

"مقاله پژوهشی"

بررسی پارامترهای مؤثر بر آزادسازی و انتشار فلز سنگین نیکل از پسماند الکتریکی در محیط‌های آبی و خاکی

هومن بهمن پور^۱ و حسن حذرخانی^۲

۱- گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران
۲- گروه شیمی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، تهران، ایران، (نویسنده مسؤل: h.hazar2014@gmail.com)
تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۴/۲۳
صفحه: ۱۱ تا ۱۸

چکیده

پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه می‌باشند که دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران، خوردگی تاسیسات و تجهیزات و مشابه آن می‌باشند. هدف از این تحقیق بررسی و تعیین عوامل مؤثر در آزادسازی عنصر نیکل در محیط پیرامون است. جهت بررسی این موضوع تأثیر عوامل مختلف مانند دما، pH، ترکیبات هامیک (محصولات ثانویه گیاهک) و زمان بر روی آزادسازی عنصر نیکل از این گونه پسماندها به محیط‌های آبی و خاکی مورد مطالعه قرار گرفت. بدین منظور ابتدا قطعات انتخابی آسیاب شده و پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها در محیط آبی و خاکی و تحت شرایط اسیدی، خنثی و بازی به طور جداگانه مورد آزمایش و آنالیز قرار گرفتند. نتایج بیانگر آن بوده است که در محیط آبی، میزان نفوذ عنصر نیکل با افزایش pH رابطه معکوس و با افزایش دما رابطه مستقیم دارد. اثر ترکیبات هامیک بر آزادسازی نیز در محدوده بازی بیشتر است. همچنین اثر پارامتر زمان تماس نیز متناسب با تغییرات pH متغیر است. در محیط خاکی، افزایش رطوبت، اسیدی شدن محیط و افزایش ترکیبات هامیک، سبب افزایش آزادسازی عنصر نیکل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم آبی، اکوسیستم خاکی، پسماند الکترونیکی، فلز سنگین، نیکل

مقدمه

پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی انواعی از پسماندهای ویژه هستند که دارای خاصیت سمیت، بیماری‌زایی و پایایی در محیط پیرامون و حتی در پیکره جانداران می‌باشند و در اصل، به پسماندهای ویژه‌ای گفته می‌شود که غالب قطعات اصلی آن‌ها شامل خازن، ترانزیستور، آی سی، مدارات الکترونیکی، قطعات کاندی و آندی و از این قبیل است (۵). بطور کلی این پسماندها به دو دسته الکتریکی مانند باتری، یخچال، ماشین لباسشویی، اتو، لامپ، ... و الکترونیکی همانند تمامی قطعات رایانه‌ای، دستگاه‌های رادیویی و تلویزیون، انواع پخش‌کننده‌های صوتی و تصویری تقسیم می‌شوند (۶). تحقیقات نشان داده‌اند که این نوع از پسماند امروزه مشکلی جدید و مهم در اکوسیستم‌های طبیعی مطرح هستند. حجم زیادی از پسماندهای الکترونیکی تولید شده در جهان می‌تواند حاوی مواد سمی و همچنین مواد با ارزش باشد (۱۳). در این نوع از پسماندها، عناصری از قبیل سرب، استرانسیم، جیوه، کادمیوم، نیکل، آرسنیک، مس، روی، باریوم، برلیوم، انواع پلاستیک‌ها، آلومینیوم، طلا، نقره، پلاتین، مواد شیمیایی خطرناک حاصل از مواد مصرفی، دی‌فنیل اترهای پلی‌برومینه (PBDEs) و به صورت نادر آلوده‌کننده‌های آلی پایدار (POPs) یا ترکیبات هالوژن‌دار مخرب لایه ازن از قبیل پلی‌کلرو بی‌فنیل‌ها (PCBs) یافت می‌شوند که اثرات زیان‌آوری روی محیط زیست و سلامتی انسان می‌گذارند (۱۲). هر رایانه رومیزی دارای ۳۲ درصد پلاستیک، نزدیک به هفت درصد سرب، ۴۱ درصد آلومینیوم، مقادیری طلا، نقره و آهن و نیز مقادیری فلزات سنگین و خطرناک مانند کادمیوم، جیوه و آرسنیک است. بنابراین، می‌توان به‌طور تقریبی

محاسبه کرد که چهار میلیون رایانه از دور خارج شده، حاوی چه حجم عظیمی از عناصر خطرناک و در کنار آن دارای چه عناصری ارزشمندی همانند طلا و نقره است که بازیافت اصولی آنها می‌تواند علاوه بر صرفه اقتصادی، جلوی خطرات زیست‌محیطی را نیز بگیرد. بنابراین، دفن یا سوزاندن زباله‌ها سبب ورود عناصر سنگین و گازهای سمی به محیط‌زیست و آب‌های زیرزمینی می‌شود (۴، ۱۳). اصطلاح فلز سنگین؛ به هر عنصر شیمیایی فلزی که دارای چگالی نسبتاً زیادی باشد و همچنین در غلظت‌های پایین سمی باشند، اطلاق می‌شود. فلزات سنگین از عناصر سازنده پوسته زمین هستند و دچار تخریب و یا فرسایش نمی‌شوند. این فلزات که از جمله آلاینده‌های محیط زیستی می‌باشند، در اندازه بسیار کم، از طریق غذا، آب آشامیدنی و یا هوا وارد بدن انسان می‌شوند و می‌توانند مسمومیت‌های مزمن و بعضاً حاد و خطرناکی را ایجاد نمایند (۱۰). سرب موجود در CRT رایانه‌ها یا لامپ اشعه کاندی، نه تنها می‌تواند آب‌های سطحی را آلوده کند، بلکه به راحتی به سفره‌های آب زیرزمینی که تأمین‌کننده منابع آبی بسیاری از شهرهای بزرگ است راه پیدا می‌کند. سرب بر بیشتر دستگاه‌های بدن انسان، پستانداران و پرندگان از جمله دستگاه عصبی، سیستم گردش خون و دستگاه‌های تناسلی اثر سوء دارد. بین سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۴، نزدیک به ۶۰۰ میلیون کیلوگرم سرب ناشی از زباله‌های رایانه‌ای مربوط به ۳۱۵ میلیون رایانه از رده خارج شده در آمریکا وارد محیط شده است (۱۳).

رشد سریع آلودگی‌های الکترونیکی و ورود سریع و بی‌رویه آن‌ها به محیط‌زیست، امروزه به‌صورت یک بحران درآمده است. این بحران اگرچه تاکنون بیشتر متوجه کشورهای

اثرات دفن پسماندهای الکتریکی را در اکوسیستم‌های آبی غنا بررسی کردند. زین و همکاران (۱۹) اثرات زیست محیطی پسماندهای الکتریکی را بررسی کردند. مایکل و همکاران (۱۱) جداسازی فلزات سنگین ناشی از پسماندهای الکترونیکی را در آب رودخانه‌ها مطالعه کردند. سانگ و همکاران (۱۷) تأثیرات محیطی فلزات آزاد شده از پسماندهای الکترونیکی را در چین بررسی کردند. آمفو اوتو و همکاران (۲) آلودگی خاک به فلزات سنگین موجود در زباله‌های الکترونیکی را مورد بررسی قرار دادند. آفاج و همکاران (۵) مقدار سرب، کروم، نیکل، کادمیم و روی در خاک سایت‌های بازیافت پسماندهای الکترونیکی را در نیجریه سنجش کردند. کیهانگ و همکاران (۱۵) آلودگی خاک و آب اطراف یک سایت متروکه بازیافت پسماندهای الکترونیکی به فلزات سنگین و عوامل انتشار این فلزات را در محیط بررسی کردند. شو و همکاران (۱۹) توزیع فلزات سنگین را در پسماند بردهای مدار چاپی بررسی کردند. هدف اصلی این تحقیق، بررسی عوامل مؤثر در جداسازی و انتشار عنصر نیکل موجود در قطعات الکترونیکی و الکتریکی پس از رهاسازی در محیط زیست است.

مواد و روش‌ها روش‌شناسی

ابتدا تعداد ۲۶ قطعه متنوع (شامل مادر برد، باتری‌ها و هارد) از بردهای الکترونیکی تهیه و تا حد امکان به قطعات ریز تبدیل شد. 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 دی‌اکسید نیتروژن متصاعد شد (۱۵). 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 و به مدت ۴۵ دقیقه نمونه جوشانده شد که در این مدت مرتباً هم‌زده شد. سپس نمونه با قیف و کاغذ صافی صاف گردید. محلول به دست آمده با آب مقطر به حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه جذب اتمی Aurora مدل Trace AL1200، درصد عناصر موجود در آن اندازه‌گیری شد. هر یک از آزمایشات ۳ بار تکرار گردید. از بین عناصر شناسایی شده، عنصر نیکل انتخاب و تأثیر pH، دما، ترکیبات هامیک و زمان بر روی آن در محیط‌های آبی و خاکی و در شرایط اسیدی، خنثی و بازی بررسی شد. جدول (۱)، جزئیات شرایط محیطی و پارامترهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

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 (۱). مدیریت دفع این مواد به دلیل دشواری جداسازی و ناکافی بودن تحقیقات در زمینه فرایند بازیافت آن‌ها با چالش مواجه است. «کنوانسیون بازل» زباله‌های الکترونیکی را به‌عنوان زباله‌های خطرناک می‌شناسند. امروزه به موازات شناخت 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 (۳).

یکی از پرکاربردترین فلزات سنگین موجود در این نوع از پسماندها، نیکل است. نیکل؛ کاربردهای فراوانی در صنعت دارد و برای ساخت فولاد ضدزنگ و دیگر آلیاژهای ضدزنگ و خوردگی، به کار می‌رود. برای ساخت لوله‌های نیکلی و مسی و نیز برای نمک‌زدایی گیاهان و تبدیل آب شور به آب مایع استفاده می‌شود. نیکل استفاده‌های فراوانی برای ساخت سکه دارد. فولاد نیکلی برای زره‌ها و کلیدها کاربرد دارد. به علاوه، از نیکل می‌توان آلیاژهای نیکروم و پرمالوی و آلیاژی از مس را تهیه کرد. از نیکل برای ساخت شیشه‌های سبز رنگ نیز استفاده می‌شود. صنایع ساخت و ساز و صنایع الکترونیک هر کدام ۶٪ مصرف نیکل دارند. نیکل همچنین کاتالیزور برای هیدروژن‌دار کردن روغن‌های گیاهی است. عمده‌ترین خطر مواجهه با نیکل در کارگرانی می‌باشد که در مشاغل چون استخراج معادن، صنایع ذوب، آبکاری الکترونیک، باتری‌سازی و جوشکاری مشغول به کارند. در حال حاضر تنفس و پوست به عنوان مهم‌ترین مسیرهای مواجهه با این فلز در جوامع انسانی می‌باشد. از مهم‌ترین علائم مواجهه با نیکل می‌توان به درماتیت اشاره کرد که در ۱۰ تا ۲۰ درصد جمعیت عمومی مشاهده می‌شود که علت آن می‌تواند ناشی از مواجهه پوستی مدت‌دار با نیکل موجود در هوا، محلول نیکل و یا مواجهه با اقلام فلزی حاوی نیکل همچون سکه و جواهرات باشد. در مطالعات اپیدمیولوژی مشاهده شده که نیکل می‌تواند به عنوان یک سرطان‌زای ناحیه تنفسی عمل کند. از ترکیب نیکل فلزی با منوکسید کربن، نیکل کربونیل تشکیل می‌شود که به شدت سمی و کشنده است (۱۶).

در این راستا محققان و دانشمندان زیادی به تحقیق در این زمینه پرداختند. نورم و همکاران (۱۴) انتشار فلزات سنگین از دفع پسماند مانتورهای کامپیوتر را در یک انبار روباز بررسی کردند. گوآو همکاران (۸) تأثیر بازیافت زباله‌های الکترونیکی در گوئیو، واقع در جنوب شرق چین، بر آلودگی سیستم آبی اطراف به فلزات سنگین بررسی کردند. هوانگو همکاران (۹)

جدول ۱- جزئیات مربوط به روش آماده‌سازی و اندازه‌گیری میزان آزادسازی نیکل در شرایط آبی و خاکی

Table 1. Details of the method of preparation and measurement of nickel release rate in water and soil conditions

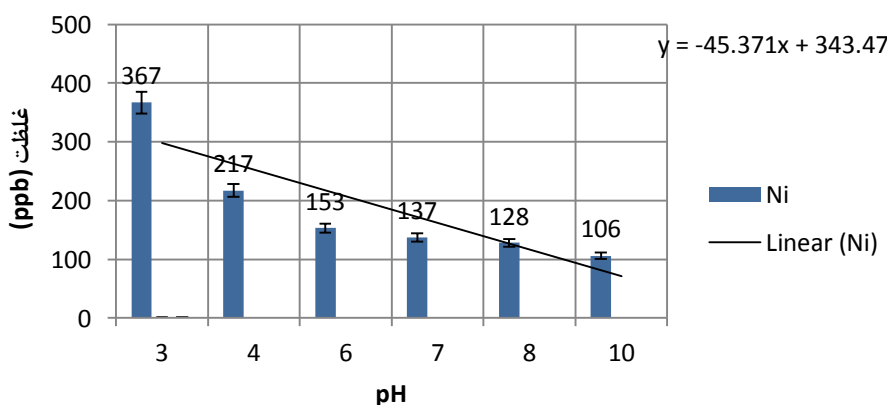
پارامتر مورد بررسی	شرح روش کار
pH	۳۰ گرم قطعه برد الکترونیک را در بشر ریخته و ۸۰۰ cc آب به آن اضافه گردید. با استفاده از HCl یک مولار و NaOH یک مولار، pHهای مورد نظر (۱۰ و ۸، ۷، ۶، ۴، ۳) در دمای ۲۵C در محلول نمونه ایجاد شد و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در همان حالت باقی ماند و سپس صاف گردید. سپس با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار عنصر آزاد شده نیکل در آب اندازه‌گیری شد.
دما	برای بررسی اثر دما در آزادسازی فلزات، همانند روش بالا نمونه در pHهای ۷، ۴ و ۱۰ آماده شد و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دماهای متفاوت در دستگاه انکوباتور نگهداری شدند. سپس با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان عنصر آزاد شده اندازه‌گیری شد.
ترکیبات هامیک	ترکیبات هامیک ترکیبات فتولی حاصل از کمپوست‌ها هستند که خاصیت اسیدی و کمپلکس‌کنندگی داشته و حضورشان در آب و خاک باعث می‌شود که یون‌های فلزی بیشتر در آب کشیده شوند. این ترکیبات از خانواده کاتکول‌ها می‌باشد. برای بررسی اثر ترکیبات هامیک ۳۰ گرم قطعه برد الکترونیک به همراه ۸۰۰ cc آب مخلوط کرده و نمونه‌ها با استفاده از HCl و NaOH یک مولار در pHهای ۷، ۴ و ۱۰ آماده شدند. سپس مقادیر متفاوت از کاتکول که به عنوان نماد ترکیبات هامیک می‌باشد به محلول‌ها اضافه شده و در دمای ۲۵C در مدت ۲۴ ساعت نگهداری شدند و سپس با دستگاه جذب اتمی میزان آزادسازی عنصر در آب اندازه‌گیری شد (۱۹).
زمان	برای بررسی تأثیر زمان در آزادسازی عنصر نیز ۳۰ گرم قطعه برد الکترونیک به همراه ۸۰۰ cc آب مخلوط شده و نمونه‌ها با استفاده از HCl و NaOH یک مولار در pHهای ۷، ۴ و ۱۰ آماده شدند. سپس محلول‌ها در بازه‌های زمانی ۲۴ ساعت، یک هفته، سه هفته و یک ماه در دمای ۲۵C نگهداری شده و بعد از اتمام دوره با استفاده از دستگاه جذب اتمی، میزان آزادسازی عنصر در محلول اندازه‌گیری شدند.
پارامتر مورد بررسی	اندازه‌گیری میزان آزادسازی نیکل در محیط خاکی یک کیلوگرم خاک استریل شده آزمایشگاهی با ۳۰ گرم قطعه الکترونیک و ۲۵۰ cc 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 ۵۰۰ cc محلول اسید نیتریک ۶ مولار (HNO ₃) شستشو داده شد. مخلوط را صاف کرده و میزان عنصر نیکل آزاد شده در محلول 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 بازی از پودر آهک (CaO) استفاده شد. این اسید و باز به صورت طبیعی در محیط خاکی موجود بوده و برای تنظیم pH خاک مناسب‌تر می‌باشند (۱۴).
پارامتر مورد بررسی	شرح روش کار
رطوبت	برای تهیه خاک خشک ۱ کیلوگرم خاک با ۳۰ گرم قطعه الکترونیک مخلوط گردید و در pH حدود ۷/۵۹ به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط نگهداری شد. سپس خاک با ۵۰۰ cc 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 الکترونیک ۲۵۰ cc آب مقطر نیز اضافه شد.
pH	برای بررسی اثر pH در محیط خاکی، نمونه خاک مرطوب همانند بالا، در pHهای متفاوت آماده شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای محیط قرار گرفت. سپس خاک را با ۵۰۰ cc محلول اسید نیتریک ۶ مولار (HNO ₃) شستشو داده و صاف نموده و میزان عنصر وارد شده در محلول نهایی توسط دستگاه جذب اتمی خوانده شد.
ترکیبات هامیک	۱ کیلوگرم خاک را با ۳۰ گرم قطعه الکترونیک و ۲۵۰ cc آب مقطر مخلوط نموده و با فسفریک اسید ۲ مولار (H ₃ PO ₄) و یا CaO در pHهای مورد نظر تنظیم شد. 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 شد.
زمان	برای بررسی اثر زمان در میزان خروج عناصر در خاک نیز یک کیلوگرم خاک با ۳۰ گرم قطعه الکترونیک و ۲۵۰ cc 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 شد.

نتایج و بحث

میزان نیکل اندازه‌گیری شده در نمونه پسماند الکترونیکی مورد مطالعه، ۸۱۷/۰ میلی‌گرم بر لیتر بوده است و این در حالی است که حداکثر مجاز این عنصر در آب آشامیدنی باید ۰/۰۷ میلی‌گرم بر لیتر باشد.

تأثیر کمیت‌های مختلف بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی (الف) pH

نتایج حاصل از نفوذ عنصر نیکل از قطعه برد الکترونیکی مورد



شکل ۱- نمودار تأثیر pH مختلف بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی

Figure 1. Diagram of the effect of different pH on the penetration of nickel element from electronic waste into aquatic environments

ب) دما

عنصر نیکل در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی بود. افزایش دما باعث افزایش تحرک مولکول‌ها شده و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر بالا می‌رود. هرچه محیط اسیدی‌تر شود، آنیون اسید راحت‌تر با عناصر موجود تشکیل کمپلکس داده و میزان آزادسازی عنصر افزایش می‌یابد.

جدول ۲؛ روند میزان نفوذ عنصر نیکل از قطعه برد الکترونیکی به محیط آبی را در سه محدوده Ph اسیدی، خنثی و بازی در دماهای متفاوت نشان می‌دهند. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایش‌های صورت گرفته، می‌توان شاهد رابطه مستقیم بین افزایش دما و افزایش میزان نفوذ

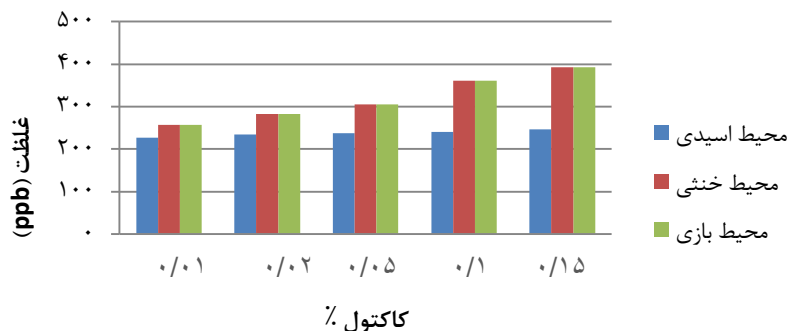
جدول ۲- تأثیر دما بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Table 2. The effect of temperature on the influence of nickel element from electronic waste to aquatic environments in acidic, neutral and game conditions

T (°c)	۲۵	۳۵	۴۵	۵۵	۶۵
pH= ۴					
C Ni (ppb)	۲۱۹	۲۳۰	۲۵۹	۲۹۸	۳۱۹
pH= ۷					
C Ni (ppb)	۱۳۷	۱۳۹	۱۴۷	۱۵۳	۱۶۹
pH= ۱۰					
C Ni (ppb)	۱۰۶	۱۱۵	۱۳۷	۱۶۵	۱۷۸

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

پ) ترکیبات هامیک

شکل شماره ۲ روند میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی در محیط آبی با حضور ترکیبات هامیک، در محدوده‌های pH اسیدی، خنثی و بازی را نشان می‌دهد. ترکیبات هامیک کمپلکس‌ساز می‌باشند. هرچه محیط بازی‌تر شود آنیون قوی‌تری ساخته شده و کمپلکس قوی‌تر تشکیل می‌شود و در نتیجه اثر ترکیبات هامیک نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۲- نمودار تأثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Figure 2. Chart of the effect of humic compounds on the rate of penetration of nickel element from electronic waste into aqueous media Acid, neutral and game conditions

pHهای اسیدی، خنثی و بازی، با افزایش زمان تماس قطعات الکترونیکی با محیط، میزان نفوذ عنصر نیکل نیز افزایش می‌یابد.

ت) زمان

نتایج تأثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر نیکل در محیط آبی در جدول ۳ ثبت گردیده است. در بازه‌های زمانی متفاوت در

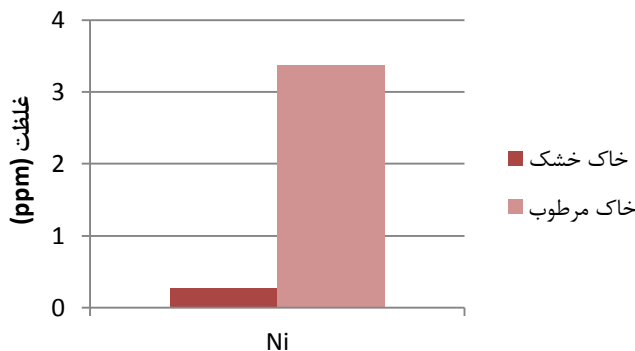
جدول ۳- تأثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های آبی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Table 3. The effect of time on the rate of penetration of nickel element from electronic waste into aquatic environments in acidic, neutral and game conditions

زمان (روز)	۱	۷	۲۱	۳۰
pH= ۴				
C Ni (ppb)	۲۲۰	۲۸۳	۲۹۵	۳۰۷
pH= ۷				
C Ni (ppb)	۱۳۷	۱۴۱	۱۶۷	۱۹۳
pH= ۱۰				
C Ni (ppb)	۱۰۶	۱۳۳	۱۹۵	۲۰۸

مشاهدات در شکل ۳ ثبت گردیده است. هرچه میزان رطوبت بیشتر باشد، عوامل شیمیایی مانند اسیدی شدن، کمپلکس شدن و ... به روی خوردگی فلزات تأثیر بیشتر گذاشته و در نتیجه میزان آزادسازی عنصر نیکل به محیط نیز افزایش می‌یابد.

تأثیر کمیت‌های مختلف بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی (الف) رطوبت

جهت بررسی تأثیر رطوبت بر میزان نفوذ نیکل در محیط خاکی از خاک مرطوب با رطوبت ۲۵ درصد استفاده گردید و



شکل ۳- نمودار تأثیر رطوبت بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی
Figure 3. Moisture effect diagram on the rate of penetration of nickel element from electronic waste into soil environments

گرفته در محدوده pH اسیدی، خنثی و بازی در جدول ۴ ثبت گردیده است. طبق نتایج به دست آمده میزان نفوذ نیکل در محیط اسیدی افزایش و در محیط بازی کاهش می‌یابد.

پH (ب)

در مورد بررسی تأثیر pH بر میزان نفوذ نیکل در محیط خاکی از خاک مرطوب استفاده گردید و مشاهدات صورت

جدول ۴- تأثیر pH بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی
Table 4. The effect of pH on the penetration of nickel element from electronic waste into soil environments

pH	۳	۴	۶	۷	۸	۱۰
C Ni (ppm)	۴/۸۱۷	۴/۳۱۸	۳/۷۹۴	۳/۴۳۹	۳/۰۳۱	۲/۶۱۷

نشان می‌دهد. با افزایش دما در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی میزان نفوذ عنصر نیکل در محیط خاکی افزایش می‌یابد.

پ(دما)

جدول ۵ نتایج تأثیر افزایش دما بر میزان نفوذ نیکل در محیط خاکی در محدوده pH های اسیدی، خنثی و بازی را

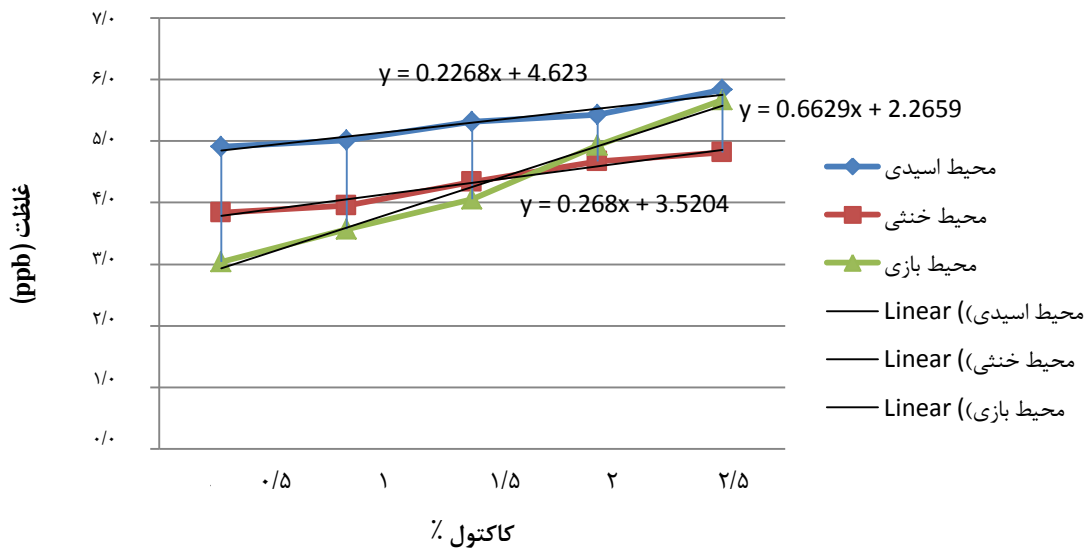
جدول ۵- تأثیر دما بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Table 5. The effect of temperature on the rate of penetration of nickel element from electronic waste into soil environments in acidic, neutral and game conditions

T (°C)	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵
pH= ۴					
C Ni (ppb)	۴/۳۱۹	۴/۸۱۷	۵/۳۱۷	۵/۸۱۹	۶/۱۱۷
pH= ۷					
C Ni (ppb)	۳/۷۹۴	۳/۹۱۸	۴/۲۳۹	۴/۳۴۷	۴/۴۹۳
pH= ۱۰					
C Ni (ppb)	۲/۶۱۷	۲/۸۱۷	۳/۴۱۳	۳/۵۱۹	۳/۶۱۸

افزایش میزان ترکیبات هامیک در هر سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی میزان نفوذ عنصر نیکل در خاک افزایش یافته است.

ت(ترکیبات هامیک)

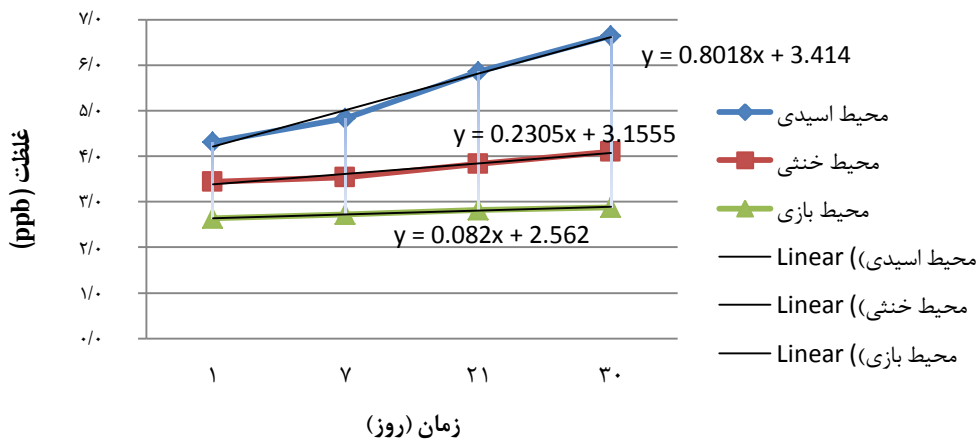
در شکل ۴، تأثیر ترکیبات هامیک بر روی میزان نفوذ عنصر نیکل در محیط خاکی در محدوده‌های pH اسیدی، خنثی و بازی ثبت گردیده است. طبق نتایج به دست آمده با



شکل ۴- تأثیر ترکیبات هامیک بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Figure 4. The effect of humic compounds on the penetration of nickel element from electronic waste into soil environments in acidic, neutral and basic conditions

سه محدوده اسیدی، خنثی و بازی با افزایش مدت زمان ماندگاری پسماند الکترونیکی در محیط خاکی، میزان نفوذ عنصر نیکل در خاک افزایش یافته است.

شکل ۵ روند تغییرات میزان نفوذ عنصر نیکل در محیط خاکی را نشان می‌دهد. مطابق با نتایج به دست آمده در هر



شکل ۵- نمودار تأثیر زمان بر میزان نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط‌های خاکی در شرایط اسیدی، خنثی و بازی
Figure 5. Chart of the effect of time on the rate of penetration of nickel element from electronic waste into soil environments in acid, neutral and basic conditions

همکاران (۹) و نیز مایکل و همکاران (۱۱)، هم‌راستا است. چرا که نتایج آنها بیانگر آن بوده است که میزان آزادسازی نیکل با pH رابطه نزدیک دارد که در این تحقیق نیز این مورد تأیید گردید. همچنین؛ نتایج تحقیق حاضر با مطالعات زین (۱۹) و کیهانگ و همکاران (۱۵)، مشابه می‌باشد. زیرا در این تحقیق نیز (همانند مطالعه صورت گرفته توسط آنان) مشخص گردید که میزان آزادسازی عنصر نیکل در محیط اسیدی بیش از سایر محیط‌ها است. از سوی دیگر، نتایج

با توجه به آزمایشات انجام شده و بررسی عوامل مختلف بر میزان آزادسازی این عنصر و نتایج به دست آمده می‌توان عنوان نمود که افزایش عواملی مانند دما، ترکیبات هامیک، زمان و pH در محیط‌های آبی و خاکی باعث افزایش نفوذ عنصر نیکل از پسماندهای الکترونیکی به محیط زیست خواهد شد. البته، به استثنای حالت افزایش pH در محیط اسیدی و خنثی در محیط خاکی که باعث کاهش نفوذ این عنصر به محیط می‌گردد. نتایج این تحقیق، با تحقیقات هوانگ و

هیدروکربن‌های آروماتیک چند هسته‌ای (PAHs)، هیدروکربن‌های آروماتیک چند هالوژنه (PHAHs) و هیدروژن کلراید می‌گردد. به منظور انتخاب و بکارگیری روش هوشمندانه و مؤثر برای مدیریت این نوع از فلزات سنگین، در ابتدا لازم است تا عوامل مؤثر بر آزادسازی و انتشار آنها در محیط بازنشاسایی شوند. در مجموع با توجه خصوصیات فیزیکی شیمیایی ویژه این نوع از پسماندها، بهترین راهکار جهت کاهش عوارض زیست محیطی و بهداشتی آنها بازیافت اصولی می‌باشد. علاوه بر این، تولید محصولات الکترونیکی با سموم کمتر از جمله اقدامات مدیریتی مؤثر محسوب می‌گردد.

حاصل از این تحقیق، با نتایج تحقیقات گوآ و همکاران (۸)، مشابهت داشته و مرتبط بوده است. در این تحقیق، مشخص شد که میزان عنصر نیکل در خاک مناطق مورد مطالعه از حد استاندارد بالاتر بوده و می‌تواند احتمال خطر ناشی از مسمومیت را افزایش دهد. همچنین؛ نتایج تحقیقات سانگ و همکاران (۱۷) که بیانگر لزوم رعایت ملاحظات اساسی در بازیافت فلزات سنگین از جمله نیکل می‌باشد، با نتایج این تحقیق هم‌راستا و مرتبط است.

امروزه از روش‌های مختلفی برای مدیریت پسماندهای الکترونیکی و الکتریکی استفاده می‌شود. از قبیل سوزاندن، دفن و بازیافت. که البته هر یک مشکلات خاص خود را دارند. از جمله، روش سوزاندن منجر به تولید دی‌اکسیدها، فوران‌ها،

منابع

- Ahmadi, B. 2009. Investigating the Role of Heavy Metals on Human Health, Zanjan Regional Water Company, (In Persian).
- Amfo-Otu, R., J. Kwesi Bentum and S. Omari. 2013. Assessment of Soil Contamination through E-Waste Recycling Activities in Tema Community One. *Environment and Pollution*, 2(2): 66-70.
- Amoozeshi, F., E. Mozafari and F. Mohammadi. 2009. Investigating the recycling of electronic waste and its solutions. The fourth National Conference on Management of Waste Management, 2009 (In Persian).
- Asadi, M., D. FaeziRazi, R. Nabizadeh and M. Vojdani. 2000. Hazardous Waste Management, Publications of the Environmental Protection Agency, Tehran, 2000, 349 pp (In Persian).
- Bahmanpour, H. and J. Farsad. 2018. Investigating the Factors Affecting the Releasing of Tallium from Electronic Waste in Water and Soil Environment, *RSJ*, 4(3): 18-29 pp (In Persian).
- Bahmanpour, H. 2019. Investigation of Factors Affecting the Diffusion of cadmium from Electronic Waste In soil environments, *Environmental Geology Journal*, 12(45): 19-29 (In Persian).
- Bizzo, W.A., R.A. Figueiredo and V.F. Andrade. 2014. Characterization of Printed Circuit Boards for Metal and Energy Recovery after Milling and Mechanical Separation, 7: 4555-4566.
- Guo, Y., C. Huang, H. Zhang and Q. Dong. 2009. Heavy metal contamination from electronic waste recycling at Guiyu, Southeastern China. *J Environ Qual*. Jun 23, 38(4): 1617-26.
- Huang, J., P. Nkrumah, D. Anim and E. Mensah. 2015. 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*.
- Manc, G. 2000. Pollution threat of heavy metals in aquatic environments. 1st Ed., Elsevier Science Publishers, New York.
- Michael, C. and R.W. Sugumar. 2013. Studies on Leaching of Heavy Metals from E-waste. *Oriental Journal of Chemistry*, 29(03): 1149-1154.
- Moosavi, S.A., R. Khamootian and M. Parvaneh. 2014. Evaluating the status of electronic waste management in the world and Iran, the first exhibition and seminar on environment, energy and industry, 2014 (In Persian).
- Najafi, A. 2012. Management of electronic waste and its role in protecting the environment, 5th Specialized Conference on Environmental Engineering, Tehran, University of Tehran, Faculty of Environment, 2012 (In Persian).
- Nnorom, I., O. Osibanjo, K. Okechukwu, O. Nkwachukwu and R.C. Chukwuma. 2010. 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.
- Qihang, W., J. Leung, G. Xinhua, C. Shejun, H. Xuexia, L. Haiyan, H. Zhuying, Z. Libin, C. Jiahao and L. Yayin, 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 February, pp: 217-225.
- Pfirrmann, S. 2009. A Dinuclear Nickel (I) Dinitrogen Complex and its Reduction in Single-Electron Steps. *Angewandte Chemie International Edition* 48: 3357. doi:10.1002/anie.200805862.
- Song, Q. and J. Li. 2014. Environmental effects of heavy metals derived from the e-waste recycling activities in China: a systematic review. *Waste Manag*, 34(12): 2587-94.
- Xinhui, B., S. Bernd, W. ZhenZhen, W. Xinming, S. Guoying and F. Jiamo. 2010. The major components of particles emitted during recycling of waste printed circuit boards in a typical e-waste workshop of South China. *Atmospheric Environment*, Volume 44, Issue 35, November, pp: 4440-4445.
- Zeine, W. 2015. Environmental impact assessment of waste electronic and electric equipment of *Environmental Science and Technology Full Length Research Paper*, 9(8): 671-681.

Investigation of Parameters Affecting the Release and Emission of Nickel Heavy Metal from Electrical Waste in Aquatic and Soil Environments

Hooman Bahmanpour¹, Hassan Hazarkhani²

1- Department of Environment, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

2- Center for research and science education, organization for educational research and planning, Tehran, Iran

(Corresponding author: h.hazar2014@gmail.com)

Received: March 27, 2020

Accepted: July 13, 2020

Abstract

Electronic and electrical wastes are special types of wastes that have toxicity, pathogenicity and reliability in the surrounding environment and even in the body of living beings, corrosion of facilities and equipment and the like. The purpose of this study is to investigate and determine the factors influencing the release of nickel element in the environment. To investigate this effect, the effect of various factors such as temperature, pH, humic compounds (secondary herbal products) and time on the release of nickel element from such wastes to water and soil environments were studied. For this purpose, the selected parts were first milled and after preparation, the samples were tested and analyzed separately in water and soil environment and under acidic, neutral and basic conditions. The results showed that in the aquatic environment, the rate of penetration of the nickel element is inversely related to the increase in pH and directly to the increase in temperature. The effect of humic compounds on release is also greater in the play area. Also, the effect of the contact time parameter varies according to the pH changes. In the soil environment, increasing the humidity, acidifying the environment and increasing the humic compounds increase the release of Nickel.

Keywords: Aqueous environment, Electronic waste, Heavy metals, Nickel