

بررسی عوامل موثر بر آزادسازی کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی در محیط‌های خاکی

هومن بهمن پور

استادیار گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران. h.bahmanpour@srbiau.ac.ir

چکیده

پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه می‌باشند که قطعات اصلی آن‌ها شامل خازن، ترانزیستور، آی.سی، مدارات الکترونیکی، قطعات کاتدی و آندی بوده و دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران، خوردگی تاسیسات و تجهیزات و مشابه آن می‌باشند. بر این اساس، هدف از این تحقیق بررسی و شناسایی عوامل موثر در آزادسازی این فلزات و اختصاصاً عنصر کادمیوم در محیط پیرامون می‌باشد. جهت بررسی این موضوع تاثیر عوامل مختلف مانند دما، pH، ترکیبات هامیک و زمان بر روی آزادسازی عنصر کادمیوم از اینگونه پسماندها به محیط‌های خاکی مورد مطالعه قرار گرفته است. بدین منظور قطعات انتخابی آنالیز گردیده و مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بیانگر آن بوده است که در محیط خاکی، میزان نفوذ کادمیوم در pH بسیار اسیدی و بسیار قلیایی میزان آزادسازی افزایش می‌یابد. همچنین؛ در محیط خاکی، افزایش دما سبب افزایش میزان نفوذ عنصر کادمیوم در محیط می‌گردد و رابطه مستقیم بین افزایش دما و افزایش میزان نفوذ عنصر کادمیوم در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی وجود دارد. افزایش دما باعث افزایش تحرک مولکول‌ها شده و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر بالا می‌رود. هر چه محیط اسیدی‌تر شود، آنیون اسید راحت‌تر با عناصر موجود تشکیل کمپلکس داده و میزان آزادسازی عنصر افزایش می‌یابد و اثر متغیر زمان تماس نیز متناسب با تغییرات pH متغیر می‌باشد.

واژگان کلیدی: پسماند الکترونیکی، فلزات سنگین، کادمیوم، ترکیبات هامیک، pH، محیط خاکی.

مقدمه

نوع پسماند مشکلی است که به‌تازگی در حال پدیدار شدن می‌باشد و همچنین به‌عنوان یک فرصت شغلی که دارای اهمیت روزافزون است نیز تلقی می‌شود. حجم زیادی از پسماندهای الکترونیکی تولید شده در جهان می‌تواند حاوی مواد سمی و همچنین مواد باارزش باشد. از تجزیه این مواد، آهن، مس، آلومینیوم، طلا و دیگر مواد به دست می‌آید که متجاوز از ۶۰٪ می‌باشد. آمریکا بزرگ‌ترین تولیدکننده پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی در جهان می‌باشد. در خاورمیانه، سریع‌ترین بازار مصرف پسماندهای الکترونیکی نیز مربوط به ایران می‌باشد. سرانه تولید این زباله‌ها در دنیا از ۲۰۰ گرم تا ۱۴ کیلوگرم متغیر است. در این نوع از

پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه است که دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران، خوردگی و مشابه آن می‌باشند و در اصل، به پسماندهای ویژه‌ای گفته می‌شود که غالب قطعات اصلی آن‌ها شامل خازن، ترانزیستور، آی سی، مدارات الکترونیکی، قطعات کاتدی و آندی و از این قبیل می‌باشد (نجفی، ۱۳۹۰). بطور کلی این پسماندها به دو دسته الکتریکی مانند باتری، یخچال، ماشین لباسشویی، اتو، لامپ، ... و الکترونیکی مثل کلیه قطعات رایانه‌ای، دستگاه‌های رادیویی و تلویزیون، انواع پخش‌کننده‌های صوتی و تصویری، ... تقسیم می‌شوند. این

زیرزمینی که تأمین کننده منابع آبی بسیاری از شهرهای بزرگ است راه پیدا می کند. سرب بر بیشتر دستگاه های بدن انسان و پستانداران و پرندگان از جمله دستگاه عصبی، سیستم گردش خون، دستگاه های تناسلی اثر سوء دارد. این در حالی است که اکثر لحیم کاری های مدارهای رایانه و بیشتر قطعات موجود در مانیتور رایانه دارای سرب است. بین سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۴، نزدیک به ۶۰۰ میلیون کیلوگرم سرب ناشی از زباله های رایانه ای مربوط به ۳۱۵ میلیون رایانه از رده خارج شده در امریکا وارد محیط شده است (نجفی، ۱۳۹۰).

رشد سریع آلودگی های الکترونیکی و ورود سریع و بی رویه آن ها به محیط زیست، امروزه به صورت یک بحران درآمده است. این بحران اگرچه تاکنون بیشتر متوجه کشورهای صنعتی و پیشرفته دنیا بوده است، اما باید به این نکته هم توجه کرد که موج بحران در کشورهای صنعتی، قاعدتاً با چند سال تأخیر به کشورهای در حال توسعه هم خواهد رسید (آموزشی و همکاران، ۱۳۸۷).

مدیریت دفع این مواد به دلیل دشواری جداسازی و ناکافی بودن تحقیقات در زمینه فرایند بازیافت آن ها با چالش مواجه است. به عنوان نمونه، خطرات فلزات سنگین بر روی انسان آسیب به اندام های حساس نظیر کلیه و کبد می باشد و پلاستیک ها در صورت زباله سوزی تولید گروه گازهای دی اکسید و فوران می نمایند، که سرطان زایی آن ها قطعی است. انتخاب شیوه های جمع آوری، جداسازی، پردازش، بازیافت و دفع مناسب و مبتنی بر اصول قابل پذیرش علمی کمک شایانی در کنترل و مداخله مؤثر در چرخه گردش مواد زائد و جهت دهی آن به سمت بهره گیری دوباره همزمان با کاهش مخاطرات زیست محیطی می گردد.

«کنوانسیون بازل» زباله های الکترونیکی را به عنوان زباله های خطرناک می شناسند. امروزه به موازات شناخت

پسماندها، عناصری از قبیل سرب، استرانسیوم، جیوه، کادمیوم، نیکل، آرسنیک، مس، روی، باریم، برلیوم، انواع پلاستیک ها، آلومینیوم، طلا، نقره، پلاتین، مواد شیمیایی خطرناک حاصل از مواد مصرفی، دی فنیل اترهای پلی برومینه (PBDEs)، و به صورت نادر آلوده کننده های آلی پایدار (POPs) یا ترکیبات هالوژن دار مخرب لایه ازن از قبیل پلی کلرو بی فنیل ها (PCBs) یافت می شوند که اثرات زیان آوری روی محیط زیست و سلامتی انسان می گذارند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۲).

هر رایانه رومیزی دارای ۳۲ درصد پلاستیک، نزدیک به ۷ درصد سرب، ۴۱ درصد آلومینیوم، مقادیری طلا، نقره و آهن و نیز مقادیری فلزات سنگین و خطرناک مانند کادمیوم، جیوه و آرسنیک است. بنابراین، می توان به طور تقریبی محاسبه کرد که ۴ میلیون رایانه از دور خارج شده، حاوی چه حجم عظیمی از عناصر خطرناک و در کنار آن دارای چه عناصری ارزشمند مانند طلا و نقره است که بازیافت اصولی آنها می تواند علاوه بر صرفه اقتصادی، جلوی خطرات زیست محیطی را نیز بگیرد. بنابراین، دفن یا سوزاندن زباله ها سبب ورود عناصر سنگین و گازهای سمی به محیط زیست و آب های زیرزمینی می شود. فلزات سنگین به هر عنصر شیمیایی فلزی که دارای چگالی نسبتاً زیادی باشد و همچنین در غلظت های پایین سمی باشند، اطلاق می شود. فلزات سنگین از عناصر سازنده پوسته زمین هستند و دچار تخریب و یا فرسایش نمی شوند. این فلزات که از جمله آلاینده های زیست محیطی می باشند، در اندازه بسیار کم، از طریق غذا، آب آشامیدنی و یا هوا وارد بدن ما می شوند و می توانند مسمومیت های مزمن و بعضاً حاد خطرناکی را ایجاد نماید (احمدی، ۱۳۸۷). سرب موجود در CRT رایانه ها یا لامپ اشعه کاتدی، وسیله نمایش تصویر در مانیتور است که نه تنها می تواند آب های سطحی را آلوده کند، بلکه به راحتی به سفره های آب های

مواد و روش‌ها

روش‌شناسی

ابتدا قطعات متعدد و متنوعی از برد الکترونیک تا حد امکان به قطعات ریز تبدیل گردید. سپس نصف مقدار نمونه با ترازو وزن شده (۲۱۵/۲۱gr) و در بشر یک لیتری ریخته شد و روی آن به اندازه ۳۰۰ cc اسید نیتریک غلیظ ۶۵٪ (۱۴/۴ مولار) اضافه شد که گاز خرمایی رنگ دی اکسید نیتروژن متصاعد گردید. نمونه به مدت ۴۵ دقیقه در همان حال نگهداری شد تا قطعات فلزی موجود در نمونه تا حد امکان در محیط اسیدی حل شوند که در نهایت محلول سبز رنگ ایجاد شد. سپس ۳۰۰ cc آب مقطر به محلول افزوده گردید و به مدت ۴۵ دقیقه نمونه جوشانده شد و در این مدت مرتباً هم زده شد. سپس نمونه با قیف صاف شد تا قطعات درشت جدا شود و با کاغذ صافی صاف گردید و محلول به دست آمده در بالن تخت ریخته و با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه جذب اتمی در صد عناصر موجود در آن اندازه‌گیری شد. از بین عناصر شناسایی شده، عنصر کادمیوم انتخاب و تاثیر pH، دما، ترکیبات هامیک و زمان بر روی آن در محیط‌های آبی بررسی شد. جدول (۲)، جزئیات شرایط محیطی و متغیرهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

بحث و نتایج

میزان کادمیوم اندازه‌گیری شده در نمونه پسماند الکترونیکی مورد مطالعه، ۳/۷۸۴ میلی‌گرم بر لیتر بوده است و این در حالیکه در استاندارد آب آشامیدنی در کشور، حداکثر مجاز برای این عنصر ۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر لیتر قید شده است.

اثرات سوء و مخرب ناشی از مواد شیمیایی خطرناک، راهبردهایی در جهت کنترل صحیح آن‌ها در نظر گرفته شده است و تنها با تحقق بخشیدن به این راهبردهای پیشگیری‌کننده است که می‌توان کشورها را از تکرار اشتباهات مکرر بر حذر داشت (Micheal, 2013).

هدف اصلی این تحقیق، بررسی عوامل موثر در جداسازی و انتشار عناصر سمی (کادمیوم) موجود در قطعات الکترونیکی و الکترونیکی پس از رهاسازی در محیط زیست (محیط خاکی) است.

کادمیم برای گیاهان، جانوران و انسان بسیار سمی می‌باشد و عملکرد بیوشیمیایی یا تغذیه‌ای آن شناخته نشده است. همانند سرب، کادمیم در طی زمان می‌تواند جذب بدن شود که در صورت جذب طولانی‌مدت منجر به تخریب کلیه‌ها و ساختار استخوان‌ها خواهد شد. در افراد و حیوانات جذب کادمیم از طریق رژیم غذایی عمدتاً منجر به آسیب کلیه‌ها خواهد شد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که آسیب‌دیدگی کلیه‌ها در غلظت‌های پائین‌تر کادمیم نسبت به آنچه قبلاً پیش‌بینی شده بود اتفاق می‌افتد. دیگر اثرات کادمیم شامل بر هم خوردن ساختار کلسیم و عملکرد آن در بدن و اثرات آن بر استخوان و همچنین افزایش فشارخون و ناراحتی‌های قلبی می‌باشد. استنشاق اکسید کادمیم از طریق گردوغبار بر سیستم تنفسی تأثیر خواهد گذاشت. علاوه بر این، کادمیم و ترکیبات آن برای انسان سرطان‌زا شناخته شده‌اند که اولین اثرات آن به صورت سرطان ریه در اثر استنشاق گردوغبار آلوده به کادمیم دیده شده است. کادمیم در صورتی که در محیط آبی رها شود بیشتر از سایر فلزات در محیط حرکت می‌کند (موسوی و همکاران، ۱۳۹۲).

در این راستا محققان و دانشمندان زیادی به تحقیق در این زمینه پرداختند. در جدول ۱ به برخی از آنها اشاره می‌شود.

جدول ۱- خلاصه تحقیقات مرتبط در زمینه اثرات زیست محیطی پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی

ردیف	محققان	سال	موضوع بررسی	نتایج
۱	نورم و همکاران	۲۰۱۳	بررسی انتشار فلزات سنگین از دفع پسماند مانیپولرهای کامپیوترها در یک انبار روباز.	انتشار فلزات سنگین به ویژه سرب از مانیپولرهای شکسته در نقاط دفع پسماند الکترونیکی نشان داده شد. غلظت زیادی از سرب، ۱۲-۱۳ درصد کل سرب، با الکترولیت های ضعیف شسته شد (Nnorom, 2010).
۲	گوآ و همکاران	۲۰۱۵	تأثیر بازیافت زباله های الکترونیکی در گوئیو، واقع در جنوب شرق چین، بر آلودگی سیستم آبی اطراف به فلزات سنگین بررسی کردند. غلظت های Cu, Pb, Ni, Cd, Hg و As را در نمونه های جمع آوری شده از رودخانه لیانژیانگ بررسی کردند.	نتایج نشان داد غلظت فلزات سنگین در فصل بارندگی زیاد و در فصل خشک کم است. غلظت مس در آب های سطحی ناحیه ۲/۴ تا ۱۳۱ برابر غلظت مرجع بود و پس از مس به ترتیب Ni, Cd, Pb, Hg و As بیشترین غلظت را داشتند. با وجود این، در مقایسه با استاندارد زیست محیطی چین، ابتدا کادمیم و سپس Hg و Pb و مس به عنوان مضرترین عناصر شناخته شدند. غلظت مس در نمونه های رسوبی ۳/۲ تا ۴۲۹ برابر غلظت مرجع بود و پس از مس به ترتیب Ni, Hg, Pb و Cd بیشترین غلظت را داشتند. (Guo et.al, 2009)
۳	هوانگ و همکاران	۲۰۱۵	بررسی اثرات دفع پسماندهای الکتریکی بر محیط های آبی در آکرای غنا	مقدار فلزات سنگینی مانند سرب، کادمیم، مس و روی در نمونه های آبی بسیار زیاد است. همچنین، روش های قدیمی بازیافت پسماندهای الکترونیکی نیز منجر به آزادسازی این فلزات سنگین می شود. سرعت فلزات سنگین و آلاینده های آزاد شده از پسماندهای الکترونیکی که به رسوبات می چسبند و از این طریق وارد محیط های آبی می شوند به شدت به pH بستگی دارد (Huang et.al, 2009)
۴	زین و همکاران	۲۰۱۴	بررسی اثرات زیست محیطی پسماندهای الکتریکی	نتایج نشان داد غلظت سرب، روی، کادمیم، نیکل و مس بیشتر از استاندارد مقدار مرجع فلزات سنگین است. همچنین مشخص شد که سرب فلز سنگین اصلی است که ابتدا باید از پسماندها جداسازی شود. نتایج تست استاندارد pH کنترل شده نشان داد تحرک فلزات سنگین در محدوده pH اسیدی بسیار بیشتر است.
۵	مایکل و همکاران	۲۰۱۵	بررسی جداسازی فلزات سنگین از پسماندهای الکتریکی. نمونه آب های مختلف رودخانه های متفاوت را بررسی کردند و مقدار فلزات سنگین آزاد شده از پسماندهای الکتریکی را در آن ها اندازه گرفتند.	در این بررسی غلظت آرسنیک ۰/۰۵۳ ppm، کادمیم ۰/۰۱۱ ppm، سرب ۰/۰۴۲ ppm و جیوه ۰/۰۶۱ ppm بود. نتایج نشان داد اکثر فلزات تمایل به جداسازی دارند و میزان جداسازی آن ها به کیفیت آب بستگی دارد. در نتیجه جداسازی، متغیرهای فیزیکی - شیمیایی مانند pH، سختی و TDS نمونه های آب تغییر کرد. این بررسی بر خطر دفع پسماندهای الکتریکی در بستر رودخانه به ویژه در زمان پایین بودن جریان آب و ساکن شدن جریان تأکید داشت (Manc, 1987)
۶	سانگ و همکاران	۲۰۱۳	تأثیرات محیطی فلزات سنگین آزاد شده از بازیافت پسماندهای الکترونیکی را در چین بررسی کردند.	چهار نوع فلز سنگین مس، سرب، کادمیم و کروم از پسماندهای الکترونیکی آزاد شدند. برای محافظت از محیط باید عملیات بازیافت پسماندهای الکترونیکی را که منجر به آزادسازی فلزات سنگین در محیط می شوند کنترل کرد.

بررسی عوامل موثر بر آزادسازی کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی در محیط‌های خاکی

۷	بیزوو همکاران	۲۰۰۹	بازیافت فلزات سنگین از برد مدارهای چاپی کامپیوترهای دست‌دوم را بررسی کردند.	بردها دارای تقریباً ۲۶ درصد فلز بودند که اغلب آن‌ها مس، سرب، آلومینیوم، آهن، قلع، کادمیوم و نیکل می‌باشند. مقایسه تطبیقی نشان داد غلظت فلزاتی مانند طلا و نقره به مرور زمان کاهش یافته است. (Bizzo et. 2014)
۸	آمفو اوتوو همکاران	۲۰۱۴	آلودگی خاک به فلزات سنگین آزاد شده از پسماندهای الکترونیکی را بررسی کردند. دو نمونه خاک را از ۶ سایت مختلف برای اندازه‌گیری لابراتواری با ۱ سایت کنترل جمع‌آوری کردند. فلزات سنگین را با روش دایجست و با استفاده از طیف‌نورسنج جذب اتمی اندازه‌گیری کردند.	غلظت کادمیم، مس و جیوه در تمام سایت‌ها بیشتر از غلظت‌های به‌دست آمده برای سایت کنترل بود. بیشترین غلظت مس در ۶ سایت از نظر آماری تقریباً ۱۲۰۰ برابر مقدار به‌دست آمده در سایت کنترل بود. تفاوت چشمگیری در غلظت مس بین ۶ سایت وجود داشت. غلظت کادمیم ۵ برابر سایت کنترل بود. میانگین غلظت جیوه در سایت ۱۲ تقریباً ۳۴ برابر بیشتر از مقدار به‌دست‌آمده در سایت کنترل بود اما تفاوت قابل‌توجهی در غلظت جیوه بین شش سایت بازیافت پسماند و سایت کنترل مشاهده نشد. نتایج نشان داد بازیافت پسماندهای الکترونیکی منجر به آلودگی خاک به فلزات سنگین می‌شود (Amfo . al , 2013) et.
۹	آفاج و همکاران	۲۰۱۳	بررسی مقدار سرب، کروم، نیکل، کادمیم و روی در خاک سایت‌های بازیافت پسماندهای الکترونیکی در نیجریه با استفاده از طیف‌بینی جذب اتمی انجام شد.	غلظت فلزات سنگین در تمام سایت‌های بررسی شده بیشتر از سایت کنترل بود. نتایج این بررسی نشان داد در مکان‌های انبار یا دفع و یا بازیافت پسماندهای الکترونیکی، پسماندهای الکترونیکی در آزادسازی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و آب نقش دارند .
۱۰	کیهانگ و همکاران	۲۰۱۰	آلودگی خاک و آب اطراف یک سایت متروکه بازیافت پسماندهای الکترونیکی به فلزات سنگین و عوامل انتشار این فلزات را در محیط بررسی کردند.	خاک سطحی سایت‌ها به‌شدت به کادمیوم و مس آلوده بوده و مقدار آن‌ها بسیار بیشتر از مقدار استاندارد بود. غلظت فلزات سنگین معمولاً با عمق سایت کاهش می‌یابد که این با افزایش pH و کاهش TOM در گرادیان عمق ارتباط دارد. آب دریاچه بسیار اسیدی و آلوده به فلزات سنگین بود، در حالی که آب چاه کمی آلوده بود. زیرا فلزات سنگین اغلب در خاک سطحی می‌مانند. استفاده از آب دریاچه برای آبیاری منجر به آلودگی خاک شالیزارها به فلزات سنگین شد (Qihang et.al , 2015) .
۱۱	شو و همکاران	۲۰۱۵	توزیع فلزات سنگین را در پسماند بردهای مدار چاپی بررسی کردند. در این پژوهش، انتشار فلزات سنگین از پسماند برد مدارهای چاپی با روش استخراج سه مرحله‌ای BCR از EU و روش استخراج ترتیبی ۵ مرحله‌ای بررسی شد.	نتایج نشان داد سرعت استخراج فلزات سنگین با روش BCR از پسماندهای برد مدارهای چاپی بیشتر از روش تسیر است. نیکل موجود در این پسماندها به شکل رسوب بود و تأثیرش بر محیط ناچیز بود. در شرق چین، این دو فلز سنگین با بارش‌های اسیدی به‌آسانی در محیط منتشر می‌شوند. اگرچه نتایج باهم همخوانی ندارند، اما به دلیل مقدار زیاد مس در برد مدارهای چاپی، نمی‌توان از زیان مس آزاد شده از این نوع پسماندها به محیط چشم‌پوشی کرد.

جدول ۲- جزئیات مربوط به روش آماده‌سازی و اندازه‌گیری میزان آزادسازی عناصر مورد سنجش در شرایط آبی

اندازه‌گیری میزان آزادسازی فلزات سنگین در محیط خاکی	
یک کیلوگرم خاک با ۳۰ گرم قطعه الکترونیکی و ۲۵۰cc آب مقطر مخلوط کرده و در pHهای مورد نظر و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند تا عنصر وارد محیط خاکی شوند. سپس خاک با ۵۰۰cc محلول اسید نیتریک ۶ مولار (HNO ₃) شستشو داده شد. مخلوط را صاف کرده و میزان عنصر کادمیوم آزاد شده در محلول به دست آمده توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شد. جهت تنظیم pH خاک در محیط اسیدی از H ₃ PO ₄ دو مولار و تنظیم pH در محیط قلیایی از پودر آهک (CaO) استفاده گردید. این اسید و باز به صورت طبیعی در محیط خاکی موجود بوده و برای تنظیم pH خاک مناسب‌تر می‌باشند.	
متغیر مورد بررسی	شرح روش کار
رطوبت	برای تهیه خاک خشک ۱ کیلوگرم خاک با ۳۰ گرم قطعه الکترونیکی مخلوط گردید و در pH حدود ۷/۵۹ به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. سپس خاک با ۵۰۰cc محلول اسید نیتریک ۶ مولار (HNO ₃) شستشو داده شد و صاف شده و در نهایت توسط دستگاه جذب اتمی میزان عنصر خوانده شد. برای تهیه خاک مرطوب نیز همانند بالا عمل کرده با این تفاوت که به مخلوط خاک و قطعه الکترونیکی ۲۵۰cc آب مقطر نیز اضافه گردید.
pH	برای بررسی اثر pH در محیط خاکی، نمونه خاک مرطوب همانند بالا، در pHهای متفاوت آماده گردید و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت. سپس خاک را با ۵۰۰cc محلول اسید نیتریک ۶ مولار (HNO ₃) شستشو داده و صاف نموده و میزان عنصر وارد شده در محلول نهایی توسط دستگاه جذبی خوانده شد.
ترکیبات هامیک	۱ کیلوگرم خاک را با ۳۰ گرم قطعه الکترونیکی و ۲۵۰cc آب مقطر مخلوط نموده و با فسفریک اسید ۲ مولار (H ₃ PO ₄) و یا CaO در pHهای مورد نظر تنظیم گردید. سپس مقادیر متفاوت از کاتکول را به نمونه‌ها اضافه کرده و در دمای ۲۵C° به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد و توسط دستگاه جذب اتمی میزان نفوذ عنصر ثبت گردید.
زمان	برای بررسی اثر زمان در میزان خروج عناصر در خاک نیز یک کیلوگرم خاک با ۳۰ گرم قطعه الکترونیکی و ۲۵۰cc آب مقطر مخلوط گردید و با فسفریک اسید ۲ مولار (H ₃ PO ₄) و یا CaO در pHهای مدنظر تنظیم نموده و در دمای ۲۵C° به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شد و با دستگاه جذب اتمی میزان نفوذ عنصر ثبت گردید.

با توجه به تست‌های انجام شده و اعداد و ارقام به دست آمده تغییرات میزان نفوذ به صورت نمودار در شکل ۱ نمایش داده شده است. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، از pH اسیدی تا خنثی میزان آزادسازی فلز سنگین کادمیوم کاهش می‌یابد ولی در محدوده قلیایی این فلزات با OH⁻ تشکیل کمپلکس داده و مجدداً میزان این عنصر افزایش می‌یابد.

ب) دما

جدول ۴، روند میزان نفوذ عنصر کادمیوم از قطعه برد الکترونیکی به محیط خاکی را در سه محدوده pH اسیدی، خنثی و بازی در دماهای متفاوت نشان می‌دهند.

تاثیر کمیت‌های مختلف بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم

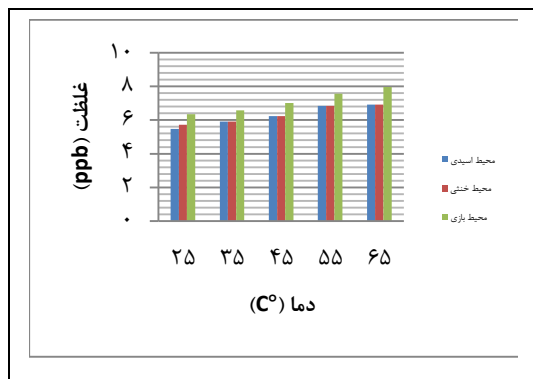
الف) pH

جدول ۳ نتایج حاصل از نفوذ عنصر کادمیوم از قطعه برد الکترونیکی مورد آزمایش به محیط خاکی در pHهای متفاوت را نشان می‌دهد.

جدول ۳- تاثیر pH مختلف بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از

پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

pH	C Cd (ppb)
۳	۷/۰۳۷
۴	۶/۴۷۳
۶	۵/۹۸۳
۷	۵/۷۳۱
۸	۵/۹۳۸
۱۰	۶/۳۴۱



شکل ۲- نمودار تاثیر دما بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

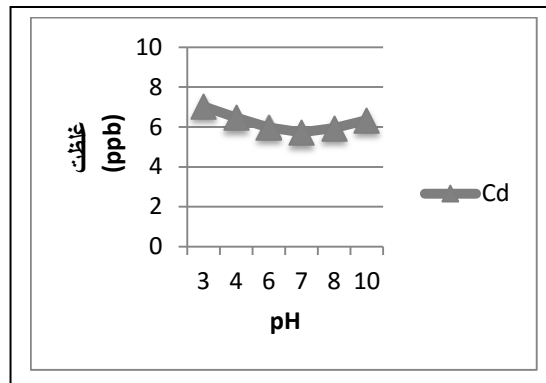
پ) ترکیبات هامیک

جداول شماره ۵ روند میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی در محیط خاکی با حضور ترکیبات هامیک، در محدوده‌های pH اسیدی، خنثی و بازی را نشان می‌دهد. ترکیبات هامیک کمپلکس‌ساز می‌باشند. هرچه محیط قلیایی‌تر شود آنیون قوی‌تری ساخته شده و کمپلکس قوی‌تر تشکیل می‌شود و در نتیجه اثر ترکیبات هامیک نیز افزایش می‌یابد.

جدول ۵- تاثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

(w/v)	۰,۰۱	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۱	۰,۱۵
%کاتکول					
pH= ۴					
C Cd (ppb)	۶,۸۱۶	۶,۹۴۵	۷,۲۱۸	۷,۶۳۹	۷,۹۵۱
pH= ۷					
C Cd (ppb)	۵,۸۳۷	۶,۳۵۱	۶,۷۳۲	۶,۹۸۲	۷,۰۳۵
pH= ۱۰					
C Cd (ppb)	۶,۵۴۱	۶,۸۱۹	۷,۵۹۱	۸,۳۱۸	۹,۰۱۱



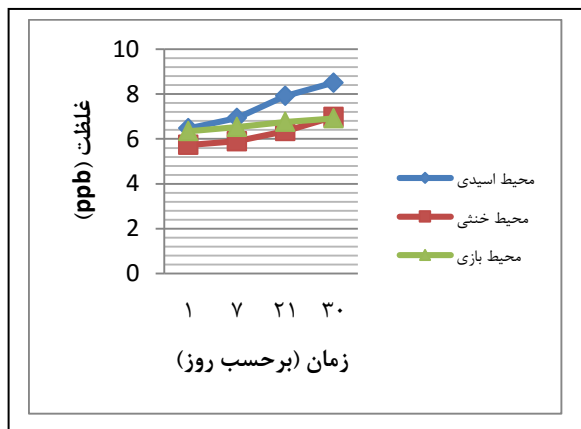
شکل ۱- نمودار تاثیر pH مختلف بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

جدول ۴- تاثیر دما بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی

T (°c)	۲۵	۳۵	۴۵	۵۵	۶۵
pH= ۴					
C Cd (ppb)	۵,۴۷۳	۵,۹۱۳	۶,۲۳۱	۶,۸۴۱	۶,۹۱۷
pH= ۷					
C Cd (ppb)	۵,۷۳۱	۵,۹۱۳	۶,۲۳۱	۶,۸۴۱	۶,۹۱۷
pH= ۱۰					
C Cd (ppb)	۶,۳۴۱	۶,۵۷۱	۷,۰۰۸	۷,۵۷۱	۷,۹۶۱

با توجه به نتایج به دست آمده از تست‌های صورت گرفته، شاهد رابطه مستقیم بین افزایش دما و افزایش میزان نفوذ عنصر کادمیوم در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی هستیم. افزایش دما باعث افزایش تحرک مولکول‌ها شده و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر بالا می‌رود. هر چه محیط اسیدی‌تر شود، آنیون اسید راحت‌تر با عناصر موجود تشکیل کمپلکس داده و میزان آزادسازی عنصر افزایش می‌یابد.

طبق مشاهدات صورت گرفته در بازه‌های زمانی متفاوت در pHهای اسیدی، خشی و بازی، با افزایش زمان تماس قطعات الکترونیکی با محیط، میزان نفوذ عنصر کادمیوم نیز افزایش می‌یابد. همانطور که در نمودار نیز مشخص است، در pH خشی این آزادسازی از سایر موارد کمتر است.

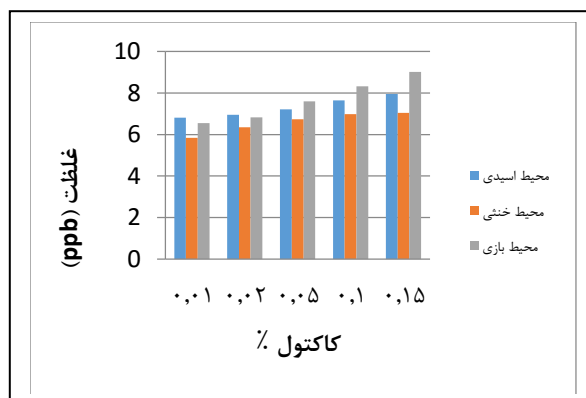


شکل ۴- تاثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به خاک در محیط‌های اسیدی، خشی و بازی

نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشات انجام شده و بررسی عوامل مختلف بر میزان آزادسازی این عنصر و نتایج حاصل می‌توان گفت که افزایش عواملی مانند دما، ترکیبات هامیک و زمان در محیط‌های خاکی باعث افزایش نفوذ کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط زیست خواهد شد. در مورد pH فضا کمی متفاوت است. بدین صورت که با افزایش واحد (حرکت از محیط اسیدی به خشی)، میزان آزادسازی عنصر کمتر می‌گردد، ولیکن با حرکت از حالت خشی به سمت محیط بازی (قلیایی)، میزان آزادسازی کادمیوم افزایش می‌یابد. در اصل می‌توان چنین عنوان نمود که اسیدی شدن محیط خاکی، و یا بالا رفتن دمای محیط (آلودگی حرارتی) سبب افزایش جداسازی کادمیوم و بالا رفتن درصد نفوذ آن می‌شوند.

همانطور که ملاحظه می‌گردد در هر سه محدوده pH، با افزایش میزان ترکیبات هامیک، میزان نفوذ کادمیوم به محیط خاکی نیز افزایش می‌یابد. به عبارتی رابطه مستقیم میان افزایش میزان ترکیبات هامیک و نفوذ عنصر کادمیوم در محیط خاکی وجود دارد. نمودار زیر، مربوط به روند تاثیرگذاری ترکیبات هامیک در محیط‌های مختلف می‌باشد.



شکل ۳- نمودار تاثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

ت (زمان)

مشاهدات صورت گرفته از تاثیر زمان بر میزان نفوذ کادمیوم در محیط خاکی در جدول ۶ ثبت گردیده است.

جدول ۶- تاثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر کادمیوم از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی

زمان (روز)	۱	۷	۲۱	۳۰
pH= ۴				
C Cd (ppb)	۶,۴۷۳	۶,۹۳۲	۷,۹۱۳	۸,۵۰۳
pH= ۷				
C Cd (ppb)	۵,۷۳۱	۵,۸۹۹	۶,۳۴۷	۶,۹۸۳
pH= ۱۰				
C Cd (ppb)	۶,۳۴۷	۶,۵۳۲	۶,۷۶۱	۶,۹۱۳

recycling at Guiyu, Southeastern China". J Environ Qual. 23;38(4):1617-26.

in China: a systematic review. Waste Manag. 2014 Dec; 34(12):2587-94.

-Manc, G. (1987).” Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. 1st Ed”. Elsevier Science Publishers, New York.

- Qihang W., Leung j., Xinhua G., Shejun Ch.,

Xuexia H., Haiyan L., Zhuying H., Libin Z., Jiahao Ch., Yayin L.(2015). “Heavy metal contamination of soil and water in the vicinity of an abandoned e-waste recycling site: Implications for dissemination of heavy metals”. Science of The Total Environment, Volumes 506–507, 15, Pages 217-225.

- R. Amfo-Otu1, J. Kwesi Bentum2 & S.

Omari1.(2013).”Assessment of Soil Contamination through E-Waste Recycling Activities in Tema Community One”. Environment and Pollution; Vol. 2, No. 2;: 66-70.

- W. A. Bizzo, R. A. Figueiredo , V. F.

Andrade.(2014).” Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation”. Materials, 7, 4555-4566.

نتایج این تحقیق، با تحقیقات هوانگ، زین، مایکل و کیهانگ مشابه و هم راستا بوده و در برخی موارد نیز، با تحقیقات گوا مشابَهت داشته و مرتبط بوده است.

منابع

- نجفی.ع.(۱۳۹۰)، "مدیریت پسماندهای الکترونیکی و بررسی نقش آن در حفاظت از محیط زیست"، پنجمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، ۱۵ص..

- موسوی.س.ع.، خاموطیان.ر.، پروانه.م.(۱۳۹۲)، "بررسی وضعیت مدیریت پسماندهای الکترونیکی در دنیا و ایران"، اولین نمایشگاه و سمینار محیط زیست، انرژی و صنعت ۲۳ص.

-اسدی.م، فائزی رازی.د، نبی‌زاده.ر، وجدانی.م، (۱۳۷۷). "مدیریت مواد زائد خطرناک، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست"، تهران. ۳۴۹ص.

-احمدی.ب، (۱۳۸۷). "بررسی نقش فلزات سنگین بر سلامتی انسان"، شرکت آب منطقه‌ای زنجان، ۱۶۵ص.
-آموزشی.ف، مظفری.ع، محمدی.ف، (۱۳۸۷). "بررسی بازیافت ضایعات الکترونیکی و راهکارهای آن". چهارمین همایش ملی مدیریت پسماند. ۲۱ص.

- C. Michael, R. W. (2013),”Sugumar. Studies on Leaching of Heavy Metals from E – waste”. Oriental Journal of Chemistry, 29(03):1149-1154.

-I. CH. Nnorom, O. Osibanjo, K. Okechukwu1, O. Nkwachukwu1, R.C(2010).” Chukwuma. Evaluation of Heavy Metal Release from the Disposal of Waste Computer Monitors at an Open Dump”, International. Journal of Environmental Science and Development.;1:3.

- Huang J., Nkrumah P., Anim D., Mensah E.(2014) .“E-waste disposal effects on the aquatic environment: A, Ghana. Rev Environ Contam Toxicol. ;229:19-34 (WEEE) management practices in developing countries through leaching tests”. African Journal.

-Guo Y., Huang C., Zhang H., Dong Q.(2009) “Heavy metal contamination from electronic waste

Investigation of Factors Affecting the Diffusion of cadmium from Electronic Waste In soil environments

Hooman Bahmanpour

Department of Environment, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Shahrood Branch, Shahrood, Iran

Abstract

Electronic and electrical wastes are special types of wastes whose main components include capacitors, transistors, ICs, electronic circuits, cathode and anode components, and have toxicity, pathogenicity and stability in the environment and even in the corpuscles, corrosive installations and Equipment and the like. Accordingly, the purpose of this study is to investigate and identify the effective factors in the liberation of these metals and especially the cadmium element in the surrounding environment. To investigate this, the effect of different factors such as temperature, pH, HMC and time on the release of cadmium from these wastes to soil environments has been studied. For this purpose, the selected parts were analyzed and examined. The results indicate that in the soil environment, the level of cadmium penetration in very acidic and very alkaline pH increases the amount of release. Also, in the soil environment, the increase in temperature increases the penetration of the cadmium element in the environment, and the effect of the contact time parameter is also proportional to the pH variation.

Keywords: Electronic waste, Heavy metals, Cadmium, Humic compounds, pH, Earth environment.