Computer-Printed Circuit Boards Using Bioleaching: Statistical Evaluation and Optimization, Bioresource Technology, 174, 233-242, 2014.

8- Mousavi S., Yaghmaei S., Vossoughi M., Jafari. A. and Hoseini S., Comparison of Bioleaching Ability of Two Native Mesophilic and Thermophilic Bacteria on Copper Recovery from Chalcopyrite Concentrate in an Airlift Bioreactor, Hydrometallurgy, 80, 139-144, 2005.

9- Mishra D. and Rhee Y., Current Research Trends of Microbiological Leaching for Metal Recovery from Industrial Wastes, Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology, 2010.

10- Willner J., Influence of Physical and Chemical Factors on Biological Leaching Process of Copper from Printed Circuit Boards, Metalurgija, 52(2), 189-192, 2013.

11- Mousavi S.M., Yaghmaei S., Vosoughi M., Roostaazad R., Jafari A., Ebrahimi M., Habibollahnia Chabok O. and Turunen I., The Effects of Fe (II) and Fe (III) Concentration and Initial pH on Microbial Leaching of Low-Grade Sphalerite Ore in a Column Reactor, Bioresource Technology, 99 (8), 2840-2845, 2008.

12- Arshadi M. and Mousavi S.M., Multi-Objective Optimization of Heavy Metals Bioleaching from Discarded Mobile Phone PCBs: Simultaneous Cu and Ni Recovery using Acidithiobacillus Ferrooxidans, Separation and Purification Technology, 147, 210-219, 2015.

13- Karwowska E., Andrzejewska-Morzuch D., Lebkowska M., Tabernacka A., Wojtkowska M., Telepko A. and Konarzewska A., Bioleaching of Metals from Printed Circuit Boards Supported with Surfactant-Producing Bacteria, Journal of Hazardous Materials, 264, 203-210, 2014.

14- Liang G., Mo Y. and Zhou Q., Novel Strategies of Bioleaching Metals from Printed Circuit Boards (PCBs) in Mixed Cultivation of Two Acidophiles, Enzyme and Microbial Technology, 47(7), 322-326, 2010.

15- Choi M.S., Cho K.S., Kim D.S. and Kim D.J., Microbial Recovery of Copper from Printed Circuit Boards of Waste Computer by Acidithiobacillus Ferrooxidans,- Journal of Environmental Science and Health, Part A. 39(11-12), 2973-2982, 2004.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

16- Wang J., Bai J., Xu J. and Liang B., Bioleaching of Metals from Printed Wire Boards by Acidithiobacillus Ferrooxidans and Acidithiobacillus Thiooxidans and Their Mixture, Journal of Hazardous Materials, 172 (2–3), 1100-1105, 2009.

17- Brandl H., Microbial Leaching of Metals, Biotechnology, 10, 191-224, 2001.

18- Arshadi M. and Mousavi S.M., Enhancement of Simultaneous Gold and Copper Extraction from Computer Printed Circuit Boards Using Bacillus Megaterium, Bioresource Technology, 175, 315-324, 2015.

19- Arshadi M., Mousavi S.M. and Rasoulnia P., Enhancement of Simultaneous Gold and Copper Recovery from Discarded Mobile Phone PCBs Using Bacillus Megaterium: RSM Based Optimization of Effective Factors and Evaluation of Their Interactions, Waste Management, 57, 158-167, 2016.

20- Brandl H., Bosshard R. and Wegmann M., Computer-Munching Microbes: Metal Leaching from Electronic Scrap by Bacteria and Fungi, Hydrometallurgy, 59 (2-3), 319-326, 2001.

21- Arshadi M. and Mousavi S.M., Statistical Evaluation of Bioleaching of Mobile Phone and Computer Waste PCBs: A Comparative Study, Advanced Materials Research, China, 87-92, 2015.

22- Mäkinen J., Bachér J., Kaartinen T., Wahlström M. and Salminen J., The Effect of Flotation and Parameters for Bioleaching of Printed Circuit Boards, Minerals Engineering, 75, 26-31, 2015.

23- Bas A.D., Deveci H. and Yazici E.Y., Bioleaching of Copper from Low Grade Scrap TV Circuit Boards Using Mesophilic Bacteria, Hydrometallurgy, 138, 65-70, 2013.

24- Arshadi M., Yaghmaei S. and Mousavi S.M., Enhanced Bioleaching of Metals from e-Waste: Study of Daily pH Adjustment, Submitted to Journal, 2018.

25- Ilyas S., Ruan C., Bhatti H.N.,Ghauri M.A. and Anwar M.A., Column Bioleaching of Metals from Electronic Scrap, Hydrometallurgy, 101 (3-4), 135-140, 2010.

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]

[Downloaded from arcpe.modares.ac.ir on 2024-04-23]